

## CAPITULO F.7 ALUMINIO ESTRUCTURAL

### F.7.1 - GENERALIDADES

**F.7.1.1 - ALCANCE** - Este capítulo establece los requisitos para el diseño de miembros de aluminio de estructuras aporticadas, en celosía y de lamina rigidizada, conformados por elementos extruídos o laminados. Si se usan piezas coladas o forjadas en caliente, éstas deben ser fabricadas y diseñadas de acuerdo con normas apropiadas reconocidas, a juicio del Comisión Asesora Permanente para el Régimen de Construcciones Sismo Resistentes, y en consulta con el fabricante específico.

Estos requisitos de diseño se dirigen a una gran variedad de aleaciones de aluminio apropiadas para uso estructural y pueden aplicarse a estructuras sujetas a condiciones atmosféricas normales tales como puentes, edificios, torres, vehículos de carretera y sobre rieles, naves marinas, grúas y estructuras sobre cubierta ubicadas mar adentro

Las prescripciones no cubren aleaciones aeroespaciales, el diseño de detalles de piezas coladas estructuras de cascarones curvos ni estructuras sujetas a condiciones térmicas o químicas severas. No están dirigidas al diseño de tanques de contención, tuberías, estructuras que se muevan en el aire o embarcaciones, ni para ninguna otra aplicación para la cual existan códigos específicos de diseño, expedidos por entidades de reconocida autoridad

**F.7.1.2 - DEFINICIONES** - Para el propósito de este capítulo, se aplican las siguientes definiciones:

**Sección transversal compacta** - Una sección transversal que puede desarrollar su capacidad plástica total, sujeta a compresión o flexión, sin reducción debida a pandeo local de elementos de pared delgada

**Vida de diseño** - Período durante el cual la estructura o componente debe comportarse con seguridad, con una probabilidad aceptable de que no requerirá reparación ni retiro de servicio.

**Espectro de diseño** - Tabulación del número de ocurrencias de todos los rangos de esfuerzos causados por eventos de carga.

**Clase de detalle** - Calificación dada a un detalle indicando su nivel de resistencia a la fatiga

**Distancia al borde** - Distancia desde el centro de un agujero para un sujetador hasta el borde más próximo del elemento.

**Longitud efectiva** - Longitud entre puntos de restricción efectiva de un miembro multiplicada por un coeficiente que tiene en cuenta las condiciones en los extremos y la carga.

**Carga mayorada** - Carga nominal multiplicada por el coeficiente de mayoración de carga pertinente

**Vida mayorada** - Es la vida de diseño multiplicada por el coeficiente parcial de vida pertinente

**Resistencia de diseño** - Es la resistencia nominal del miembro multiplicada por el coeficiente de reducción pertinente

**Seguridad en la falla** - Es la capacidad de la estructura para mantenerse utilizable después del descubrimiento y monitoreo de grietas por fatiga.

**Fatiga** - Daño por agrietamiento gradual ocurrido a un miembro estructural debido a aplicaciones repetidas de un esfuerzo que es insuficiente para causar la falla por una sola aplicación

**Frontera de fusión** - Material afectado por el calor en la zona inmediatamente adyacente al lado de un cordón de soldadura.

**Zona afectada por el calor** - Zona en la cual hay una reducción en la resistencia del material y que se presenta en la vecindad de las soldaduras en ciertas clases de aleaciones de aluminio

**Carga impuesta** - Toda carga en una estructura que no sea carga muerta o de viento.

**Inestabilidad** - Pérdida de rigidez de una estructura (usualmente súbita) que limita su capacidad de soportar carga y, en ciertos casos, puede causar una falla catastrófica.

**Pandeo torsional lateral** - Pandeo de una viga acompañado por una combinación de desplazamiento lateral y torcedura.

**Restricción lateral** - Restricción que limita el movimiento lateral de la aleta a compresión de una viga.

**Estado límite** - Condición más allá de la cual la estructura es inadecuada para su uso previsto.

**Evento de carga** - Ciclo de carga definido que, para propósitos de diseño, se supone que se repite un número dado de veces.

**Espectro de carga** - Tabulación que muestra las frecuencias relativas de eventos de carga de diferentes intensidades sobre una estructura.

**Pandeo local** - Pandeo de las paredes delgadas de un componente a compresión caracterizado por la formación de ondas o rizamiento a lo largo del miembro.

**Gran total de Miner** - Gran total de daño por fatiga acumulativo calculado con base en una regla desarrollada por Palmgren y Miner.

**Carga nominal** - Carga a la cual puede esperarse que una estructura esté sujeta durante su servicio normal.

**Elemento saliente** - Elemento de una sección, compuesta de elementos planos o curvos, que está soportado a lo largo de un borde longitudinal y libre a lo largo del otro.

**Elemento reforzado** - Elemento de una sección que está rigidizado por la introducción de un refuerzo longitudinal a lo largo del borde del elemento o dentro de su ancho.

**Resistencia** - Es la resistencia de un miembro basada en cálculos usando valores máximos aceptables para la resistencia del material.

**Vida segura** - Diseño contra la fatiga en el que la vida calculada es varias veces más larga que la vida requerida de servicio.

**Sección transversal semi-compacta** - Sección transversal de una viga en la que el esfuerzo en las fibras extremas está limitado al esfuerzo de prueba del 0.2% debido a que el pandeo local de los elementos a compresión no permitiría el desarrollo de la capacidad total de momento plástico.

**Estados límite de servicio** - Son aquellos estados límite que cuando son excedidos pueden llevar la estructura a ser inadecuada para el uso propuesto aunque no haya colapso.

**Esbeltez** - Es la longitud efectiva de un miembro a compresión dividida por su radio de giro.

**Elemento rigidizado** - Elemento de una sección, compuesta de elementos planos o curvos, que está soportado a lo largo de sus bordes longitudinales.

**Ciclo de esfuerzo** - Patrón de variación del esfuerzo en un punto. Normalmente tiene la forma de dos media-onda opuestas.

**Historia de esfuerzo** - Registro que muestra cómo varía el esfuerzo en un punto durante la carga.

**Rango de esfuerzo**

- (1) Es la mayor diferencia algebraica entre los esfuerzos principales que ocurren sobre planos principales apartados no más de  $45^\circ$ , en cualquier ciclo de esfuerzo, sobre una lámina o elemento.
- (2) Es la diferencia algebraica o vectorial entre la mayor y la menor suma vectorial de los esfuerzos en cualquier ciclo de esfuerzos sobre una soldadura.

**Espectro de esfuerzo** - Tabulación del número de ocurrencias de todos los rangos de esfuerzo de diferentes magnitudes durante un evento de carga.

**Pandeo torsional** - Pandeo de un elemento acompañado de torcedura.

**Pandeo flexo-torsional** - Pandeo de un elemento acompañado de flexión total y torcedura.

**Estados límite últimos** - Son aquellos estados límite que cuando son excedidos pueden causar el colapso parcial o total de la estructura.

### F.7.1.3 - SIMBOLOS PRINCIPALES

<b>A</b>	=	área. Clasificación de durabilidad
<b>A<sub>e</sub></b>	=	área efectiva de la sección
<b>A<sub>v</sub></b>	=	área efectiva de corte
<b>a</b>	=	espaciamiento de rigidizadores transversales. Ancho de láminas sin rigidizar
<b>B</b>	=	ancho total de lámina multi-rigidizada. Clasificación de durabilidad
<b>B<sub>RF</sub></b>	=	resistencia de diseño al aplastamiento de un sujetador
<b>b</b>	=	ancho de elemento plano
<b>b<sub>e</sub></b>	=	ancho efectivo de la lámina del alma (vigas ensambladas)
<b>C</b>	=	clasificación de durabilidad
<b>D</b>	=	diámetro de un tubo redondo hasta la parte media de la pared de metal. Altura total del alma hasta la parte externa de las aletas
<b>d</b>	=	altura del alma entre las aletas. Altura de láminas no rigidizadas
<b>d<sub>r</sub></b>	=	diámetro nominal del sujetador o pasador
<b>E</b>	=	módulo de elasticidad
<b>F</b>	=	coeficiente de prueba de fatiga
<b>F</b>	=	frontera de fusión de la zona afectada por calor
<b>F<sub>c</sub></b>	=	capacidad de agarre por fricción de un perno de alta resistencia debidamente apretado
<b>f</b>	=	coeficiente de reducción aplicado a $k_2$
<b>f<sub>oc</sub></b>	=	esfuerzo límite de amplitud constante
<b>f<sub>ov</sub></b>	=	esfuerzo límite de amplitud variable
<b>f<sub>r</sub></b>	=	rango de esfuerzos de diseño
<b>f<sub>u</sub></b>	=	esfuerzo último de tensión
<b>f<sub>0.2</sub></b>	=	esfuerzo mínimo de prueba del 0.2%
<b>G</b>	=	módulo de cortante
<b>g</b>	=	coeficiente de gradiente de esfuerzos
<b>g<sub>r</sub></b>	=	garganta de una soldadura
<b>g<sub>e</sub></b>	=	longitud del lado del cordón de una soldadura
<b>H</b>	=	coeficiente de alabeo
<b>h</b>	=	coeficiente de elementos reforzados. Distancia al borde libre
<b>I<sub>r</sub></b>	=	segundo momento del área de la sección completa de un rigidizador efectivo (viga ensamblada)
<b>I<sub>st</sub></b>	=	segundo momento del área de una sub-unidad de lámina (láminas multi-rigidizadas)
<b>I<sub>y</sub></b>	=	segundo momento del área alrededor del eje centroidal
<b>J</b>	=	constante de torsión
<b>K</b>	=	coeficiente de longitud efectiva para miembros a compresión
<b>K<sub>1</sub></b>	=	coeficiente para el cálculo de la resistencia de pernos
<b>K<sub>2</sub></b>	=	constante para el criterio de falla por fatiga
<b>k<sub>L</sub></b>	=	coeficiente de pandeo local
<b>k<sub>v</sub></b>	=	coeficiente de reducción de la resistencia longitudinal que se tiene en cuenta para valores de cortante altos

$k_z$	=	coeficiente de resistencia para el material de la zona afectada por el calor
$k'_z$	=	coeficiente de resistencia modificado para el material de la zona afectada por el calor
$L$	=	longitud entre apoyos
$l$	=	longitud efectiva entre apoyos laterales
$l_v$	=	longitud efectiva de una soldadura a tope
$l_f$	=	longitud efectiva de una soldadura de filete
$M$	=	momento producido por la carga mayorada
$\bar{M}$	=	momento uniforme equivalente
$M_{cr}$	=	momento uniforme crítico en el rango elástico para pandeo torsional lateral
$M_f$	=	valor totalmente compacto de $M_{RS}$
$M_{RF}$	=	valor reducido de $M_{RS}$ para aletas únicamente
$M_{RS}$	=	resistencia de diseño a momento de una sección en ausencia de cortante
$M_{RSO}$	=	resistencia de diseño a momento de una sección, reducida para tener en cuenta el cortante
$M_{RSx}$	=	resistencia de diseño a momento uniaxial con respecto al eje mayor (teniendo en cuenta el cortante)
$M_{RSy}$	=	resistencia de diseño a momento uniaxial con respecto al eje menor (teniendo en cuenta el cortante)
$M_{Rk}$	=	momento de diseño basado en la resistencia a pandeo torsional lateral
$M_s$	=	valor semi-compacto de $M_{RS}$
$M_x$	=	momento uniaxial con respecto al eje mayor
$\bar{M}_h$	=	momento uniforme equivalente con respecto al eje mayor
$M_y$	=	momento uniaxial con respecto al eje menor
$\bar{M}_y$	=	momento uniforme equivalente con respecto al eje menor
$M_1$	=	momento mayorado máximo
$M_2$	=	momento mayorado mínimo
$m$	=	pendiente inversa de la curva $f_r - N$ (fatiga)
$m_1, m_2$	=	coeficientes de pandeo por cortante (vigas ensambladas)
$N$	=	número de almas. Ciclos previstos hasta la falla (resistencia a la fatiga)
$n$	=	número equivalente de ciclos de un rango de esfuerzo (fatiga). Tiempo en días entre la soldadura y la carga
$P$	=	fuerza axial de tensión o compresión debida a la carga mayorada. Protección
$P_{cr}$	=	carga crítica elástica para pandeo torsional
$P_o$	=	carga de prueba para un perno
$P_p$	=	carga de preesfuerzo
$P_R$	=	resistencia axial de diseño calculada con base en el pandeo general como columna o en el pandeo torsional
$P_{RB}$	=	resistencia de diseño de una soldadura a tope
$P_{RF}$	=	resistencia de diseño de una soldadura de filete
$P_{RFB}$	=	resistencia de diseño de la zona afectada por el calor adyacente a la frontera de fusión de una soldadura a tope (fuerza de tensión normal directa)
$P_{RFF}$	=	resistencia de diseño de la zona afectada por el calor adyacente a la frontera de fusión de una soldadura de filete (fuerza de tensión normal directa)
$P_{RG}$	=	resistencia de diseño de una unión pegada
$P_{RS}$	=	resistencia axial de diseño (tensión o compresión)
$P_{RTB}$	=	resistencia de diseño de la zona afectada por el calor adyacente al borde de una soldadura a tope (fuerza de tensión normal directa)
$P_{RTF}$	=	resistencia de diseño de la zona afectada por el calor adyacente al borde de una soldadura de filete (fuerza de tensión normal directa)
$P_{Rk}$	=	resistencia axial de diseño para el pandeo general como columna con respecto al eje mayor
$P_{Ry}$	=	resistencia axial de diseño para el pandeo general como columna con respecto al eje menor
$P_{RZ}$	=	resistencia de diseño de la zona afectada por el calor bajo carga directa
$P_s$	=	esfuerzo límite para capacidad local (tensión y compresión)
$P_{st}$	=	esfuerzo límite directo en la zona afectada por el calor
$P_f$	=	esfuerzo límite para remaches sólidos y pernos
$P_o$	=	esfuerzo límite para flexión y fluencia total
$P_{of}$	=	esfuerzo límite del material de las aletas
$P_{ow}$	=	esfuerzo límite del material del alma

$p_t$	=	esfuerzo límite para estabilidad al pandeo total. Esfuerzo de pandeo torsional lateral. Esfuerzo de pandeo para el alma tratada como una columna delgada entre aletas
$p_t$	=	penetración de la soldadura
$p_v$	=	esfuerzo límite a cortante
$p_{vz}$	=	esfuerzo límite a cortante de la zona afectada por el calor
$p_w$	=	esfuerzo límite del metal de aporte
$p_{w1}$	=	esfuerzo originado en el borde extremo del alma debido a una fuerza localizada
$p_{w2}$	=	esfuerzo originado en el punto medio del alma debido a una fuerza localizada
$p_1$	=	valor en el eje de esfuerzos de $p_s$ en los diagramas curvos para miembros a compresión. Valor de $p_s$ para la sección totalmente compacta sin soldar
$R$	=	radio de curvatura hasta la mitad del metal de un elemento interno curvo
$r_y$	=	radio de giro respecto al eje menor
$S$	=	módulo plástico de la sección bruta sin reducción por zona afectada por el calor, pandeo local o agujeros
$S_a, S_b$	=	acciones de la carga externa producidas por la carga mayorada
$S_f$	=	módulo plástico de la sección de aleta efectiva (viga ensamblada)
$S_n$	=	módulo plástico de la sección neta
$S_{ne}$	=	módulo plástico de la sección neta efectiva
$s$	=	coeficiente sobre $p_1$ para tener en cuenta que un miembro a compresión no cumpla con las tolerancias de rectitud o torcedura
$T$	=	límite de la zona afectada por el calor
$t$	=	espesor
$t_A$	=	el menor entre $0.5(t_B + t_C)$ y $1.5t_B$
$t_B$	=	espesor del elemento más delgado conectado por soldadura
$t_C$	=	espesor del elemento más grueso conectado por soldadura
$t_e$	=	espesor de garganta efectivo
$t_f$	=	espesor de aleta
$t_2$	=	espesor de aleta
$V$	=	fuerza cortante producida por la carga mayorada
$V_{RFB}$	=	resistencia de diseño a cortante de la zona afectada por el calor adyacente a la frontera de fusión de una soldadura a tope
$V_{RFF}$	=	resistencia de diseño a cortante de la zona afectada por el calor adyacente a la frontera de fusión de una soldadura de filete
$V_{RS}$	=	resistencia de diseño a fuerza cortante
$V_{RTB}$	=	resistencia de diseño a cortante de la zona afectada por el calor adyacente al borde de una soldadura a tope
$V_{RTF}$	=	resistencia de diseño a cortante de la zona afectada por el calor adyacente al borde de una soldadura de filete
$V_{RW}$	=	valor reducido de $V_{RS}$
$V_{RZ}$	=	resistencia de diseño a cortante de la zona afectada por el calor
$v_{if}$	=	coeficiente de campo tensional (vigas ensambladas)
$v_1$	=	coeficiente de pandeo crítico al corte en el rango elástico
$v_2$	=	coeficiente básico de pandeo al corte considerando campo tensionado
$v_3$	=	coeficiente de pandeo al corte considerando campo tensionado y contribución de la aleta
$W$	=	metal de aporte
$w$	=	separación de rigidizadores en una lámina multi-rigidizada
$y$	=	distancia desde el centro de una lámina multi-rigidizada hasta el centro del rigidizador más extremo
$y_c$	=	distancia desde el eje neutro hasta el borde más comprimido
$y_o$	=	distancia desde el eje neutro hasta el borde menos comprimido, o en tensión
$y_1$	=	distancia desde el eje neutro hasta las fibras más esforzadas en una viga
$y_2$	=	distancia desde el eje neutro hasta el elemento de aleta a compresión en una viga
$Z_e$	=	módulo elástico de la sección efectiva
$Z_n$	=	módulo elástico de la sección neta
$Z_{ne}$	=	módulo elástico de la sección neta efectiva
$z$	=	distancia que se extiende la zona afectada por el calor desde una soldadura
$z_o$	=	valor básico de $z$

$\alpha$	= relación entre el esfuerzo cortante en el alma mínimo y el máximo (distribución elástica de esfuerzos) Coeficiente modificador de la extensión de la zona afectada por el calor para tener en cuenta una temperatura elevada
$\alpha_s$	= coeficiente para el cálculo de pernos o remaches en corte simple
$\beta$	= parámetro de esbeltez
$\beta_o$	= valor límite semi-compacto de $\beta$
$\beta_1$	= valor límite totalmente compacto de $\beta$
$\phi$	= coeficiente de reducción de capacidad
$\gamma_c$	= coeficiente de consecuencias de falla
$\gamma$	= coeficiente de mayoración de carga
$\gamma_L$	= coeficiente de fatiga
$\gamma_{mf}$	= coeficiente de fatiga del material
$\gamma_s$	= coeficiente para el cálculo de capacidad por fricción
$\epsilon$	= constante $(25/p_o)^{1/2}$
$\lambda$	= parámetro de esbeltez para pandeo como columna, pandeo torsional y pandeo torsional lateral
$\lambda_y$	= relación de esbeltez de un miembro a compresión respecto a su eje menor
$\eta$	= coeficiente modificador de la extensión de la zona afectada por el calor para tener en cuenta la acumulación incrementa de calor
$\sigma_{cr}$	= esfuerzo elástico crítico de un elemento con refuerzo
$\sigma_{cro}$	= esfuerzo elástico crítico de un elemento sin refuerzo
$\sigma_1$	= esfuerzo normal en una soldadura bajo carga mayorada
$\tau_1$	= esfuerzo cortante perpendicular al eje de la soldadura
$\tau_2$	= esfuerzo cortante paralelo al eje de la soldadura
$\mu_s$	= coeficiente de deslizamiento

## F.7.2. PROPIEDADES Y SELECCIÓN DE MATERIALES

**F.7.2.1 DENOMINACION DE LOS MATERIALES** - La denominación del aluminio forjado y las aleaciones de aluminio usadas para propósitos generales de ingeniería utilizada en esta norma está de acuerdo con el sistema de clasificación internacional de 4 dígitos. En el apéndice F.7.A se dan detalles de este sistema. La tabla F.7.A.1 muestra las denominaciones antiguas y actuales de las normas británicas conjuntamente con los equivalentes más cercanos de la ISO y otras denominaciones extranjeras.

La denominación para piezas coladas está de acuerdo con el sistema usado en la norma inglesa BS 1490 para piezas coladas de aleaciones de aluminio.

La denominación para el temple de la aleación usada en esta norma está, por lo general, de acuerdo con el sistema de denominación de temple "alternativo" NTC 1937 (ISO 2107). En el apéndice F.7.A se dan detalles de este sistema conjuntamente con el sistema anterior aún usado para algunas aleaciones y formas del material.

Para simplificar el texto y evitar confusión, en F.7.4, F.7.5 y F.7.6 no se usan las denominaciones de temple M, TB, TF y TH. Se utilizan las denominaciones equivalentes F, T4, T6 y T8 respectivamente.

### F.7.2.2 MATERIALES PERMITIDOS

#### F.7.2.2.1 - Extrusiones, láminas delgadas, planchas, tubería extruida, piezas forjadas y piezas coladas

**(a) Materiales estándar** - Esta parte de las normas cubre el diseño de estructuras fabricadas con una serie de aleaciones de aluminio usadas en las condiciones y temples enumerados en las tablas F.7.2.1 y F.7.2.2 y comúnmente suministradas con las especificaciones dadas en normas como la BS 8118: Parte 2.

Las aleaciones se clasifican en dos categorías: la primera son las aleaciones que aceptan tratamiento térmico, dadas en la tabla F.7.2.1 y descritas en (b), y la segunda son las aleaciones que no aceptan tratamiento térmico, dadas en la tabla F.7.2.2 y descritas en (c).

Las piezas coladas deberán ser usadas en estructuras de soporte de cargas únicamente después de que un adecuado procedimiento de prueba y control de calidad de su producción haya sido realizado y aprobado por el ingeniero. Las reglas de diseño de esta norma no se deben aplicar a piezas coladas sin una consulta estrecha con los fabricantes.

**(b) Aleaciones tratadas en caliente** - Las siguientes aleaciones derivan su resistencia del tratamiento con calor.

- **Aleación 6082.** La más común de estas aleaciones es la aleación de resistencia media 6082 (Al Si1MgMn) de durabilidad B (véase F.7.2.4.1), usada generalmente en la condición de totalmente tratada en caliente, esto es, 6082-T6, y empleada en estructuras soldadas y no soldadas.

La selección de esta aleación se basa en una combinación de buenas propiedades físicas con un buen grado de resistencia a la corrosión. Está disponible en la mayoría de las formas: extrusiones sólidas y huecas, planchas, láminas delgadas, tuberías y piezas forjadas. Se debe poner atención en el diseño a la pérdida de resistencia en las uniones soldadas en la zona afectada por el calor.

- **Aleación 6061.** Es una aleación alternativa para la 6082. La aleación 6061 (Al Mg1SiCu) tiene durabilidad B y propiedades muy similares con una ligera mejoría en la capacidad de dejarse formar y en el acabado de la superficie. Está disponible en formas tubulares extruidas y es usada principalmente en estructuras.

- **Aleación 6063.** Se prefiere la aleación 6063 (Al Mg0,7Si) de durabilidad B en aplicaciones donde la resistencia no es de trascendental importancia y se tiene la necesidad de una buena apariencia ya que esta aleación combina una resistencia moderada con buena durabilidad y acabado de superficie. Responde particularmente bien al anodizado y otros procesos de acabado patentados similares. La aleación 6063 tiene una resistencia más baja que la 6082 y, como ésta, presenta pérdida de resistencia en la zona afectada por el calor de las juntas soldadas. Se consigue en extrusiones, tuberías y piezas forjadas. Es particularmente apropiada para secciones extruidas intrincadas y de pared delgada. Se usa principalmente en elementos arquitectónicos tales como paredes cortina y marcos de ventanas.

- **Aleación 7020.** Otra aleación que es fácilmente soldable (aunque no se restringe a estructuras soldadas) es la aleación de resistencia media de la serie 7<sup>\*\*\*</sup>, 7020 (Al Zn4,5Mg1) de durabilidad C. Tiene mejor resistencia post-soldadura que las de la serie 6<sup>\*\*\*</sup> debido a su propiedad de envejecimiento natural. Este material, como otros de la serie 7<sup>\*\*\*</sup>, es, sin embargo, sensible a las condiciones ambientales y su comportamiento satisfactorio depende tanto de tener correctos métodos de manufactura y fabricación como del control de la composición y de las propiedades a tensión. Si el material en la condición T6 se somete a cualquier operación que induzca trabajo en frío como flexión, cizallamiento, punzonamiento, etc, la aleación puede resultar susceptible a corrosión debida al esfuerzo; es esencial, por lo tanto, la colaboración directa entre el ingeniero y el fabricante en cuanto al uso futuro y las condiciones de servicio probables. Esta aleación está normalmente disponible sólo en formas laminadas y secciones extruidas sólidas y huecas simples. Las piezas forjadas pueden ser algunas veces hechas bajo pedido especial.

- **Aleación LM25.** La aleación LM25 (Al Si7Mg) de durabilidad B es una aleación para piezas coladas con buenas características de fundición, resistencia a la corrosión y propiedades mecánicas. Está disponible en cuatro condiciones de tratamiento en caliente en fundiciones con arena y de enfriamiento rápido, es generalmente usada en arquitectura y en instalaciones de manufactura de productos alimenticios.

**(c) Aleaciones no tratadas en caliente** - Las siguientes aleaciones derivan su resistencia únicamente de endurecimiento por deformación. Son normalmente producidas en formas de láminas delgadas y planchas y, ocasionalmente, en algunas formas extruidas simples.

- **Aleación 1200.** La aleación 1200 (Al99,0) de durabilidad A, es aluminio comercialmente puro con alta ductilidad y una muy buena resistencia a la corrosión. Es usada para trabajos arquitectónicos en los que los componentes no están muy esforzados. Sólo está disponible en láminas delgadas.

- **Aleación 3103.** La aleación 3103 (Al Mn1) de duración A es más resistente y dura que el aluminio comercialmente puro pero tiene la misma alta ductilidad y muy buena resistencia a la corrosión. Es intensamente usada en paneles para edificios y vehículos. Está disponible en láminas delgadas.
- **Aleación 3105.** La aleación 3105 (Al Mn0,5Mg0,5) de durabilidad A está llegando a prevalecer en el mercado de lámina delgada perfilada para edificios debido a sus propiedades superiores a la 3103 en dureza y resistencia. Además tiene una ventaja económica. Las formas disponibles se limitan a láminas delgadas.
- **Aleación 5083.** La aleación 5083 (Al Mg4,5Mn0,7) de durabilidad A se usa para estructuras soldadas y en trabajos de blindajes y tanques ya que es fácilmente soldable sin una pérdida significativa de resistencia y tiene alta ductilidad. La resistencia a tensión de la 5083 en las condiciones O y F es más baja que la de la 6082-T6 pero significativamente más alta si la última está soldada. Sin embargo, la exposición prolongada a temperaturas por encima de los 65°C puede resultar en la precipitación de granos frontera de compuestos intermetálicos de magnesio/aluminio que se corroen preferencialmente en algunos ambientes adversos. Este efecto se agrava si la aleación está sujeta a operaciones subsiguientes de trabajo en frío. Está disponible en planchas, láminas delgadas, secciones extruidas singulares, tubería extruida y piezas forjadas. Además de su fácil soldadura y buenas propiedades de dejarse formar, también tiene muy buena durabilidad especialmente en ambientes marinos.
- **Aleaciones 5251, 5154A y 5454.** Las aleaciones 5251 (Al Mg2), 5154A (Al Mg3,5(A)) y 5454 (Al Mg3Mn) de durabilidad A están disponibles en láminas delgadas, planchas y extrusiones simples. La 5154A y la 5251 también están disponibles como piezas forjadas. Su principal adición es el Magnesio y, como resultado, estas aleaciones son dúctiles en la condición blanda pero se endurecen por trabajo rápidamente. Tienen buena soldabilidad y muy buena resistencia al ataque corrosivo especialmente en atmósfera marina. Por esta razón, son usadas en paneles y en estructuras expuestas a ambientes marinos. La 5154A y la 5454 son más fuertes que la 5251.

La aleación más fuerte de la serie 5\*\*\*, que ofrece inmunidad contra la corrosión por esfuerzo cuando está expuesta a temperatura elevada, es la 5454. Las aleaciones de la serie 5\*\*\* con más del 3% de Mg pueden resultar susceptibles a corrosión debida al esfuerzo cuando se exponen a temperaturas elevadas.

- **Aleación 5251: en tubería soldada con costura.** Las tuberías soldadas con costura se producen a partir de una tira de aleación 5251 (Al Mg2) la que le da una durabilidad B al tubo que a su vez ha incrementado su resistencia por el endurecimiento por trabajo a través de los rodillos de formado y acabado. Sus usos principales son en elementos tales como muebles de jardín, pasamanos y escaleras de mano.
- **Aleación LM5.** La aleación LM5 (Al Mg5Si1) de durabilidad A es una aleación de fundición de resistencia media que posee excelentes características de acabado, manteniendo una superficie de gran brillo pero sólo es apropiada para formas simples. Es usada principalmente para fundiciones con arena utilizadas con propósitos arquitectónicos y decorativos y donde se requiere anodizado.
- **Aleación LM6.** La aleación LM6 (Al Si12) de durabilidad B es otra aleación de fundición de resistencia media que tiene excelentes características de fundición, alta ductilidad y resistencia al impacto. Es apropiada para fundiciones con arena o de enfriamiento rápido y útil para un amplio rango de usos en general, aplicaciones eléctricas y marinas y piezas coladas de complejidad y tamaño por encima del promedio.

Tabla F.7.2.1  
Aleaciones tratadas en caliente

Aleación	Condición	Producto	Espesor		Esfuerzo mínimo de tensión de prueba del 0.2%	Resistencia mínima a tensión	Elongación		Pérdida aproximada de resistencia por soldadura (véase 1)	Clasificación de durabilidad	Designación ISO más cercana (véase ISO 209-1)	
			Desde	Hasta			5,65 (S <sub>0</sub> ) <sup>1/2</sup>	50 mm				
			mm	mm	kg/mm <sup>2</sup>	kg/mm <sup>2</sup>	%	%	%			
6061	T6	Extrusiones <sup>1)</sup>	-	150	24.0	28.0	8	7	50	B	Al Mg1SiCu	
	T6	Tubería extruida	-	6.0	24.0	29.5	7 <sup>2)</sup>	7 <sup>2)</sup>	50			
			6.0	10	25.5	29.5	9 <sup>2)</sup>	9 <sup>2)</sup>	50			
6063	T4	Extrusiones	-	150	7.0	13.0	- 16	14	0	B	Al Mg0,7Si	
	T4	Tubería extruida	-	10	10.0	15.5	15 <sup>2)</sup>	15 <sup>2)</sup>	0			
		Forjados	-	150	8.5	14.0	16	-	0			
	T5	Extrusiones	-	25	11.0	15.0	8	7	25			
	T6	Extrusiones	-	150	16.0	18.5	8	7	50			
		Tubería extruida	-	10	18.0	20.0	8 <sup>2)</sup>	8 <sup>2)</sup>	50			
			-	150	16.0	18.5	10	-	50			
6082	T4	Extrusiones	-	150	12.0	19.0	16	14	0	B	Al Si1MgMn	
		Lámina	0.2	3.0	12.0	20.0	-	15	0			
		Plancha	3.0	25	11.5	20.0	12	15	0			
	T4	Tubería extruida	-	6.0	11.5	21.5	12 <sup>2)</sup>	12 <sup>2)</sup>	0			
			6.0	10			14 <sup>2)</sup>	14 <sup>2)</sup>				
				-	150	12.0	18.5	16	-			0
	T6	Extrusiones		-	20	25.5	29.5	8	7			50
				20	150	27.0	31.0	8	-			50
		Lámina	0.2	3.0	25.5	29.5	-	8	50			
		Plancha	3.0	25	24.0	29.5	8	8	50			
		Tubería extruida		-	6.0	25.5	31.0	7 <sup>2)</sup>	7 <sup>2)</sup>			50
				6.0	10	24.0	31.0	9 <sup>2)</sup>	9 <sup>2)</sup>			50
				-	120	25.5	29.5	8	-			50
7020	T4	Extrusiones	-	25	19.0	30.0	10	12	0	C	Al Zn4,5Mg1	
		Lámina y plancha		25	17.0	28.0	10	12	0			
	T6	Extrusiones	-	25	28.0	34.0	8	10	40			
		Lámina y plancha		25	27.0	32.0	8	10	40			
LM25	TB7	Fundición con arena	-	-	8,0 a 11,0	16,0	2,5		NA	B	Al Si7Mg	
		Fundición con enfriamiento	-	-	9,0 a 11,0	23,0	5					
	TF	Fundición con arena	-	-	20,0 a 25,0	23,0	-					
		Fundición con enfriamiento rápido	-	-	22,0 a 26,0	28,0	2					

NA = no aplicable

1) Extrusiones: barras, tubería redonda y secciones

2) Elongación sobre 5,65(S<sub>0</sub>)<sup>1/2</sup> para tubos con paredes de 3 mm o menos y sobre 50 mm para tubos con mayor espesor

NOTA 1. Propiedades después de 3 días de envejecimiento natural a 15°C a 25°C para aleaciones de la serie 6\*\*\* y 30 días a 15°C a 25°C, o artificialmente envejecida durante 24 h a 120°C, para aleación 7020 (ver F.7.4.4.2(b)).

Tabla F.7.2.2  
Aleaciones no tratadas en caliente

Aleación	Condición	Producto	Espesor		Esfuerzo mínimo de tensión de prueba del 0,2%	Resistencia mínima a tensión	Elongación		Pérdida aproximada de resistencia por soldadura (F.7.4.4.2)	Clasificación de durabilidad	Designación ISO más cercana (véase ISO 209-1)
			Desde	Hasta			5,65	50 mm			
			mm	mm			kg/mm <sup>2</sup>	kg/mm <sup>2</sup>			
1200	H14	Lámina	0,2	12,5	11,5 <sup>1)</sup>	10,5	-	3 a 6	50	A	Al99,0
3103	H14	Lámina	0,2	12,5	14,0 <sup>1)</sup>	14,0	-	3 a 7	50	A	Al Mn1
	H18		0,2	3	18,5 <sup>1)</sup>	17,5	-	2 a 4	65		
3105	H14	Lámina	0,2	3	14,5	16,0	-	2 a 4	75	A	Al Mn0,5Mg0,5
	H16	17,0			18,5	-	1 a 3	80			
	H18	19,0			21,5	-	1 a 2	80			
5083	O	Extrusiones	-	150	12,5	27,5	14	13	0	A	Al Mg4,5Mn0,7
		Lámina y plancha	0,2	80	12,5	27,5	14	12 a 16	0		
		Tubería extruida	-	10	12,5	27,5	12 <sup>3)</sup>	12 <sup>3)</sup>	0		
	F	Extrusiones	-	150	13,0 <sup>1)</sup>	28,0 <sup>1)</sup>	12 <sup>1)</sup>	11 <sup>1)</sup>	0		
		Lámina y plancha	3	25	17,5 <sup>1)</sup>	32,0 <sup>1)</sup>	-	18 <sup>1)</sup>	0		
	F	Forjados	-	150	13,0	28,0	12	-	0		
	H22	Lámina y plancha	0,2	6	23,5	31,0	-	5 a 10	45		
	H22	Tubería extruida	-	10	23,5	31,0	5 <sup>3)</sup>	5 <sup>3)</sup>	45		
5154A	O	Extrusiones	-	150	8,5	21,5	18	16	0	A	Al Mg3,5(A)
		Lámina y plancha	0,2	6	8,5	21,5	-	12 a 18	0		
		Tubería extruida	-	10	8,5	21,5	16 <sup>3)</sup>	16 <sup>3)</sup>	0		
	F	Extrusiones	-	150	10,0 <sup>1)</sup>	21,5 <sup>1)</sup>	16 <sup>1)</sup>	14 <sup>1)</sup>	0		
		Forjados	-	150	10,0	21,5	16	-	0		
	H22	Lámina y plancha	0,2	6	16,5	24,5	-	5 a 8	45		
	H24	Lámina y plancha	0,2	6	22,5	27,5	-	4 a 6	60		
	H24	Tubería extruida	-	10	20,0	24,5	4 <sup>3)</sup>	4 <sup>3)</sup>	60		
5251	F	Tubería con soldadura de costura	0,8	1,0	22,0	24,5	-	3	70	B	Al Mg2
			1,2	2,0	22,0	24,5	-	5	70		
		Forjados	-	150	6,0	17,0	16	-	70	A	
	H22	Lámina y plancha	0,2	6	13,0	20,0	-	4 a 8	55		
	H24		0,2	6	17,5	22,5	-	3 a 5	65		
5454	O	Extrusiones	-	150	8,5	21,5	18	16	0	A	Al Mg3Mn
		Lámina y plancha	0,2	6	8,0	21,5	-	12 a 18	0		
	F	Extrusiones	-	150	10,0	21,5	16	14	0		
	H22	Lámina	0,2	3	18,0	25,0	-	4 a 8	55		
	H24	Lámina	0,2	3	20,0	27,0	-	3 a 6	60		
LM5	F	Fundición con	-	-	9,0 a	14,0	3	NA	A	Al Mg5Si1	
		Fundición con enfriamiento	-	-	9,0 a 12,0	17,0	5				
LM6	F	Fundición con arena	-	-	6,0 a 7,0	16,0	5	NA	B	Al Si12	
		Fundición con enfriamiento rápido	-	-	7,0 a 8,0	19,0	7				

NA = no aplicable

1) Valores típicos

2) Extrusiones: barras, tubería redonda y secciones

3) Elongación sobre 5,65(S<sub>0</sub>)<sup>1/2</sup> para tubos con paredes de 3 mm o menos y sobre 50 mm para tubos con mayor espesor

**(d) Materiales en otros espesores y aleaciones con otras propiedades estándares y no estándares** - Las aleaciones enumeradas en las tablas F.7.2 1 y F.7 2 2 son algunas veces usadas en otros espesores y en otros temple y condiciones estándares y no estándares. Las propiedades mínimas garantizadas para tales materiales pueden ser usadas si hay acuerdo entre el diseñador y el cliente.

**(e) Otras aleaciones** - Hay disponibilidad de otras aleaciones que ofrecen resistencias más altas, por ejemplo 2014A, y/o mejores resistencias post-soldadura, por ejemplo 7019, pero estas resistencias pueden ser logradas con el detrimento de otras propiedades. El ingeniero está, por lo tanto, advertido de no usar estas aleaciones sin una cuidadosa consideración y estrecha consulta con un fabricante de buena reputación. Las propiedades a considerar deben incluir durabilidad, soldabilidad, resistencia a la propagación de grietas y comportamiento en servicio. Las aleaciones de la serie 7\*\*\* que tienen resistencias de prueba más altas, tales como la 7019, requieren control particular en los procesos de fabricación, por ejemplo, control de micro estructura, esfuerzos residuales y trabajo en frío.

**(f) Aleaciones no incluidas en las tablas** - Se podrán utilizar aleaciones no incluidas en las tablas F 7.2.1 y F.7.2 2 siempre y cuando su uso en estructuras esté autorizado en normas expedidas por entidades de reconocida autoridad, a criterio del Comisión Asesora Permanente para el Régimen de Construcciones Sismo Resistentes.

**(g) Pernos y remaches** - Los materiales de pernos y remaches y su durabilidad se dan en la tabla F.7.2 3 Una guía para la selección de los materiales de pernos y remaches se da en F.7.2.4.2 (b) Estos materiales pueden también ser usados para productos especiales para tornillos y remaches incluyendo elementos insertados en la rosca Para los remaches de mayor diámetro pueden necesitarse formas de cabeza especiales

**Tabla F.7.2.3  
Materiales de pernos y remaches**

Tipo	Material	Proceso	Temple	Diámetro mm	Esfuerzo de prueba kg/mm <sup>2</sup>	Resistencia kg/mm <sup>2</sup>	Durabilidad
Pernos y sujetadores roscados patentados	6082		T6	menor o igual a 25.5	29.5	B <sup>1)</sup>	
				6 a 12	27.0	B <sup>1)</sup>	
	6061		T8	menor o igual a 24.5	31.0		
				5056A <sup>2)</sup>	H24	menor o igual a 24.0	31.0
	Acero		Vease la norma apropiada				
	A4 (316S16) <sup>3)</sup>						(nota 1)
	A2 (304S15) <sup>3)</sup>						(nota 1)
Acero					(nota 2)		
Remaches sólidos y remaches ciegos	5154A	Colocados en frío o en caliente	O u F	menor o igual a 25		21.5	A <sup>1)</sup>
		Colocados en frío	H22	menor o igual a 25		24.5	
	6082	Colocados en frío en temple T4	T4	menor o igual a 25	20.0	B <sup>1)</sup>	
		Colocados en frío en temple T6 <sup>4)</sup>	T6	menor o igual a 25	29.5		
	5056A <sup>2)</sup>	Colocados en frío o en caliente	O u F	menor o igual a 25	25.5	B <sup>1)</sup>	
		Colocados en frío	H22	menor o igual a 25	28.0		
	Acero inoxidable.	Vease la norma apropiada					
	A4 (316S16)	Colocados en frío o en caliente				(nota 1)	
	A2 (304S15)					(nota 1)	
	Aleación de níquel y cobre	Colocados en frío (revestido con)				(nota 1)	
	Acero	Colocados en frío				(nota 2)	

1) La durabilidad de las aleaciones unidas, si es que ésta es menor.

2) Los pernos y remaches 5056A no se deben usar en ambientes corrosivos o tropicales.

3) Por ejemplo, véase la norma inglesa BS 6105 para pernos de acero inoxidable

4) Los remaches 6082-T4 se colocan más fácilmente inmediatamente después del tratamiento térmico en solución

NOTA 1 Véase F 7 2.4 2 (b)

NOTA 2 Los pernos de acero deben ser, preferiblemente, galvanizados o sherardizados

(h) **Metales de aporte** - Los metales de aporte para soldadura de gas inerte de tungsteno (TIG) y soldadura de gas inerte de metal (MIG) se dan en la tabla F.7.2.4 con su durabilidad. Una guía para la selección de los metales de aporte se da en la tabla F.7.2.8

**Tabla F.7.2.4**  
**Metales de aporte para soldadura**

Grupo de metal de aporte	Denominación de la aleación		Durabilidad
	BS <sup>1)</sup>	ISO <sup>2)</sup>	
Tipo 1	1080A	Al99,8	A
	1050A	Al99,5	
Tipo 3	3103	Al Mn1	A
Tipo 4	4043	Al Si5(A)	B
	4047A <sup>3)</sup>	Al Si12(A)	
Tipo 5	5056A	Al Mg5	A
	5356	Al Mg5Cr(A)	A
	5556A	Al Mg5,2MnCr	
	5183	Al Mg4,5Mn	

1) Para composición química véanse las normas pertinentes

2) O equivalente más cercano

3) La 4047A es específicamente usada para evitar el agrietamiento del metal de aporte en una unión que tiene alta dilución y alta restricción. En la mayoría de los casos, es preferible usar la 4043A

### F.7.2.3 - PROPIEDADES DE RESISTENCIA, MECANICAS Y FISICAS

**F.7.2.3.1 - Resistencia y propiedades mecánicas** - En las tablas F.7.2.1 y F.7.2.2 se muestra el rango de aleaciones estándares con sus formas disponibles, condiciones de temple y propiedades mecánicas.

Las propiedades mecánicas para los materiales forjados para los temples y condiciones de las aleaciones dadas en las tablas F.7.2.1 y F.7.2.2 han sido usadas para determinar los esfuerzos límites dados en la tabla F.7.4.1. Cuando las aleaciones son soldadas, se da el porcentaje aproximado de reducción de resistencia de la aleación para cada temple. Estas resistencias en la zona afectada por el calor pueden no lograrse hasta después de un periodo de envejecimiento natural o artificial, (véanse las notas de la tabla F.7.2.1). La resistencia del material de pernos y remaches se da en la tabla F.7.2.3. Las propiedades mecánicas de las aleaciones varían con la temperatura y, las dadas en las tablas F.7.2.1, F.7.2.2 y F.7.2.3, deben aplicarse para el diseño de estructuras en un rango de temperatura entre -50°C y 70°C, excepto la aleación 5083 (véase F.7.2.2.1(c)). El esfuerzo de prueba del 0.2% y la resistencia a tensión mejoran con temperaturas más bajas pero se reducen a temperaturas más altas. Debe consultarse al fabricante las propiedades por fuera del rango de temperatura dado. Las aleaciones se funden en un intervalo de 550°C a 660°C dependiendo de su composición.

**F.7.2.3.2 - Propiedades físicas** - Las propiedades físicas de las aleaciones estándares, aunque varían ligeramente, pueden considerarse constantes y se enumeran en la tabla F.7.2.5. En estructuras críticas el ingeniero puede usar el valor exacto obtenido de un reconocido fabricante

**Tabla F.7.2.5**  
**Propiedades físicas**

Propiedad	Valor
Densidad	2710 kgf/m <sup>3</sup>
Módulo de elasticidad	7000 kgf/mm <sup>2</sup>
Módulo de rigidez	2660 kgf/mm <sup>2</sup>
Coefficiente de expansión térmica	23 x10 <sup>-6</sup> por °C

**F.7.2.4 - DURABILIDAD Y PROTECCIÓN CONTRA LA CORROSIÓN** - En muchos casos, los materiales estándares enunciados en las tablas F.7.2.1 a F.7.2.4 se pueden usar con el acabado de la laminadora, como son extruídos o como resultan soldados sin la necesidad de protección de la superficie.

La buena resistencia a la corrosión del aluminio y sus aleaciones es atribuible a la capa de óxido protectora que se forma sobre la superficie del metal inmediatamente se expone al aire. Esta película es normalmente invisible, relativamente inerte y, como se forma naturalmente frente a la exposición al aire o el oxígeno, es autosellante.

En ambientes suaves una superficie de aluminio mantiene su apariencia original por años y no se necesita protección adicional para la mayoría de las aleaciones. En ambientes industriales moderados habrá oscurecimiento y formación de asperezas en la superficie. Cuando la atmósfera se vuelve más agresiva, como en ambientes fuertemente ácidos o alcalinos, el decoloro de la superficie y la formación de asperezas empeoran y se hacen visibles superficies blancas polvosas de óxido. La película de óxido puede ser autosoluble, el metal deja de estar completamente protegido y se necesita protección adicional. Estas condiciones pueden también ocurrir en hendiduras debido a condiciones locales altamente ácidas o alcalinas, pero los agentes que tienen este efecto extremo son relativamente escasos.

En ambientes costeros y marinos, la superficie se pone áspera y adquiere una apariencia gris parecida a piedra. Es necesaria la protección de ciertas aleaciones. Cuando el aluminio está sumergido en agua pueden ser necesarias precauciones especiales.

Cuando ocurre un ataque a la superficie, las curvas corrosión/tiempo del aluminio y las aleaciones de aluminio tienen una forma exponencial y hay una pérdida bastante rápida de reflexividad después de un ligero deterioro por la exposición. Luego de esto hay muy poco cambio durante períodos muy largos. En exposición atmosférica, la fase inicial puede ser de unos pocos meses o de dos o tres años, seguida por poco o ningún cambio durante períodos de 10, 30 ó aún 80 años. Tal comportamiento es consistente para todas las condiciones de exposición libres externas y para todas las condiciones internas o protegidas, excepto donde se pueda desarrollar extrema acidez o alcalinidad. Los ambientes tropicales, en general, no son más dañinos para el aluminio que los ambientes templados, aunque ciertas aleaciones se afectan por una larga exposición a altas temperaturas ambientales particularmente en ambiente marino.

**F.7.2.4.1 - Durabilidad de las aleaciones** - Las aleaciones enumeradas en las tablas F.7.2.1, F.7.2.2, F.7.2.3 y F.7.2.4 se categorizan en tres niveles de durabilidad A, B y C en orden descendente. Estos niveles son usados para determinar la necesidad y grado de protección requerido. En construcciones que emplean más de una aleación, incluyendo metales de relleno en construcción soldada, la protección debe ser acorde con el menor de los niveles de durabilidad.

#### **F.7.2.4.2 - Protección contra la corrosión**

**(a) Protección contra la corrosión total** - La necesidad de protección contra la corrosión total a estructuras construidas con las aleaciones o combinaciones de las aleaciones enumeradas en las tablas F.7.2.1, F.7.2.2, F.7.2.3 y F.7.2.4 cuando se exponen a diferentes ambientes se da en la tabla F.7.2.6. Los métodos para brindar protección contra la corrosión en estos ambientes están detallados en normas como la BS 8112: Parte 2.

Para seleccionar la columna apropiada de la tabla F.7.2.6 para el ambiente atmosférico, debe tenerse en cuenta que pueden existir localidades, dentro de una región, que tengan microclimas bien diferentes de las características ambientales de la región como un todo. Una región designada como rural puede tener ambientes locales que se parecen más a una atmósfera industrial en sitios cercanos y viento abajo de fábricas. Similarmente, un lugar cercano al mar pero cerca de instalaciones costeras puede tener las características de una atmósfera industrial más que de una marina. El ambiente no es necesariamente el mismo para una estructura en el interior de un edificio que en el exterior.

A causa de estos factores, pueden resultar condiciones localizadas de incrementada severidad. Se deben estudiar las condiciones precisas en el sitio real antes de decidir la columna de ambiente apropiada de la tabla F.7.2.6.

Cuando se empleen secciones huecas, se debe considerar la necesidad de proteger la cavidad interna para prevenir la corrosión originada por el ingreso de agentes corrosivos. A causa de la dificultad de pintar tales

secciones, los revestimientos de conversión química pueden ser benéficos. Cuando la cavidad interna se sella efectivamente, la protección interna no es necesaria.

**Tabla F.7.2.6**  
**Protección general contra la corrosión de estructuras de aluminio**

Durabilidad de la aleación	Espesor (mm)	Protección necesaria de acuerdo con el ambiente							
		Atmosférico						Sumergido	
		Rural	Industrial/urbano		Marino			Agua dulce	Agua salada
			Moderado	Severo	No industrial	Moderado	Severo		
A	Todos	Ninguna	Ninguna	P	Ninguna	Ninguna	P	Ninguna	Ninguna
B	Menos de 3	Ninguna	P	P	P	P	P	P	P
	3 ó más	Ninguna	Ninguna	P	Ninguna	Ninguna	P	P	P
C	Todos	Ninguna	P <sup>1)</sup>	P	P	P	P	P <sup>2)</sup>	NR

P Requiere protección  
P<sup>1)</sup> Requiere sólo protección local contra la corrosión en la soldadura y la zona afectada por el calor en ambientes urbanos no industriales  
P<sup>2)</sup> No se recomienda la protección si se trata de construcción soldada  
NR No se recomienda la inmersión en agua salada

**(b) Contactos metal-metal incluyendo uniones** - Se deben considerar también las superficies de contacto en hendiduras y el contacto con ciertos metales o lavaduras de ciertos metales que pueden causar ataque electroquímico del aluminio. Esta situación se da en las uniones de una estructura. Las superficies de contacto y uniones de aluminio con aluminio u otros metales y las superficies de contacto en uniones empernadas, remachadas, soldadas y conexiones con pernos de alta resistencia a fricción deben tener protección adicional a la requerida en la tabla F.7.2.6 tal como se define en la tabla F 7.2.7. Los detalles del procedimiento de protección contra la corrosión requerido se dan en normas como la BS 8118 Parte 2.

**Tabla F.7.2.7**

**Protección adicional de los contactos de metal con metal para combatir la fisuración y los efectos galvánicos**

Metal unido al aluminio	Metal del perno o remache	Protección necesaria de acuerdo con el ambiente									
		Atmosférico					Marino			Sumergido	
		Rural Seco, no contaminado	Industrial urbano			No industrial	Industrial		Agua dulce	Agua salada	
Suave	Moderado		Severo	Moderado	Severo						
Aluminio	Aluminio	0	0	0	2	2	0	2	0	2	
	Acero, acero aluminizado o galvanizado, acero inoxidable	1	1	3	4	4	3	4	5	5	
Zinc o acero cubierto con zinc	Aluminio	0	0	2	2	2	2	2	2	5	
	Acero, acero aluminizado o galvanizado, acero inoxidable	1	1	3	4	4	3	4	5	5	
Acero, acero inoxidable, hierro colado, plomo	Aluminio	0	0	3	3	3	3	3	5	5	
	Acero, acero aluminizado o galvanizado, acero inoxidable	1	1	4	4	4	4	4	5	5	
Cobre	Aluminio	0	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	
	Cobre, aleación de cobre	0	3	5	5	5	5	5	5	5	

1) Las superficies de contacto y uniones de aluminio con cobre o aleaciones de cobre deben evitarse. Si se usan, el aluminio debe ser de durabilidad A o B y los pernos y tuercas deben ser de cobre o de aleación de cobre  
NR No se recomienda usar remaches o pernos de aluminio para unir aluminio y cobre en estos ambientes

**(c) Contacto con otros materiales no metálicos**

- **Contacto con concreto, mampostería o yeso** - El aluminio en contacto con concreto compacto y denso, mampostería o yeso en un ambiente seco sin polución o en un ambiente suave se debe cubrir con una capa de pintura bituminosa. En un ambiente industrial o marino, la superficie de contacto se debe cubrir con al menos dos capas de pintura bituminosa para trabajo pesado, preferiblemente la superficie del material en contacto debe ser similarmente pintada. El contacto sumergido de aluminio y tales materiales no es aconsejable pero, si es inevitable, se recomienda separar los materiales mediante una masilla apropiada o una capa de impermeabilización para trabajo pesado

El concreto ligero y productos similares requieren consideración adicional cuando el agua o la humedad ascendente puede extraer álcalis agresivos del cemento. El agua alcalina puede entonces atacar incluso las superficies de aluminio que no están en contacto directo.

- **Aluminio embebido en concreto** - Antes de embeber el aluminio en concreto, las superficies deben protegerse con al menos dos capas de pintura bituminosa o betún caliente. Las capas deberán extenderse por lo menos 75 mm por encima de la superficie de concreto después de embeber.

Si el concreto contiene cloruros, por ejemplo como aditivos o debido al uso de agregados dragados del mar, se deben aplicar por lo menos dos capas de brea de alquitrán de hulla plastificada y el ensamblaje terminado debe ser repintado localmente con el mismo material para sellar la superficie luego de que el concreto haya fraguado totalmente. Se debe poner atención a los posibles contactos entre el aluminio embebido y el refuerzo de acero.

- **Contacto con madera** - En ambientes industriales, húmedos y marinos, la madera debe ser preparada y pintada adecuadamente.

Algunos preservativos para la madera pueden ser dañinos para el aluminio. Como guía general los siguientes preservativos han sido aprobados como seguros para usar con aluminio sin tomar precauciones especiales:

- (a) creosota de alquitrán de hulla
- (b) aceite de alquitrán de hulla
- (c) naftalenos clorinados
- (d) naftanatos de zinc
- (e) pentaclorofenol
- (f) óxidos orgánicos de estaño
- (g) ortofenilfenol

Cuando la madera tratada con los siguientes preservativos se usa en situaciones húmedas, la superficie de aluminio en contacto con la madera tratada debe tener una aplicación substancial de sellante:

- (a) naftanato de cobre
- (b) sales cupro-cromo-arsenicales
- (c) compuestos de bórax y ácido bórico

No se deben usar otros preservativos en asociación con el aluminio.

El roble, el castaño y el cedro rojo occidental pueden ser nocivos para el aluminio a menos que estén bien maduros.

- **Contacto con suelos** - La superficie del metal en contacto con el suelo debe protegerse con al menos dos capas de pintura bituminosa, betún caliente o brea de alquitrán de hulla plastificada. Se puede usar un vendaje con cintas adicional para impedir el daño mecánico del recubrimiento.

- **Inmersión en agua** - Cuando piezas de aluminio estén sumergidas en agua dulce o agua de mar, incluyendo agua contaminada, el aluminio debe ser preferencialmente de durabilidad A y se deben usar sujetadores de aluminio o acero resistente a la corrosión o usar soldadura. Las tablas F.7.2.6 y F.7.2.7 dan la protección necesaria para inmersión en agua dulce y de mar.

Adicionalmente el ingeniero debe obtener información competente sobre el contenido de oxígeno, el pH, el contenido químico o metálico, particularmente de cobre, y la cantidad de movimiento del agua. Estos factores pueden afectar el grado de protección requerido.

- **Contacto con químicos usados en la industria de la construcción** - Los fungicidas y repelentes de moho pueden contener compuestos metálicos basados en cobre, mercurio, estaño y plomo que, bajo condiciones de humedad, pueden causar corrosión del aluminio. Los efectos dañinos pueden ser

contrarrestados protegiendo las superficies de contacto que pueden estar sujetas a lavaduras o filtraciones de los químicos.

Algunos materiales de limpieza pueden afectar la superficie del aluminio. Cuando tales químicos son usados para limpiar el aluminio u otros materiales en la estructura, se debe poner cuidado para asegurar que sus efectos no serán en detrimento del aluminio. A menudo un enjuague rápido y adecuado con agua es suficiente pero en otros casos se deben tomar medidas temporales para proteger el aluminio del contacto con tales limpiadores.

- **Contacto con materiales aislantes usados en la industria de la construcción** - Productos tales como fibra de vidrio, poliuretano y varios productos de aislamiento pueden contener agentes corrosivos que pueden ser extraídos bajo condiciones de humedad y deteriorar el aluminio. Los materiales aislantes deben ser probados para observar su compatibilidad con el aluminio en condiciones húmedas y salinas. Cuando existan dudas, se debe aplicar un sellante a las superficies de aluminio asociadas.

**F.7.2.5 - FABRICACIÓN Y CONSTRUCCIÓN-** Adicionalmente a los requisitos de fabricación y construcción generales se deberá considerar lo siguiente:

**F.7.2.5.1 - Doblado y formado** - Las aleaciones de aluminio están disponibles en un amplio rango de temple que afecta su habilidad para dejarse formar. Cuando se requiera doblar o formar, el ingeniero debe consultar con el fabricante para seleccionar la aleación, temple y cualquier tratamiento térmico subsecuente que pueda ser requerido.

**F.7.2.5.2 - Soldadura** - La pérdida de resistencia que puede ocurrir en la vecindad de la soldadura en algunas aleaciones debe considerarse en la selección de la aleación o aleaciones a usar en construcción soldada. El ingeniero debe convencerse de que la combinación de materiales base y de aportación es posible para lograr la resistencia y durabilidad requeridas en las condiciones de servicio de la estructura.

Debe ponerse particular atención a la susceptibilidad de las aleaciones 6082, 6063, 6061 y 5251 al agrietamiento durante la solidificación cuando las soldaduras son hechas bajo restricción. Esto puede evitarse usando los metales de aporte y las técnicas de soldadura recomendadas. Así se asegurará una combinación apropiada de metal de aporte en la soldadura real.

**F.7.2.5.3 - Metales de aporte** - El alambre de material de aporte usado en la construcción soldada debe ser escogido de acuerdo con la tabla F.7.2.8.

**F.7.2.6 - SELECCION DE MATERIALES** - La selección de una aleación o aleaciones para cualquier estructura y su forma particular es determinada por la combinación de varios factores: resistencia, véase F.7.2.3; durabilidad, véase F.7.2.4; propiedades físicas, véase F.7.2.3; soldabilidad, véase F.7.2.5; formabilidad, véase F.7.2.5; y disponibilidad, véase F.7.2.7. Los materiales estándares dados en las tablas F.7.2.1 y F.7.2.2 se describen en términos de los anteriores factores en F.7.2.2.1(b) y (c).

**F.7.2.7 - DISPONIBILIDAD** - El rango de aleaciones dado en las tablas F.7.2.1 y F.7.2.2 no está disponible en todas las formas de producto. La tabla F.7.2.9 indica las aleaciones que se consiguen en una forma de producto particular y su disponibilidad. Se indican los productos y combinaciones de aleación que no son manufacturadas normalmente pero se consiguen con pedido especial; el diseño con este material sólo debe intentarse después de confirmar su disponibilidad con el encargado del suministro.

**F.7.2.7.1 - Secciones estructurales** - Cierta número de secciones estructurales extruídas y algunas otras secciones estructurales están comúnmente disponibles en 6082-T6 ó 6063-T6; pero, en la mayoría de los casos, deberán ser producidas bajo pedido, véase la tabla F.7.2.9. La tabla F.7.2.10 da el rango de tamaños de secciones más comúnmente disponibles. Otros tamaños pueden ser obtenidos a partir de matrices existentes o nuevas de acuerdo con el fabricante. Cuando las secciones se producen bajo pedido, puede ser requerida una cantidad mínima para la orden. Las secciones nuevas especiales extruídas se hacen normalmente bajo pedido y el bajo costo de las matrices simples brinda gran flexibilidad a su diseño. El ingeniero debe verificar con el fabricante, en una etapa temprana, la forma, espesor, tamaño y posibilidad del diseño de una nueva sección y el tiempo de entrega de la nueva matriz y la sección extruída. Algunas