

# CORROSIÓN EN ALEACIONES DE ALUMINIO

## » Tipos de corrosión

El aluminio puro tiene un buen comportamiento a corrosión (mejor cuanto más puro sea), pero cuando se le añaden aleantes este comportamiento empeora.

### - Corrosión uniforme

Se produce cuando toda la pieza es atacada por igual, y es, en general, poco probable salvo en ambientes muy ácidos o alcalinos. Para que se produzca, además, toda la capa de óxido superficial debe ser disuelta.

### - Corrosión galvánica

Es un tipo de corrosión inevitable: el aluminio tiene un potencial electroquímico muy negativo, luego en contacto con otro metal hará de ánodo, sufriendo la corrosión en ambientes conductores. Para evitar en la medida de lo posible este tipo de corrosión, hay que intentar evitar el contacto físico y eléctrico de las piezas, mediante alguna lámina de material aislante (un plástico por ejemplo) en la zona de contacto, o protegiendo con pintura esa zona para evitar el ambiente húmedo que hace de electrolito.

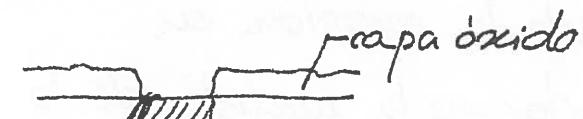
### - Corrosión por corrosión diferencial

Se puede producir en zonas con requisitos,... donde hay un empobrecimiento local de oxígeno, dando lugar a una zona anódica que va a ser atacada

### - Corrosión por picaduras

Se produce en las zonas donde la capa de óxido tiene algún defecto. La presencia de iones de haluros (como iones cloruro) acelera el problema, pues facilita la rotura de la capa al acumularse localmente.

Otro factor que favorece el ataque es la existencia en la superficie de fases intermetálicas, inclusiones, pues además de tener un potencial electroquímico diferente y favorecer por tanto la corrosión galvánica, impiden que se forme en esa zona la capa de óxido protectora.



Inclusión: potencial electroquímico diferente  
Avance de la corrosión.

Así, lo que tenemos son zonas locales de la pieza, picaduras, donde va aumentando la tensión local y pueden alcanzarse las condiciones necesarias para la nucleación de una grieta de fatiga. Este tipo de

causión da muchos problemas pues, aunque las picaduras estropean mucho el comportamiento mecánico, las grietas de fatiga que originan no son esperables, luego no es fácil localizarlas.

### • Corrosión intercristalina

Se produce por la diferencia de potencial electroquímico existente entre las tres microestructuras bien diferenciadas que rodean el borde de grano : las zonas libres de precipitados, los precipitados "gordos" en el borde de grano y el precipitado normal del resto del grano → posibilidad de corrosión localizada.

Su aparición depende de la estructura local de precipitación, luego el tratamiento térmico al que se haya sometido la aleación influye mucho; p.e. todas las aleaciones para estructuras aeronáuticas tienen tratamientos térmicos, luego el riesgo de aparición de este tipo de corrosión va a estar siempre presente.

La corrosión intercristalina se ve favorecida por errores de tratamiento, como:

- Retraso en el enfriamiento ; éste ha de hacerse de forma muy rápida para evitar el enfriamiento al aire
- Velocidad de enfriamiento insuficiente
- Aquejado ; la formación de líquido en los bordes de grano es muy perjudicial pues éste es muy

no en aleantes dando lugar a una gran diferencia de potenciales electroquímicos ...

- La duración inadecuada, que influye en la estructura final que rodea al borde de grano, el tamaño de los precipitados, ...

Además, esta corrosión, al ser intergranular, no es apreciable, luego habrá que recurrir a ensayos no destructivos.

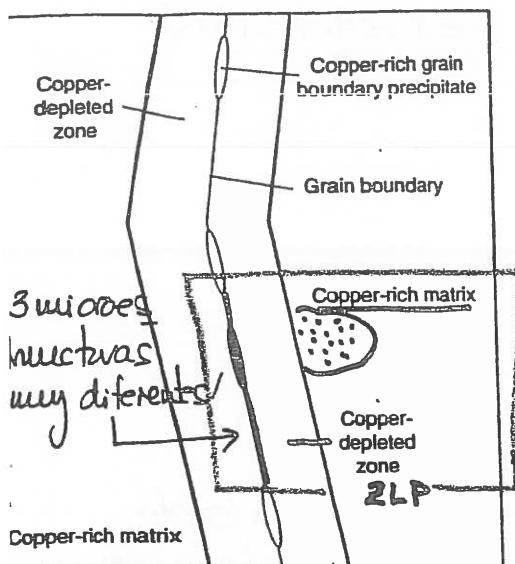
Puede nacer, también, grietas de fatiga por la misma concentración de tensiones que se origina intergranularmente.

#### - Corrosión por exfoliación

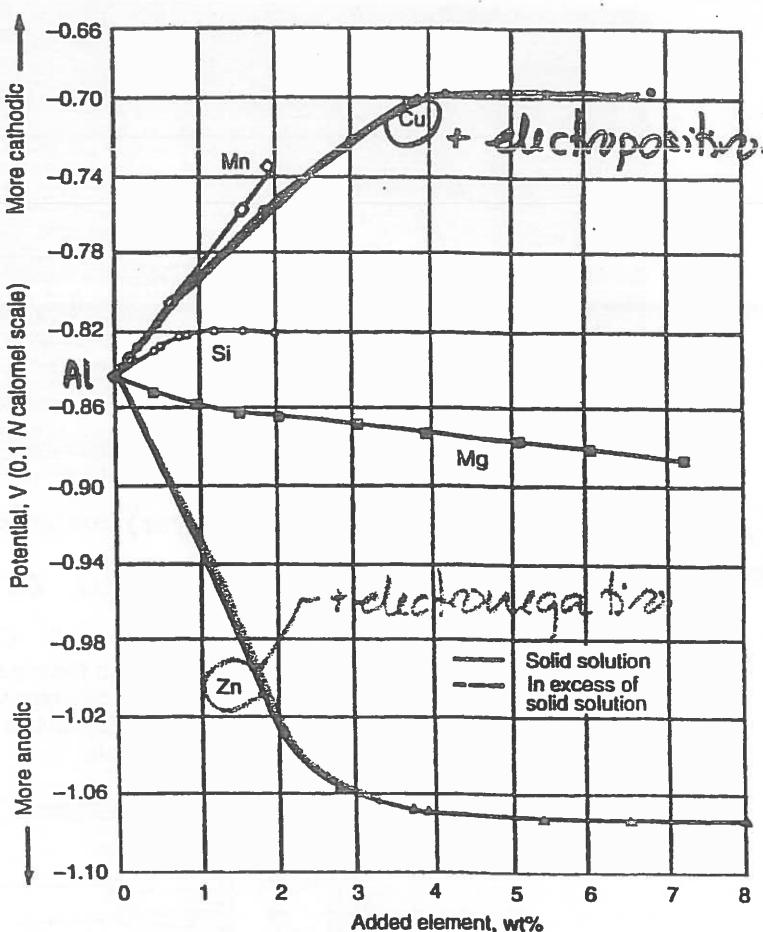
Es una variante de corrosión interstitial que se produce en estructuras granulares muy aplastadas y alargadas y provoca un deshozamiento del material (ver fig. 2.21)

Es más probable en secciones delgadas con gran reducción en fuerza y estructura no recristalizada

Es un problema muy grave, aunque claramente visible, luego puede ser fácilmente detectado y tratado.



**Fig. 3** Schematic of grain boundary region in a 2xxx alloy. Precipitation of the very high copper content precipitates on the boundary causes a copper-depleted zone on either side of the boundary. The difference in electrochemical potentials of the copper-depleted zone and the copper-rich matrix form a strong galvanic cell with a potential difference of about 0.12 V. Furthermore, the anodic copper-depleted zone is small in area compared with the area of the cathodic grain matrix, resulting in a high driving force for rapid intergranular corrosion. Source: Ref 1



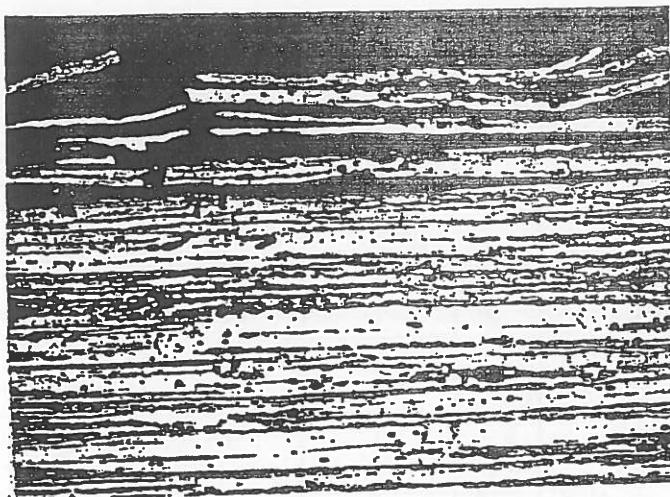
**Fig. 4** Effects of principal alloying elements on electrolytic solution potential of aluminum. Potentials are for high-purity binary alloys solution heat treated and quenched. Measured in a solution of 53 g/l NaCl plus 3 g/l H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> maintained at 25 °C (77 °F)

**Table 2.4** Electrode potentials of aluminum solid solutions and micro-constituents with respect to the 0.1 M calomel electrode in aqueous solutions of 53 g l<sup>-1</sup> NaCl and 3 g l<sup>-1</sup> H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> at 25°C (from *Metals Handbook, Volume 1, American Society for Metals, Cleveland, Ohio, 1961*)

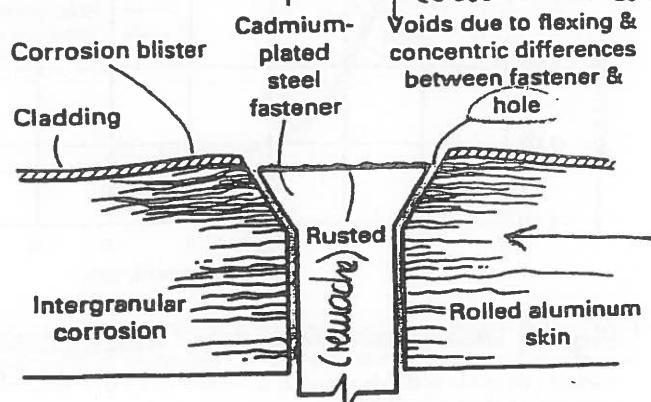
Solid solution or micro-constituent	Potential (V)
Mg <sub>5</sub> Al <sub>8</sub>	- 1.24
Al-Zn-Mg solid solution (4% MgZn <sub>2</sub> )	- 1.07
MgZn <sub>2</sub>	- 1.05
Al <sub>2</sub> CuMg	- 1.00
Al-5% Mg solid solution	- 0.88
MnAl <sub>6</sub>	- 0.85
Aluminium (99.95%)	- 0.85
Al-Mg-Si solid solution (1% Mg <sub>2</sub> Si)	- 0.83
Al-1% Si solid solution	- 0.81
Al-2% Cu supersaturated solid solution	- 0.75
Al-4% Cu supersaturated solid solution	- 0.69
FeAl <sub>3</sub>	- 0.56
CuAl <sub>2</sub>	- 0.53
NiAl <sub>3</sub>	- 0.52
Si	- 0.26

grain #!

## CORROSIÓN POR EXFOLIACIÓN



**Fig. 2.21** Microsection showing exfoliation (layer) corrosion of an aluminium alloy plate ( $\times 100$ )

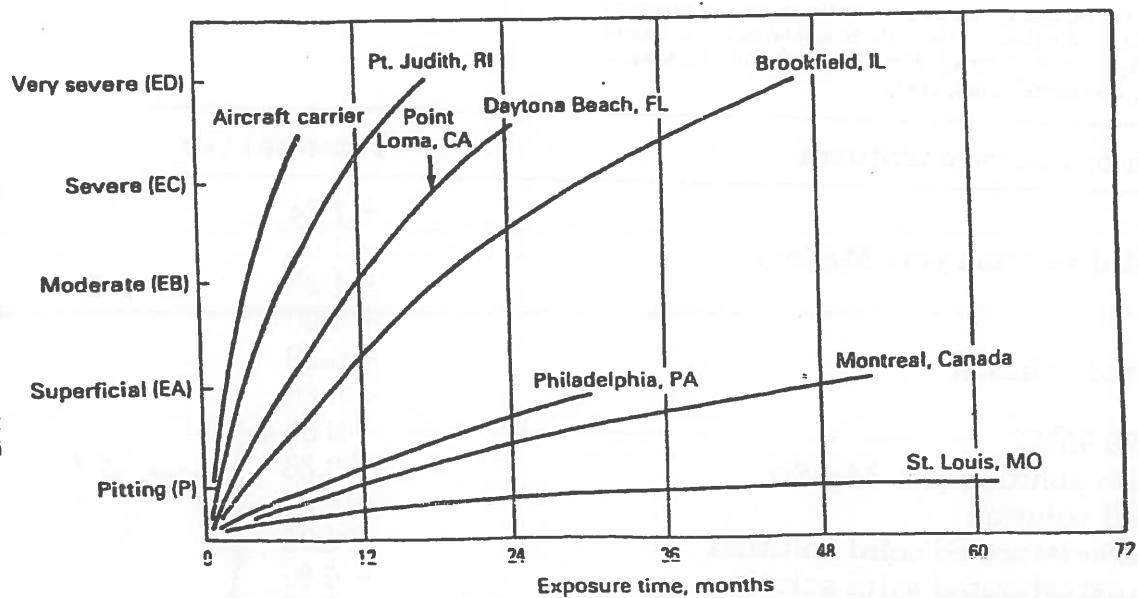


**Fig. 9** Schematic of exfoliation in an aluminum aircraft panel

El mudache es de acero cadmiciado, y como el cd es más electronegativo que el Al, éste está protegido de la corrosión galvánica.

Como no está correctamente sellado, entra humedad y produce la exfoliación

Exfoliation rating per ASTM G 34



**Fig. 8** Comparison of exfoliation of alloy 2124 (heat treated to be susceptible; EXCO ED rating) in various seacoast and industrial environments. Specimens were 13 mm (1/2 in.) plate.

## - Corrosión microbiológica

Se produce por el ataque del producto del metabolismo (generalmente ácidos) de determinados microorganismos como hongos o bacterias → procesos electroquímicos locales por acidificación y oxidación diferencial (los microorganismos consumen el oxígeno, empobreciendo el ambiente).

Es un problema muy típico de los depósitos de combustible con agua residual faducada, y puede intentar evitarse mediante recubrimientos interiores, drenajes adecuados para eliminar el agua, uso de biocidas, etc.

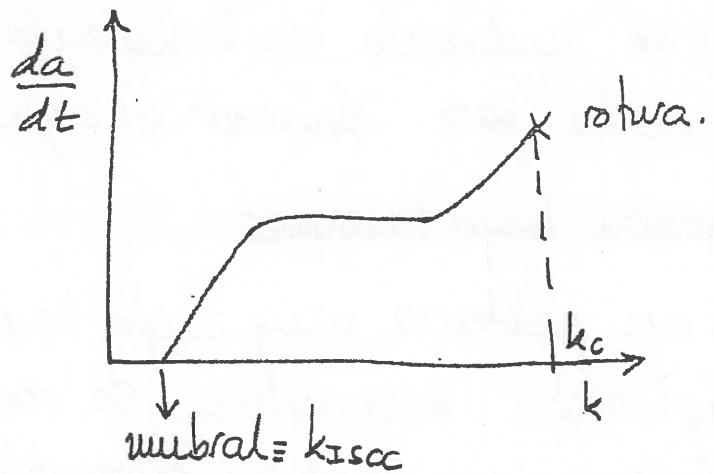
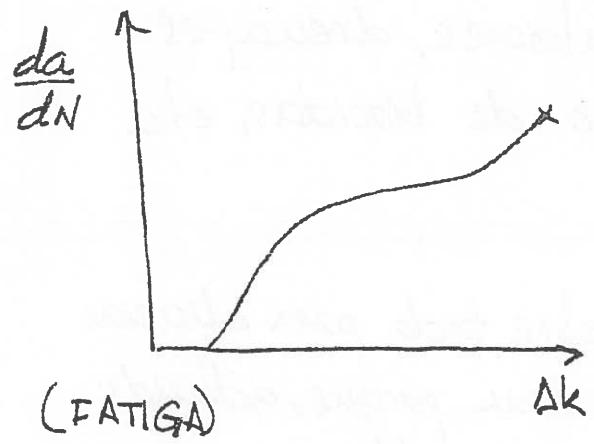
## - Corrosión bajo tensiones

Es un problema muy importante sobre todo para aplicaciones de aplicación aeronáutica. Se caracteriza porque, además de precisar un material susceptible de corrosión y un medio adecuado (como los demás tipos) requieren tensiones generalmente de tracción.

Se trata de una corrosión intercristalina, luego para detectarla hay que recurrir a ensayos no destructivos.

Las etapas de este proceso de corrosión son muy parecidas a las de fatiga:

- Etapa de nucleación: precisa un nivel de tensión mínimo o umbral, por debajo del cual no se produce. Además, las zonas con concentración de tensiones favorecen la nucleación de la grieta.
- Etapa de crecimiento: la curva de crecimiento de la grieta es muy similar a la que veíamos en fatiga, sólo que ahora las cargas son estáticas en lugar de variables.

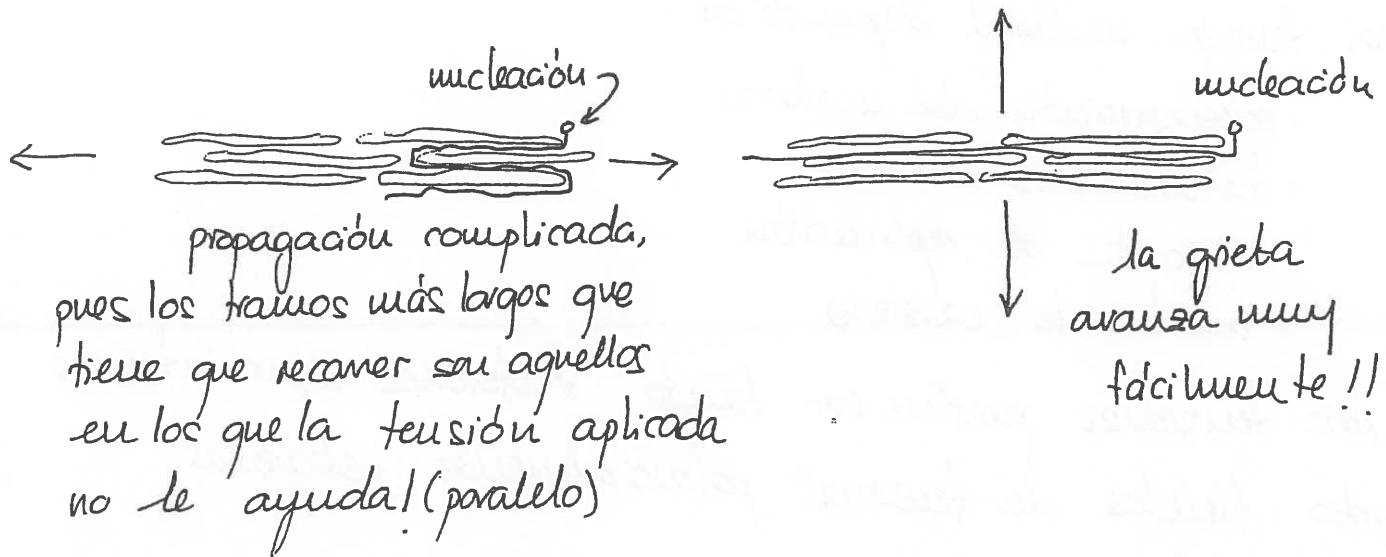


#### • Influencia de la composición

- Los metales puros son inmunes al problema
- No es un problema exclusivo de las aleaciones de aluminio, es un problema creciente en aleaciones complejas con ciertos tratamientos térmicos
- Es más probable en aleaciones con trat. térmicos
- En general, a mayor contenido en aleantes, mayor problema: influyen sus proporciones, ...

- Mejoran el comportamiento ciertos aleamientos, como el Cu en aleaciones Al-Zn-Mg.
- Influencia de la forma y tamaño de grano.
  - A mayor tamaño de grano, mayor susceptibilidad, es un factor muy importante.
  - Las estructuras recristalizadas equiaxiales tienen un comportamiento muy negativo, pues la grieta, que se propaga en dirección perpendicular a la tensión aplicada, encuentra fácilmente caminos de avance sea cual sea la dirección de la carga.

→ por ello se recomienda al desarrollo de estructuras granulares alargadas, que tienen un comportamiento anisótropo: no todas las direcciones son favorables:



→ Por tanto, para aplicaciones aeronáuticas exigiremos estructuras de este tipo: no dejaremos que los grados recristalicen (adición de antimectalizantes). Por contra, hay que tener muchísimo cuidado con la dirección de aplicación de las cargas y tener presente que estamos favoreciendo la corrosión por extorsión.

### Influencia del ambiente

Si no se tiene un ambiente corrosivo no aparecerá el problema, aunque esto es muy complicado, pues se produce corrosión inducida sólo con la humedad del aire. Consideraremos siempre que este factor está presente.

### Influencia de la tensión aplicada

Sabemos que la corrosión bajo tensiones precisa una tensión o factor de intensidad mínimo (umbral) de tracción (con cargas de compresión este problema no aparece). Dicha tensión umbral depende de:

- composición del material
- tratamiento térmico
- dirección de aplicación
- ambiente corrosivo

Las tensiones pueden ser tanto exteriores como internas. siendo fuentes de tensiones potencialmente peligrosas las siguientes:

Aspecto típico de una grieta intergranular

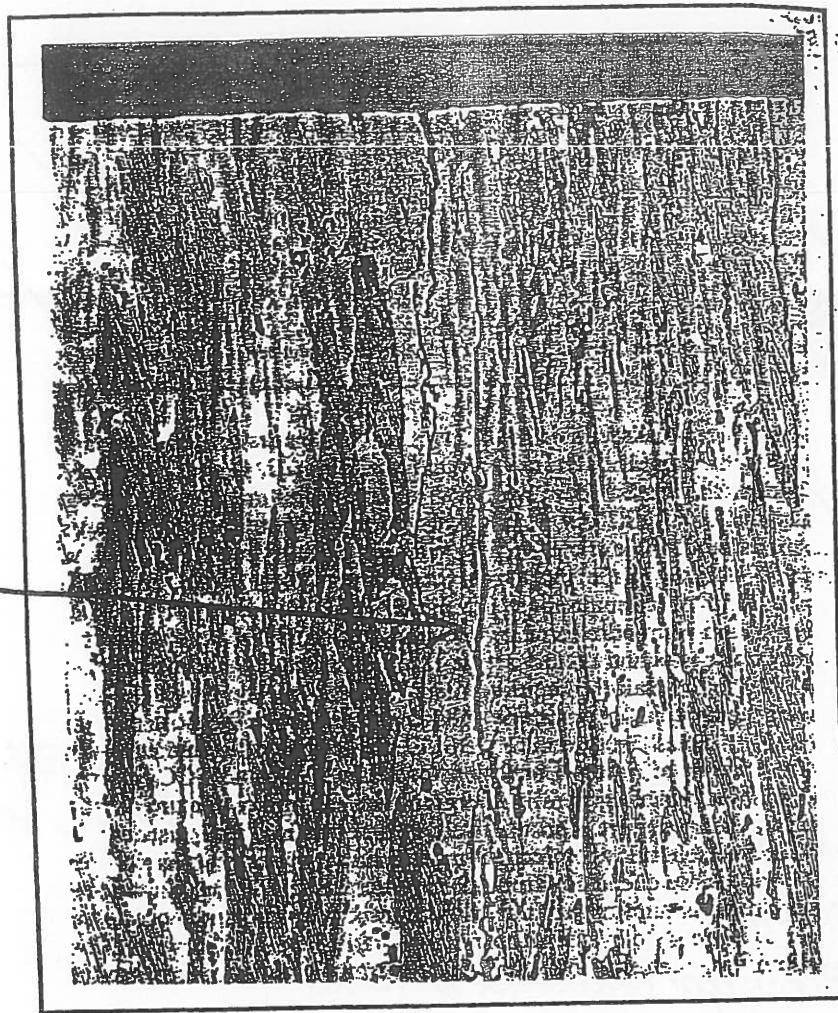
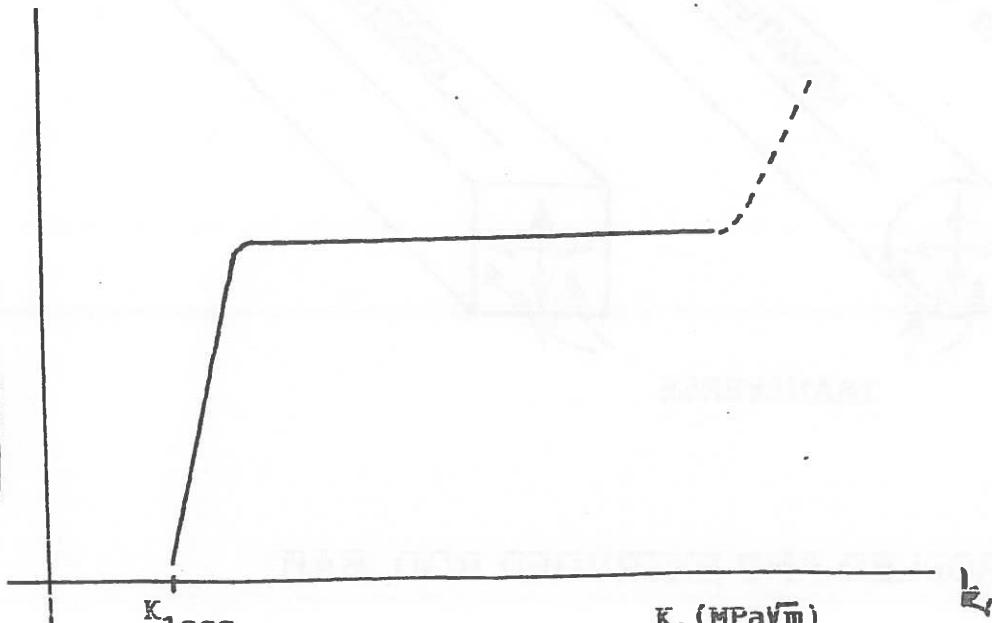


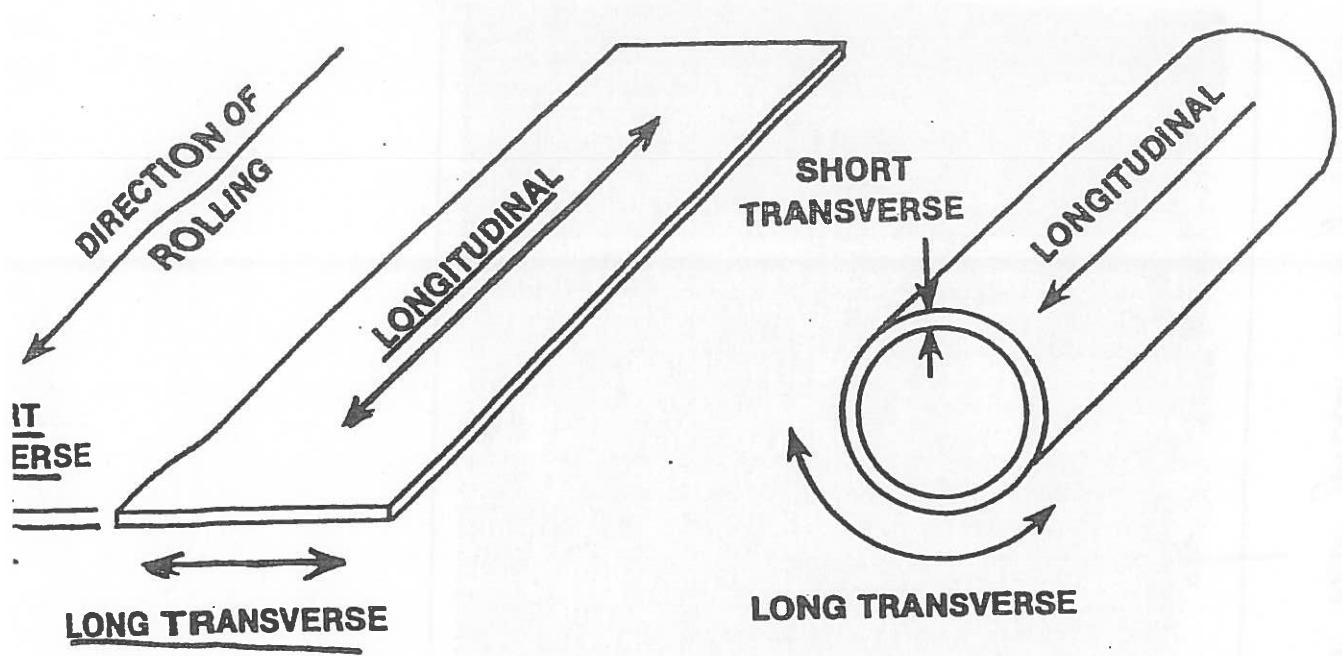
Fig. 4. Typical intergranular stress corrosion crack in 6.4-mm (0.25-in.) 7075-T651 plate stressed in short transverse direction. (Courtesy of Alcoa Laboratories)

lo que no podemos saber es si es corrosión intercrystalina o corrosión bajo tensión.

Velocidad de crecimiento  
de grieta, log (m/s)



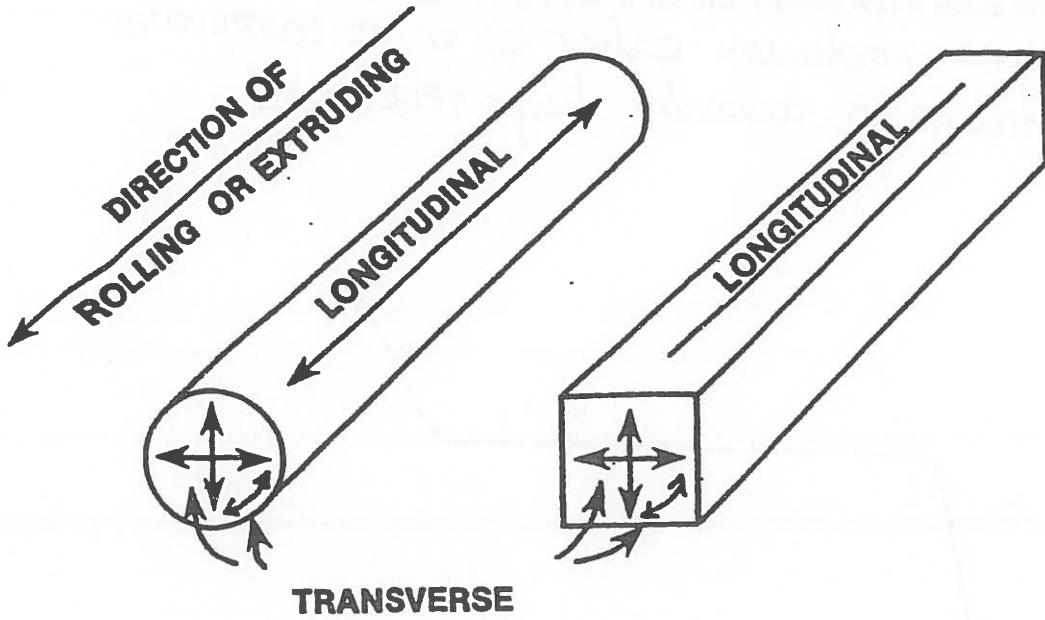
(umbral)



### SHEET AND PLATE

### EXTRUDED AND DRAWN TUBE

Longitudinal: bien comportamiento a tensiones  
 Transversal larga: comportamiento algo peor  
 Transversal corta: comportamiento malo.



### ROLLED AND EXTRUDED ROD, BAR

- efectos de estalla
- procesos de fabricación
- procesos de soldadura
- tratamiento térmico
- tensiones de montaje

### Influencia del tratamiento térmico

El tratamiento térmico que recibe una aleación de aluminio es el responsable de la estructura del borde grano que puede provocar la rotura intercristalina. Tras la solución, la aleación es inmune a este problema volviéndose susceptible durante el tratamiento de maduración.

En general, la maduración natural se comporta peor frente a la corrosión bajo tensiones que la maduración artificial por lo que no se aplica en piezas aeráuticas salvo quizás en chapas y larguillos los cuales, debido a su reducido espesor, no soportan tensiones en la dirección del espesor. La maduración artificial se comporta, entonces, mejor frente a este tipo de corrosión: tanto mejor cuanto más avanzada sea la maduración  $\Rightarrow$  el tratamiento TG presenta una susceptibilidad elevada y los TT van siendo progresivamente mejores, aunque en su contra tienen que van perdiendo propiedades mecánicas!

El tratamiento puede influir a través de:

- Tamaño y espaciado de precipitados intergranulares
- Tamaño de las zonas libres de precipitado
- Características de deformación en matriz y PFZ
- Segregación de elementos en borde de grano
- Modificación de la densidad de dislocaciones.

### • Auto protección del aluminio

El aluminio es un metal muy reactivo, por lo que en contacto con el oxígeno atmosférico produce una reacción espontánea en el resultado de la formación de una capa superficial de óxido que recubre a la pieza.

El espesor de la capa formada es de unos 4-10 nm y se compone de dos partes:

- capa banera, en contacto con el metal (interior), de unos 2 nm, muy compacta, de óxido hidratado  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .
- capa exterior, formada por óxido hidratado (con la humedad ambiente)

Esta capa de óxido proporciona al aluminio una muy buena protección frente a la corrosión en muchos ambientes, siendo más estable para pH entre 4 y 8 (ver fig 34). Sin embargo, en ambientes ácidos o básicos, la pieza puede ser atacada, pues la capa de óxido es insuficiente.

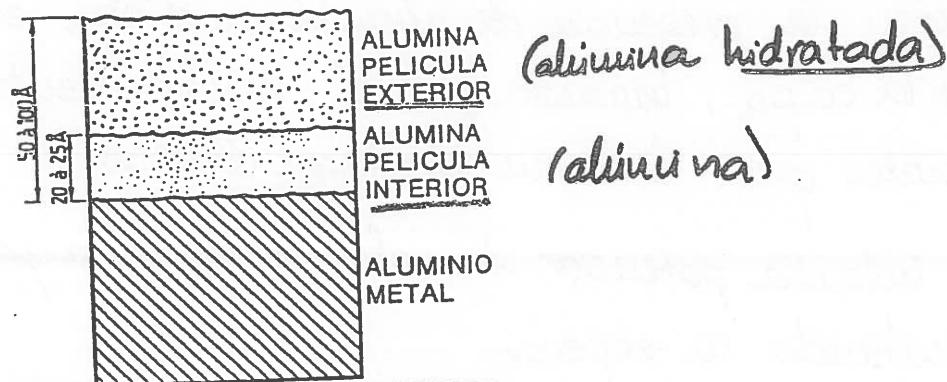


FIG. 9.—Película de óxido natural sobre el aluminio.

imperfecciones de la capa protectora

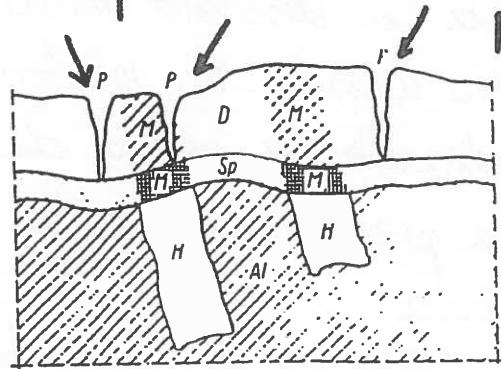


Fig. 3.3 Formación de una capa de óxido (esquemática) sobre aluminio puro en aire húmedo; Al = metal base, Sp = capa barrera (capa base), D = capa de recubrimiento, P = poros, H = heterogeneidades en el metal base, M = óxido mixto

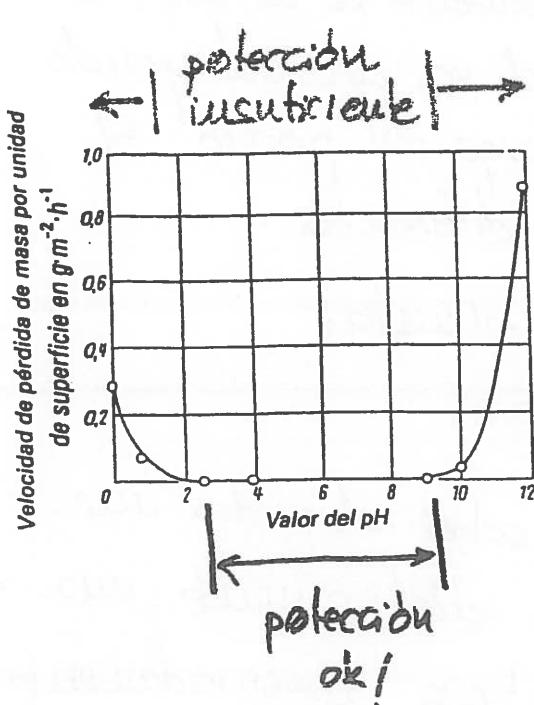


Fig. 3.4 Influencia del pH sobre la solubilidad de la película de óxido (según Shatalov)

Además, la presencia de agujeros modifica el comportamiento de la capa, haciendo que el recubrimiento presente fallos locales que favorecen el ataque corrosivo.

↳ se intenta potenciar la eficacia de la capa protectora aumentando su espesor.

### • Anodizado del aluminio

Causóse el desarrollo artificial de una capa más gruesa de óxido, que mejore la resistencia a la corrosión. Se obtiene mediante el proceso de oxidación electroquímica, actuando la pieza como ánodo y utilizando como electrolito agua acidulada.

En el cátodo se desprende hidrógeno, y en el ánodo se desprende oxígeno atómico, mucho más activo que el molécula que va originando la capa de óxido en la pieza.

Con un registro de intensidad de corriente se ve que, al comenzar la electroquímica, la intensidad va disminuyendo hasta un valor que se mantiene a lo largo del proceso. El recubrimiento consta de dos zonas muy diferentes:

- capa blanca, en contacto con el metal
- Capa parda, situada al exterior.

↳ Al iniciarse el proceso, se crea sobre el metal una capa compacta muy fina y aislante eléctricamente: una vez formada, su espesor se mantiene aproximadamente constante. (← caída brusca de I, estabilización)

# NODIZADO EL ALUMINIO

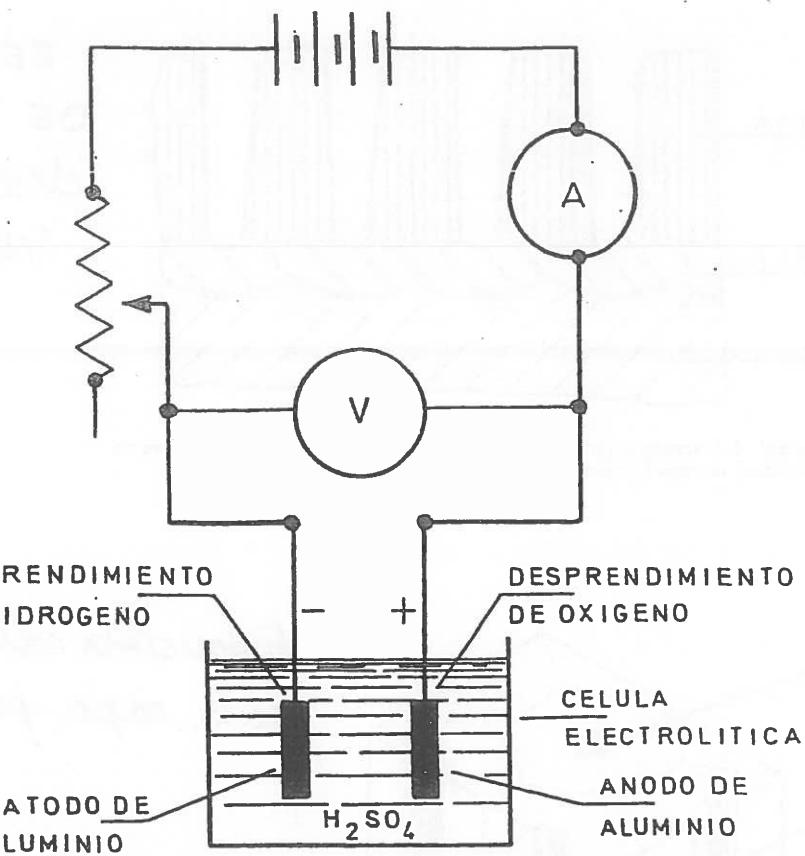


Fig. 1.—Representación esquemática del proceso de oxidación anódica.

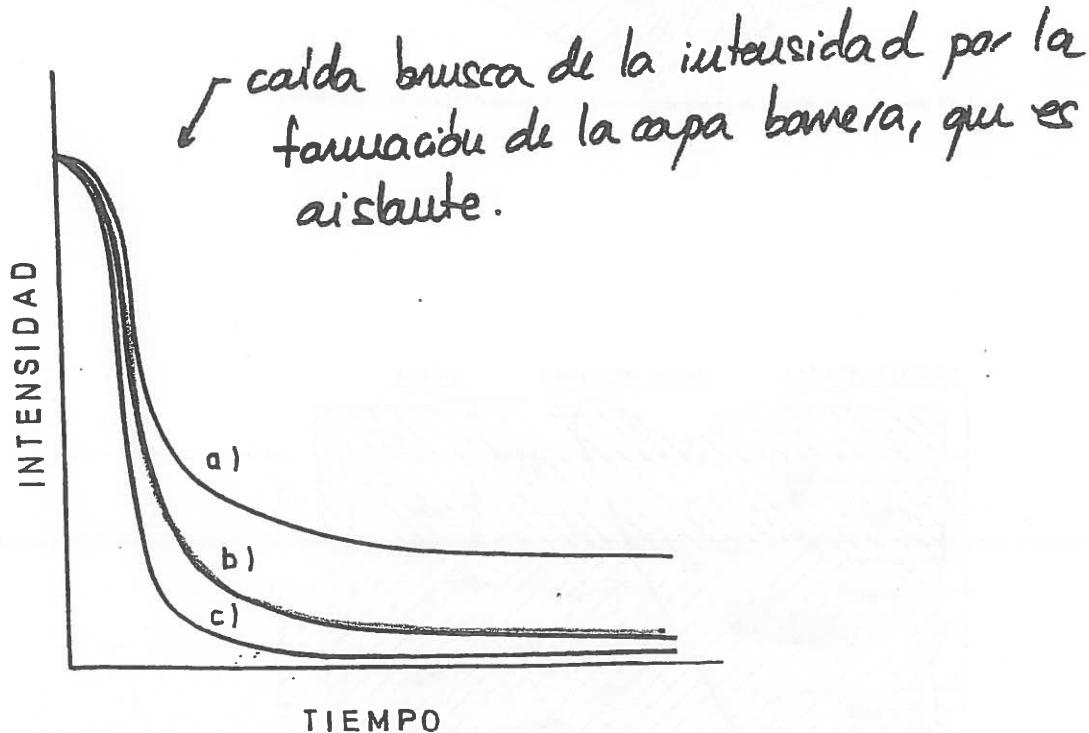


Fig. 2.—Formación de la capa barrera en distintos electrólitos. La corriente residual es mayor o menor según que la actividad del electrólito sea: a) grande, b) moderada o c) pequeña.

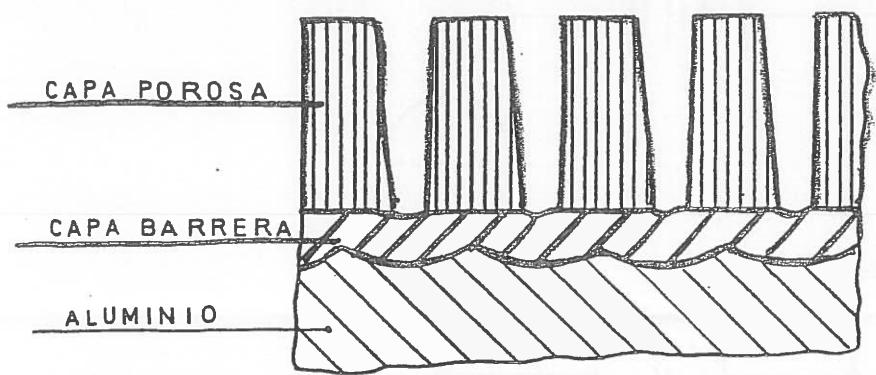
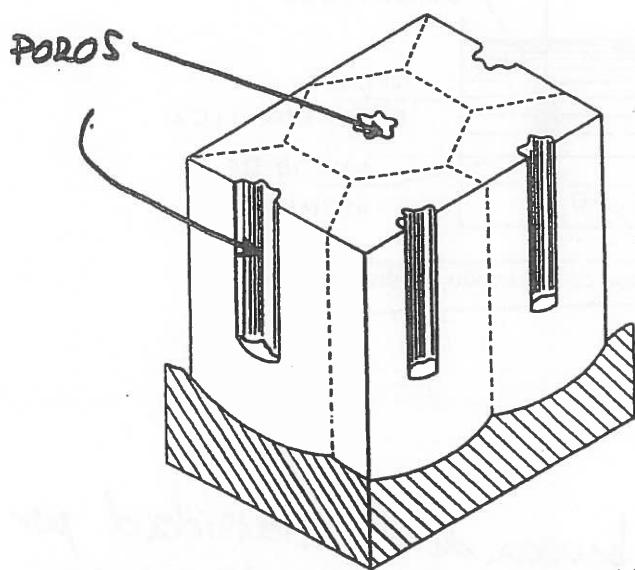


Fig. 3.—Sección transversal del recubrimiento de óxido sin sellar, en el que se aprecia esquemáticamente su porosidad, la capa barrera y el metal base.

ESTRUCTURA  
DE LA CAPA DE  
ÓXIDO TRAS EL  
ANODIZADO



Estructura celular hexagonal  
de la capa porosa.

Fig. 4.—Representación clásica de la estructura celular y hexagonal del recubrimiento mostrando los poros y la capa barrera.

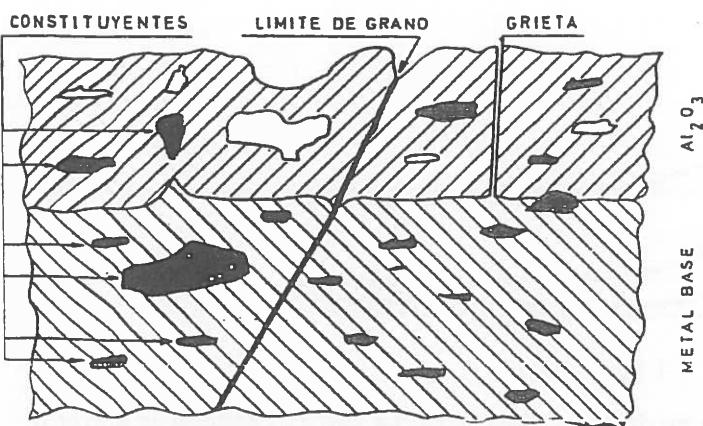


Fig. 5.—Representación esquemática de la distribución de constituyentes en el metal base. Al formarse el recubrimiento, unos se disuelven y otros permanecen en él afectando la transparencia y a la homogeneidad de la capa anódica.

Sobre la capa base se va desarrollando con el tiempo la capa pasiva de óxido de aluminio que tiene una estructura celular hexagonal con un paso central que penetra hasta la capa base.

Así, aunque hayamos obtenido una capa más gruesa que la que se obtendría de forma natural, esta protegería no me sirve demasiado, pues al ser la capa exterior pasiva, la capa que realmente protege la pieza es la interna, de menor espesor.

### • Procesos electroquímicos más utilizados

En función del medio ácido en que se realiza el anodizado tenemos:

#### - Anodizado sulfúrico

Es el más empleado en la industria en general, aunque no en aplicaciones aeronáuticas (salvo los aviones).

Produce una capa dura, incolora y de espesores muy grandes (aunque no dolidor que porosos), de hasta 20 µm.

"Anodizado duro": la aluminina es un cerámico, luego es muy dura → buen comportamiento a desgaste y abrasión.

#### - Anodizado cárlico

Se obtienen capas más delgadas que en el anodizado sulfúrico y es el empleado por las empresas aeronáuticas.

europeas. Su principal ventaja es que presenta un comportamiento a fatiga bastante bueno (en efecto el sulfuro es bastante malo!)

#### - Anodizado fosfórico

Se emplea generalmente cuando tras el anodizado se va a dar un recubrimiento de pintura o se va a utilizar para una vidriada adhesiva.

#### - Anodizado óxido

No se suele emplear en piezas de avión, aunque presenta buenos resultados, y se emplea, si la aleación no tiene cobre ni silicio.

#### - Beneficios del anodizado

- . Mejora la resistencia a corrosión, aunque no tanto como se esperaría por ser una parte de la capa porosa.
- . Aumenta la adherencia de recubrimientos orgánicos (pinturas, adhesivos,...). El recubrimiento debe aplicarse pronto tras el anodizado.
- . Mejora la resistencia a la abrasión y desgaste, pues el óxido es más duro que el aluminio.
- . Mejora el aspecto estético, aunque en aeronáutica es secundario; baños de color según composición,...
- . Proporciona aislamiento eléctrico, pues el óxido, al ser un cerámico, es un aislante.

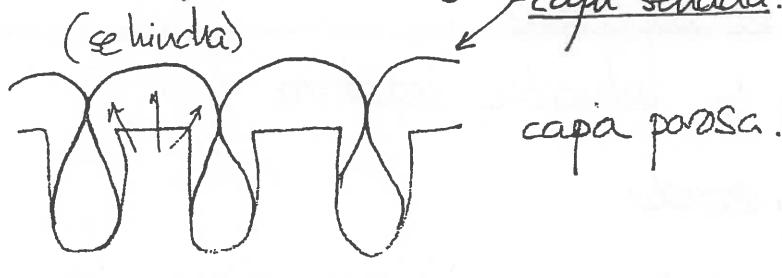
Si ésto es una forma de comprobar si una pieza ha sido  
oxidizada (no carburo) o no.

### • Sellado de la capa avórica

El recubrimiento producido por el anodizado es poroso, y esto  
no hay forma de impedirlo, pero podemos mejorar mucho  
su comportamiento si esos poros son "tapados": éste es el  
proceso de sellado. Así:

- Mejora la resistencia a corrosión
- Reduce la resistencia a la abrasión
- Disminuye la adhesión de recubrimientos orgánicos
- Reduce la resistencia de unidas adhesivas
- Evita el compostamiento a fatiga → su aviacón no lousamos  
con la humedad del ambiente, la atmósfera de la zona  
exterior de la capa se hidrata, aumentando su volumen y  
creando los poros. Como de forma natural este hardonea  
muy rápidamente en producirse, lo que se hace es provocarlo  
mediante la inmersión de la pieza en agua hirviendo.

Debe emplearse agua de muy buena calidad (desionizada..)



## • La influencia del anodizado en el comportamiento a fatiga.

En general, se considera que el anodizado empeora el comportamiento a fatiga de las aleaciones de aluminio; la capa de óxido que recubre la pieza es muy dura y frágil de forma que es una zona donde más fácilmente se presentan grietas (especialmente graves bajo esfuerzos de flexión).

La aparición de grietas en la capa anodizada favorece la propagación de grietas de fatiga en la pieza, tanto más cuanto más "gorda" sea la capa: por ello, se considera en general que el anodizado cromático es menos nocivo desde este punto de vista que el sulfúrico.

El sellado tiene un efecto negativo como se pone de manifiesto en las curvas de la página siguiente.

## • Recubrimientos de conversión

Son recubrimientos inorgánicos desarrollados a partir de la "conversión" de la capa de aluminio original en una capa más compleja de óxidos de aluminio y de cromo.

Las etapas convencionales del proceso son:

- Limpieza de la superficie
- Aplicación de la solución reactiva
- Enjuagado y secado.

11/24/

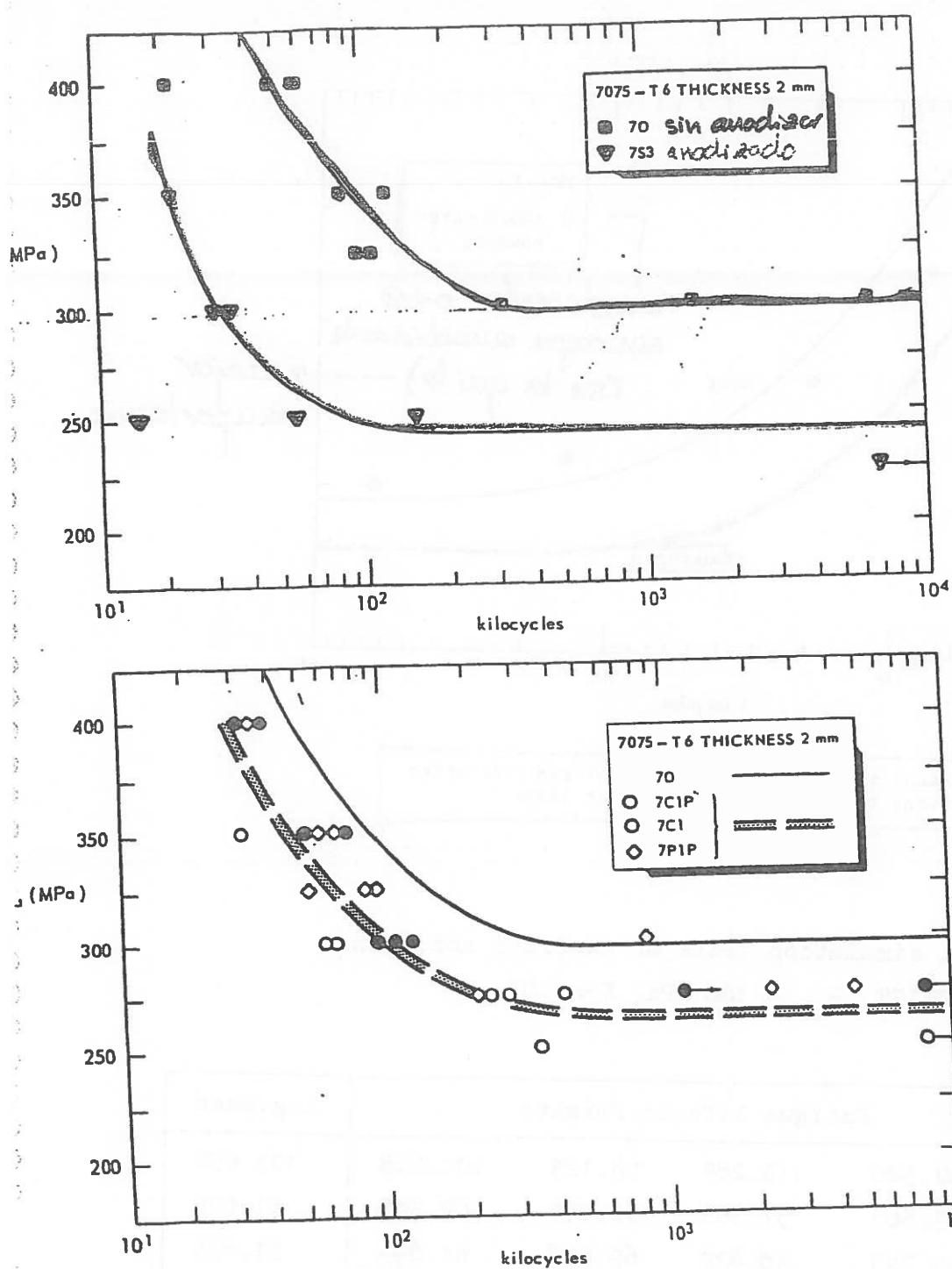


Fig. 9 Fatigue test results for 2024-T3 specimens.  
 $K_t = 1.1$ ;  $R = 0.1$

- 70 : No anodizado
- 7S1: Anodizado sulfúrico
- 7S3: Anodizado sulfúrico + sellado
- 7C1: Anodizado crómico
- 7C1P: Anodizado crómico + primer
- 7C3: Anodizado crómico + sellado
- 7PIP: Anodizado fosfórico + primer

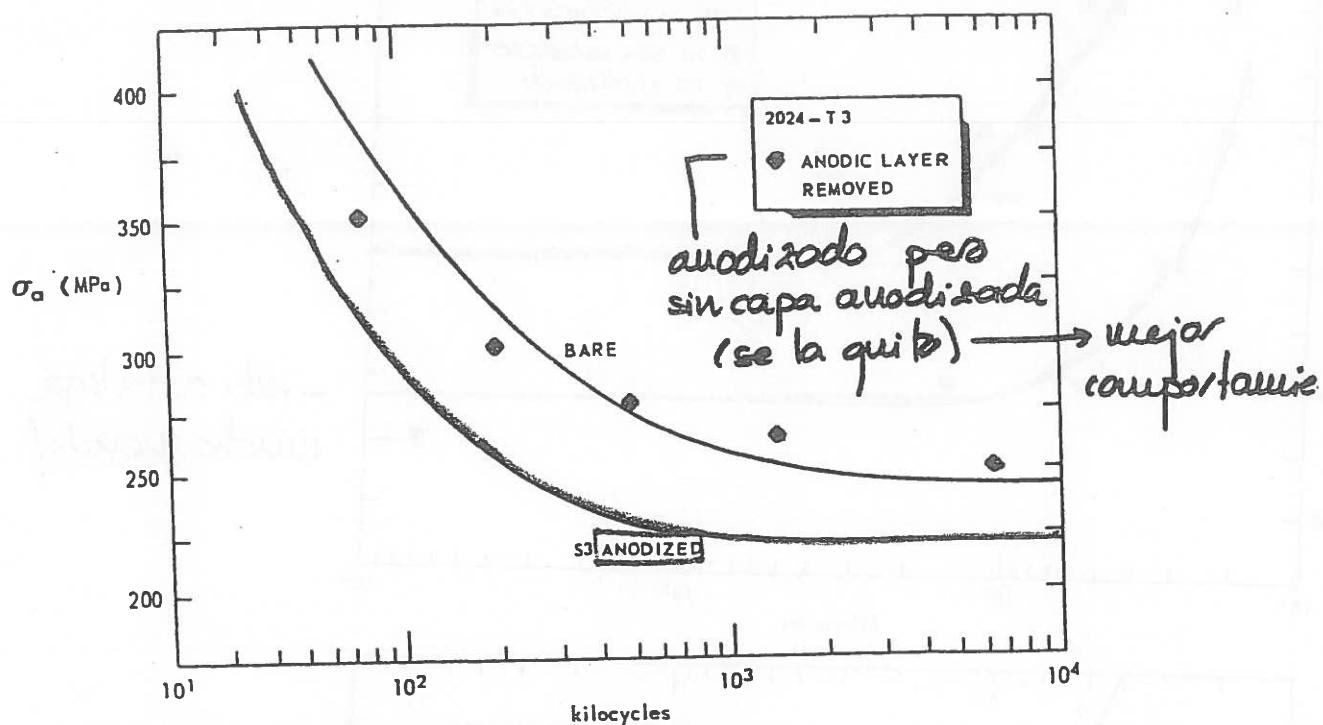


Fig. 10 Increase in constant amplitude fatigue life after removing the sulphuric acid anodic layer

Results of flight simulation tests on anodized specimens

MINI TWIST,  $S_{mf} = 160$  MPa,  $K_t = 1.07$

2024  
7075

Specimen	Fatigue life in flights.				Log. mean
No anodizada	100.500	115.289	98.125	109.608	105.656
Sulf. + sell.	53.501	57.506	59.979	60.508	57.806
Crom. + prim.	40.241	48.820	69.658	81.894	57.859
Crom. + sell.	40.523	47.720	53.380	65.973	51.084
No anodizada	55.268	80.428	139.108	-	85.194
Sulf. + sell.	22.871	29.858	30.328	39.541	30.082
Crómico	73.657	75.447	84.976	99.673	82.829
2024 plaqueada	21.663	23.296	23.528	24.786	23.292
Crom. + prim.	26.690	29.137	-	-	27.887

\* The mean load level was decreased by 13% to account for the thickness of the clad layer.

Las ventajas fundamentales de estos recubrimientos son:

- Mejoran el comportamiento a corrosión
- Facilitan la adhesión de recubrimientos orgánicos
- No se debilita la resistencia a fatiga de la pieza \*
- Fácil aplicación: inmersión, spray, brocha,...
- Pueden realizarse tratamientos locales de reparación de zonas dañadas dañadas, en piezas que incluso están montadas en el avión.

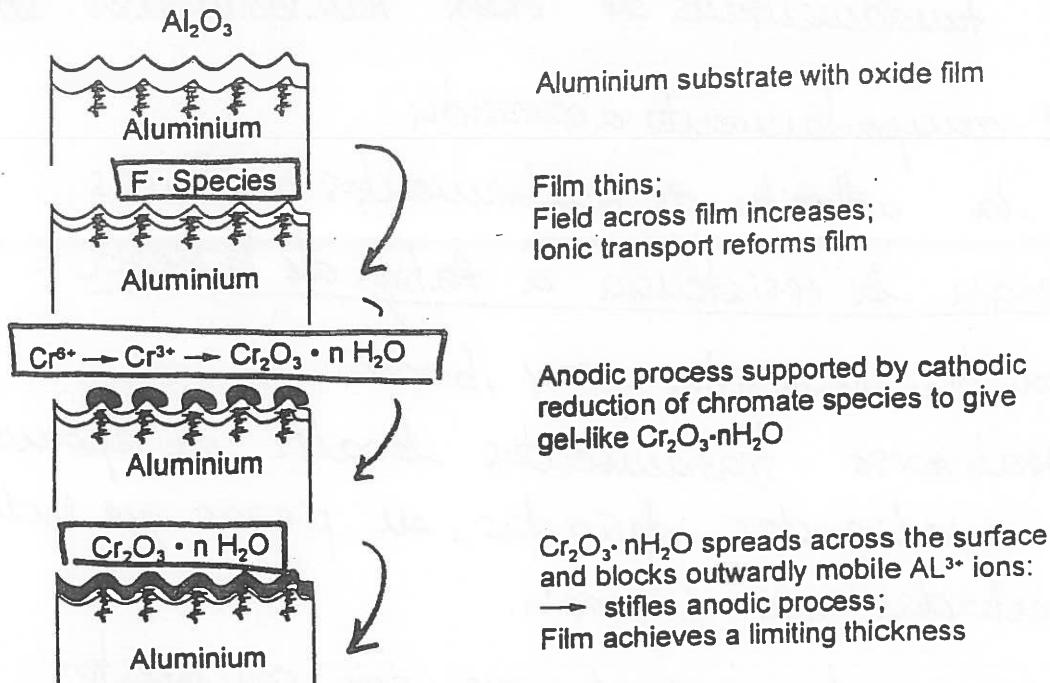
y como inconveniente principal que son compuestos muy dañinos medioambientalmente (se acabarán prohibiendo).

Las reacciones que ocurren durante el proceso de conversión son:

- Disolución parcial de la capa de óxido en el medio dada por iones  $F^- \rightarrow$  el ataque de estos iones reduce el espesor de la capa protectora original.
- Reducción de iones  $Cr^{+6}$  a  $Cr^{+3}$  que se van depositando sobre la superficie hasta que queda totalmente recubierta por una capa hidratada:  $Cr_2O_3 \cdot nH_2O$

Así, la pieza queda protegida por dos capas, la de óxido de aluminio, muy fina, y la de óxido de cromo hidratado.

# Process del tratamiento de conversión.



Model of Fluoride-Containing Chromate Conversion Coating Formation

5202.04.01

Table 18 Process conditions for chromate conversion coating of aluminum

Process	Solution composition	Amount		pH	Temperature		Treatment time
		g/L	oz/gal		°C	°F	
Process A(a)	CrO <sub>3</sub>	6(b)	0.80(b)	1.2-2.2	16-55	60-130	5 s-8 min
	NH <sub>4</sub> HF <sub>2</sub>	3	0.40				
	SnCl <sub>4</sub>	4	0.6				
Process B(c)	Na <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> · 2H <sub>2</sub> O	7(b)	1(b)	1.2-2.2	16-55	60-130	5 s-8 min
	NaF	1	0.1				
	K <sub>3</sub> Fe(CN) <sub>6</sub>	5	0.7				
Process C(e)	HNO <sub>3</sub> (48° Be)	(d)	(d)	1.2-2.2	40-80	105-175	1-10 min
	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	64	8.5				
	NaF	5	0.6				
	CrO <sub>3</sub>	10	1.3				

(a) U.S. Patents 2,507,959 (1950) and 2,851,385 (1958). (b) Desired range of hexavalent chromium ion, 1 to 7 g/L (0.13 to 0.90 oz/gal).  
 (c) U.S. Patent 2,796,370 (1957). (d) 3 mL (0.1 fluid oz). (e) Process for Alodine, Alochrome, and Bonderite

## Plaqueado de las aleaciones de aluminio

Sabemos que el aluminio, como metal puro, tiene muy buen comportamiento a corrosión, que se va estropeando, y mucho, con la adición de aleantes, tratamientos térmicos,...

Una solución que plantea a priori, muy lógica, es la de recubrir toda la pieza con aluminio puro, aunque no es tan sencillo como puede parecer.

Entonces, el plaqueado consiste en recubrir una aleación en una capa de otra que la proteja contra la corrosión. Se realiza mediante laminación en caliente en la que conjuntamente entre en el laminador el material a plaquear y dos delgadas chapas de la aleación que se va a proteger. Debido a las altas presiones y temperaturas al paso de los rodillos laminadores, se consigue una unión excelente, con difusión y formación de granos a través de la entrecara, y de forma razonablemente barata.

Una condición imprescindible a la hora de elegir el material plaqueante, es que tenga un buen comportamiento a corrosión, pero hemos de tener también en cuenta, que la chapa que protege puede dejar al descubierto alguna zona, p.e. por una rayadura en el montaje,... es inevitable. Tenemos entonces dos aleaciones metálicas en contacto directo

en un ambiente más o menos húmedo, con diferente potencial, ...  $\Rightarrow$  corrosión galvánica!

↳ Una segunda condición que debemos exigir a la aluminio plapeante es que sea más electronegativa que la pieza a proteger, para que en caso de producirse la corrosión galvánica, la parte atacada sea el recubrimiento, y no la pieza.

Se construyen, para ello, diferentes tablas con los potenciales de las aleaciones para ver cuáles pueden emplearse como plapeantes y cuáles no seguir sea la aleación de mi pieza por ejemplo como se ve en estas tablas (ver pg. siguiente)

Aleación 2024<sup>(\*)</sup> en estado T3  $\rightarrow -0,69 \text{ V}$  } ✓

↳ podemos emplear aluminio puro  $\sim -0,83 \text{ V}$

Aleación 7075<sup>(\*\*)</sup> (Al-Zn) en estado T6  $\rightarrow -0,83 \text{ V}$  } ✓

↳ no puedo usar el Al puro

↳ empleo la aleación 7072  $\rightarrow -0,96 \text{ V}$

↓  
esta aleación, p.e. se diseñó especialmente para esto, para proteger a la 7075: es Al puro + 1% Zn

(\*) Aleación Al-Cu y el Cu reduce la electronegativ. ] ver pg M/232

(\*\*) Aleación Al-Zn y el Zn la aumenta ]

**Table 1a Solution potentials of nonheat-treatable commercial wrought aluminum alloys**

Values are the same for all tempers of each alloy.

Alloy	Potential(a), V
1060.....	-0.84
1100.....	-0.83
3003.....	-0.83
3004.....	-0.84
5050.....	-0.84
5052.....	-0.85
5154.....	-0.86
5454.....	-0.86
5056.....	-0.87
5456.....	-0.87
5182.....	-0.87
5083.....	-0.87
5086.....	-0.85
7072.....	-0.96

(a) Potential versus standard calomel electrode

**Table 1b Solution potentials of heat-treatable commercial wrought aluminum alloys**

Alloy	Temper	Potential(a), V
2014.....	T4	-0.69(b)
	T6	-0.78
2219.....	T3	-0.64(b)
	T4	-0.64(b)
2024.....	T6	-0.80
	T8	-0.82
2036.....	T3	-0.69(b)
	T4	-0.69(b)
2090.....	T6	-0.81
	T8	-0.82
6009.....	T4	-0.72
6010.....	T4	-0.83
6151.....	T6	-0.80
6351.....	T5	-0.83
6061.....	T4	-0.83
	T6	-0.83
6063.....	T5	-0.83
	T6	-0.83
7005.....	T6	-0.94
X7016.....	T6	-0.86
X7021.....	T6	-0.99
X7029.....	T6	-0.85
X7146.....	T6	-1.02
7049.....	T73	-0.84(c)
	T76	-0.84(c)
7050.....	T73	-0.84(c)
	T76	-0.84(c)
7075.....	T6	-0.83(c)
	T73	-0.84(c)
7475.....	T6	-0.84(c)
	T73	-0.84(c)
7178.....	T6	-0.84(c)
	T76	-0.84(c)

(a) Potential versus standard calomel electrode. (b) Varies  $\pm 0.01$  V with quenching rate. (c) Varies  $\pm 0.02$  V with quenching rate**Table 1c Solution potentials of cast aluminum alloys**

Alloy	Temper	Type of mold(a)	Potential(b), V
208.0.....	F	S	-0.77
238.0.....	F	P	-0.74
295.0.....	T4	S or P	-0.70
	T6	S or P	-0.71
	T62	S or P	-0.73
296.0.....	T4	S or P	-0.71
308.0.....	F	P	-0.75
319.0.....	F	S	-0.81
	F	P	-0.76
355.0.....	T4	S or P	-0.78
	T6	S or P	-0.79
356.0.....	T6	S or P	-0.82
443.0.....	F	S	-0.83
	F	P	-0.82
514.0.....	F	S	-0.87
520.0.....	T4	S or P	-0.89
710.0.....	F	S	-0.99

(a) S, sand; P, permanent. (b) Potential versus standard calomel electrode

**Table 1d Solution potentials of some nonaluminum base metals**

Metal	Potential(a), V
Magnesium .....	-1.73
Zinc .....	-1.10
Cadmium .....	-0.82
Mild carbon steel .....	-0.58
Lead .....	-0.55
Tin .....	-0.49
Copper .....	-0.20
Bismuth .....	-0.18
Stainless steel(b) .....	-0.09
Silver .....	-0.08
Nickel .....	-0.07
Chromium .....	-0.40 to +0.18

(a) Potential versus standard calomel electrode. (b) Series 300, type 430

Un aspecto muy negativo de este tipo de protección es que ~~se~~ estorba mucho el comportamiento a fatiga, pues se trata de capas blandas, donde el movimiento de dislocaciones es más sencillo, en la zona más problemática de la pieza, la superficie. Así así, son empleadas en aleatorización, pero no sin la correspondiente advertencia de revisiones...

Además, en el tratamiento térmico posterior hay que tener especial precaución, y dar el tiempo de solución adecuado para evitar difusión de aleantes a la capa superficial que destruye el efecto protector. Esto es especialmente importante en las aleaciones Al-Au.