

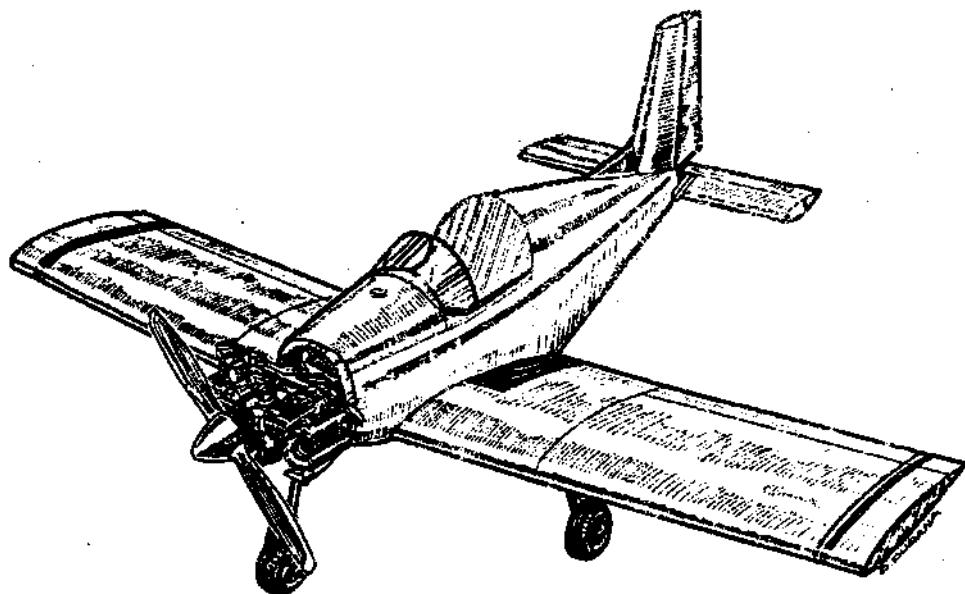
BRES



FILIAL 722

**Argentina**

EXPERIMENTALES AERONAVES ASOCIACION  
EXPERIMENTAL AIRCRAFT ASSOCIATION



TEENIE TWO

7

**EL ALUMINIO Y  
SUS ALEACIONES**

Por HECTOR ALBERTO RICHIERI

## EL ALUMINIO Y SUS ALEACIONES

En la industria de la aviación hay varios materiales para la construcción de partes estructurales, las mas comunes son: LA MADERA - LOS MATERIALES COMPUESTOS (resinas con fibras) - EL ALUMINIO Y EL ACERO.

El empleo de uno u otro dependen de una infinidad de factores como ser: COSTO, PESO, DURABILIDAD, LIMITACIONES INDUSTRIALES, ETC.

En general podemos decir que ningún material es insustituible y podríamos emplear uno u otro o varios a la vez.

A continuación damos una tabla comparativa de los distintos materiales:

	Aluminio		Acero		(1) Madera		(2) Compuestos	
	1010	6061	1050	18.8	Blanda	Dura	Fibra	Vidrio
Peso específico Kg/m <sup>3</sup>		2.7		7.8	7.9	0.8	1.2	0.9 1.2
Modulo Elasticidad				20.400		1.000		
		6.900			19.600		1200	600
Resistencia Tracción Kg/mm <sup>2</sup>	6	26		70	72	3	5	20 26
Limite elasticidad Kg/mm <sup>2</sup>	3	17		39	37	-	-	20 26

(1)- Los valores dependen del tipo de madera, grado de humedad y sentido de la fibra.

(2)- Los valores dependen del tipo de fibra empleada, densidad y sentido de la fibra.

El aluminio, es el metal del siglo XX. Su importancia crece día a día, debido a su ligereza y a menos de 70 años de iniciarse su utilización industrial solo el acero tiene una importancia mayor.

Se obtiene industrialmente por medio de la electrolisis en una pureza del 99,50% y por medio de una costosa refinación al 99,99%.

Cuando mayor es la pureza mayor es la resistencia a la corrosión, el aluminio se oxida instantáneamente, pero forma una delgadísima capa protectora transparente de óxido de aluminio, que para los fines prácticos lo vuelve inoxidable, pues a diferencia del hierro el óxido no penetra ni corroa al metal.

Se debe tener presente que la influencia de impurezas de la temperatura y de la presión pueden modificar la acción de los productos sobre el aluminio por lo que en ciertos casos es conveniente la aplicación de algún tratamiento de superficie.

### INFLUENCIA DE LAS CUPLAS ELECTROLÍTICAS

Se debe evitar el contacto, entre aluminio y los metales muy electropositivos, como por ejemplo, El cobre (Cu), en atmósfera conductora (húmeda) pues se producirá una corriente galvánica que atacaría al aluminio (corrosión galvánica).

La diferencia de potencial ó corriente galvánica con un electrolito de C1Na AL 20% alcanza los siguientes valores; expresado en milivoltios (mV).

METAL	SÍMBOLO	mV.
Magnesio	Mg	- 850
Zinc	Zn	- 300
Cadmio	Cd	- 20
Aluminio	Al	0
Hierro	Fe	150
Pbomo	Pb	250
Cobre	Cu	500
Acero Inox(I)	18-8	850
Plata	Ag	900
Platino	Pt	1000

(1) EL ACERO INOXIDABLE no magnético no produce diferencia de potencial.

### DESIGNACION DEL ALUMINIO Y SUS ALEACIONES

Se utiliza un sistema numérico de cuatro dígitos para identificar al aluminio y sus aleaciones.

El primer dígito indica el grupo de aleaciones al cual pertenece de la siguiente manera:

Aluminio con una pureza mínima del 99,00%

1xxx

Grupo de aleaciones de aluminio, según el principal metal agregado:

COBRE (Cu)	2 xxx
MANGANESO (Mn)	3 xxx
SILICIO (Si)	4 xxx
MAGNESIO (Mg)	5 xxx
MAGNESIO y SILICIO	6 xxx
CINC (Zn)	7 xxx
Otros elementos	8 xxx
Series no usuales	9 xxx

## ALUMINIO SIN ALEAR

En el grupo 1 xxx para aluminio de 99,00 % de pureza, los dos últimos dígitos de la designación indican el porcentaje mínimo del aluminio, éstos dígitos son idénticos a las dos decimales a la derecha de la coma de la cifra que expresa la pureza cuando se la establece con la precisión de 0,01 %.

Por ej.: 1050 indica aluminio de 99,50 % de pureza  
1060 indica aluminio de 99,60 % de pureza

El segundo dígito de la designación indica modificaciones en los límites de las impurezas. Si es cero (0) indica que se trata de aluminio sin alear que contiene impurezas en sus límites naturales o que no tienen un control especial; si se trata de los números 1 al 9 indica control especial de uno o más elementos presentes como impurezas o como aleantes.

## ALEACIONES DE ALUMINIO

En los grupos 2 xxx hasta 8 xxx los dos últimos dígitos de los cuatro de la designación no tienen un significado especial y sirven al solo efecto de diferenciar las distintas aleaciones del grupo.

El segundo dígito indica modificaciones de la aleación original. Si éste es cero (0) significa que es la aleación original y desde 1 hasta 9 indica aleaciones modificadas.

## RESISTENCIA QUÍMICA DE LAS ALEACIONES

En el grupo 1 xxx como ya vimos anteriormente cuando mayor es la pureza mayor es su resistencia a la corrosión.

Las aleaciones al cobre (Cu) del grupo 2 xxx, por ser éste metal muy electropositivo no resiste muy bien, particularmente en atmósferas húmedas.

Las aleaciones Aluminio-Manganeso 3 xxx son casi tan resistentes como el aluminio.

Las del grupo 4 xxx, aleaciones al silicio tienen una resistencia muy próxima al aluminio.

Las aleaciones aluminio-magnesio del grupo 5 xxx tienen una excelente resistencia química (particularmente en ambiente marino) generalmente igual al aluminio.

El grupo 6 xxx, aluminio-silicio-magnesio es casi tan resistente como el aluminio.

Las aleaciones con cinc del grupo 7 xxx no tienen gran resistencia química.

## COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LAS ALEACIONES DEL ALUMINIO

### ALGUNOS EJEMPLOS DE LA COMPOSICION QUIMICA

	Desig nación	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ti	Otros Indiv	Total	Al
AL	1350	0.10	0.40	0.05	0.01	-	0.01	-	0.05	-	0.03	0.10	99.50
AL CU	2024	0.50	0.50	4.90	0.30	1.20	0.10	-	0.25	0.15	0.05	0.15	Resto
AL Mn	3105	0.60	0.70	0.30	0.80	0.20	0.20	-	0.40	0.10	0.05	0.15	"
	4032	11.00	1.00	0.50	-	0.80	0.10	1.30	0.25	-	0.05	0.15	"
AL Mg	6061	0.80	0.70	0.15	0.15	0.80	0.35	-	0.25	0.15	0.05	0.15	"
	6063	0.60	0.35	0.10	0.10	0.90	0.10	-	0.10	0.10	0.05	0.15	"
AL Mg Si	7005	0.35	0.40	0.10	0.20	1.00	0.20	-	5.00	0.06	0.05	0.15	"
AL Zn	7075	0.40	0.50	1.20	0.30	2.90	0.28	-	6.10	0.20	0.05	0.15	"

### DEFINICIONES

**ALEACIONES DE ALUMINIO TRATABLE TERMICAMENTE:** Son las aleaciones que pueden ser endurecidas mediante un adecuado tratamiento térmico.

**ALEACIONES DE ALUMINIO NO TRATABLES TERMICAMENTE:** Son las aleaciones que pueden ser endurecidas solamente por trabajo en frío.

**ENVEJECIDO:** Precipitación desde la solución sólida que resulta en un cambio en las propiedades de una aleación; usualmente ocurre lentamente a temperatura ambiente (envejecido natural) y más rápidamente a mayor temperatura (envejecido artificial)

**ENVEJECIDO ARTIFICIAL:** Es el tratamiento térmico que produce una variación de las características físicas de las aleaciones debido a la precipitación de los constituyentes previamente solubilizados.

**ENVEJECIDO NATURAL:** Es la variación de las características físicas de las aleaciones que se produce por la precipitación espontánea a la temperatura ambiente de los constituyentes previamente solubilizados.

**ESTABILIZADO:** Tratamiento térmico destinado a reducir los efectos de las tensiones internas residuales.

**HOMOGENEIZADOS:** Es el tratamiento a alta temperatura para eliminar el sol o reducir la segregación por difusión.

**RECOCIDO:** Es el tratamiento térmico para ablandar el metal por eliminación de las tensiones que resultan del trabajado en frío o por coalescencia de los precipitados de la solución sólida, por calentamiento y mantenimiento a una temperatura suficiente que cause la recristalización.

**RECOCIDO PARCIAL:** Tratamiento térmico a baja temperatura del material trabajado en frío para efectuar un ablandamiento límite sin causar la recristalización. Este tratamiento es usado para obtener ciertos templos intermedios.

**SOLUBILIZACION:** Es el tratamiento térmico a una temperatura adecuada y por tiempo suficiente para permitir que uno o más constituyentes de una aleación entren en solución sólida, seguido de un enfriamiento lo suficientemente rápido para mantener los constituyentes en solución. La aleación resulta super saturada en estado inestable y puede subsecuentemente presentar endurecimiento por precipitación.

**TEMPLE:** Es la dureza y resistencia producida por tratamientos mecánicos o térmicos o ambos y caracterizado por una determinada estructura, propiedades mecánicas, o reducción de área durante el trabajo en frío.

**TRABAJO EN CALIENTE:** Es la deformación plástica del metal en condiciones de temperatura y velocidad en las cuales no se produce el endurecimiento por deformación.

**TRABAJO EN FRIO:** Es la deformación plástica del metal en condiciones de temperatura y velocidad en las cuales se produce el endurecimiento por deformación.

#### APTITUDES DEL ALUMINIO Y SUS ALEACIONES PARA LA TOMA DE FORMA

Repujado	E	B	-	B
Extrusión	E	A	MB	A
Forjado	E	MB	-	MB
Temp. trabajo	400°	430°	-	430°

1350                    2024                    6063                    7005

E.      Excelente  
MB.    Muy bueno  
B.      Bueno  
A.      Aceptable

**APTITUD DEL ALUMINIO Y SUS ALEACIONES PARA LOS TRATAMIENTOS DE SUPERFICIE**

		1050	2024	6061	6063	7005
Comportamiento natural de la aleación	Resist. acción atmosférica	E	A	MB	E	MB
	Resist. acc. aire mar	MB	D	MB	MB	B
	" opacamiento después pulido mecánico	MB	A	MB	MB	A
	" a la rayadura	B	E	MB	MB	E
Aptitud tratam. de terminación	Facilidad	MB	E	MB	E	E
		Pulido	MB	E	E	MB
	Aspecto	MB	MB	E	E	MB
	Aspecto abrillantado electrolítico	MB	B	MB	MB	B
Aptitud Anodización	Aspecto satinado el.	MB	MB	MB	E	MB
	Transparenc. capa anódica	MB	B	MB	MB	B
	Dureza capa anódica	MB	A	E	E	E
	Resistencia interperíte	E	B	E	E	MB
Depósitos Galvánicos	Formación capas duras	MB	A	E	E	E
	Facilidad	MB	MB	E	E	B
	Aspecto y Protección	MB	MB	MB	MB	MB

E: Excelente

MB: Muy Bueno

B: Bueno

A: Aceptable

D: Desaconsejable

## A N O D I Z A D O

### DEFINICION:

Es un tratamiento electrolítico de superficie, aplicable al aluminio y sus aleaciones, por el cual se forma una capa de óxido adherente, transparente y protectora, con propiedades del metal base.

### DESCRIPCION DEL PROCESO

#### TRATAMIENTOS PREVIOS:

El tratamiento previo, necesario y suficiente, para proceder al anodizado es un buen desengrasado, independientemente del estado final que se obtenga.

DADO QUE LA CAPA ANODICA NO SE FORMA SOBRE LA SUPERFICIE, SINO QUE PENETRA DESDE LA SUPERFICIE HACIA EL INTERIOR DEL METAL, SE CONSERVA EN CONSECUENCIA LA MAYOR PARTE DE LOS DEFECTOS DE LA SUPERFICIE ORIGINAL. POR ELLO, ES MUY IMPORTANTE EL CUIDADO QUE SE BRINDE AL METAL ANTES DE SER ENVIADO A ANODIZAR.

Para los casos en que el aspecto decorativo sea prioritario, se aplican pulimentos mecánicos para homogeneizar el aspecto final.

El estado anterior al anodizado puede ser:

- 1 - SIN PULIR
- 2 - SATINADO QUIMICO
- 3 - PULIDO CON CINTA ABRASIVA

Tanto los pulimentos mecánicos como el satinado químico se realizan por extracción de metal, de manera que se pierde peso de los productos tratados; esta diferencia se denomina «PERDIDA METALICA».

#### ANODIZADO:

El proceso se desarrolla en una cuba de electrólisis, donde las piezas de aluminio se colocan en soportes conductores, conectados al polo positivo (ánodo) de una fuente de poder de corriente continua; el polo negativo (cátodo) es de un material inerte y el electrólito es una solución acuosa de ácido sulfúrico, único que permite obtener capas protectoras de espesores importantes.

#### COLOREADO:

Aprovechando la porosidad de la capa anódica, se las puede colorear por impregnación con anilinas ó introduciendo iones metálicos en el fondo de los poros, mediante una diferencia de potencial.

### **SELLADO:**

Esta es la última operación del proceso, se haya efectuado o no la coloración. Se realiza por inmersión de las piezas anodizadas en agua desmineralizada en abullión. Esta operación de sellado es la que permite mantener estable, a través del tiempo, las propiedades del material anodizado y del coloreado. A través de este proceso se transforma la alúmina en monohidrato, que tiene mayor volumen, se dilata y cierra herméticamente los poros de la capa anódica. Esta operación es indispensable, como se puede ver en el cuadro siguiente:

PROPIEDADES	CAPA NO SELLADA	CAPA SELLADA
Poder absorbente	Se colorea con tinta	No se colorea
Inercia química en medio ácido	Se disuelve en pocos minutos	Resiste centenares de horas
Estabilidad a la intemperie	Se torna pulverulenta	Resiste sin modificarse
Estabilidad del color	Disminuye el tono rápidamente	Se mantiene estable

### **PROPIEDADES FISICAS:**

El anodizado proporciona:

- Mayor dureza superficial
- Mayor resistencia a la abrasión y al desgaste
- Mayor aislamiento eléctrico
- Mayor resistencia a los agentes químicos y atmosféricos

### **PROPIEDADES QUIMICAS**

Son las de la alúmina cristalina. Las capas tienen un gran valor protector en los medios en que el índice de acidez está comprendido entre pH 4 y 9; la inercia química de la capa es mayor en medio ácido que en básico.

La alúmina es translúcida y tóxica. Pueden presentarse ligeras diferencias de tono con ciertas aleaciones de aluminio.

### **VENTAJAS DEL ANODIZADO**

- a) **Decoración:** El anodizado permite la realización de acabados decorativos, especialmente en color, por medio del sistema electroquímico. El carácter metálico de las piezas no se oculta y se conserva gracias a la transparencia de la capa anódica.
- b) **PROTECCION:** Centra la exposición a atmósferica a medios agresivos o intemperie que pueda deteriorar su aspecto original o su funcionalidad.
- c) **TECNICOS:** Para obtención de superficies duras autolubricadas, aislantes, de reflexión constante, etc.

## **MATERIAL ANODIZABLES**

En general todos los aluminios y sus aleaciones son anodizables, no obstante, se debe destinar a anodizado solamente aquellos productos que han sido procesados para tal fin. Estos productos clasificados como calida OA (oxidación anódica) son los únicos que garantizan una respuesta óptima del anodizado.

## **ESPESOR DE LA CAPA ANODICA**

Los siguientes son espesores de capa anódica para las aplicaciones indicadas.

Espesor en      Campo de aplicación  
micrones

- |    |  |
|----|--|
| 10 | Interiores, intemperie no agresiva, rural o urbana       |
| 15 | Atmósfera marina o industrial, urbana con gran polución  |
| 20 | Ambiente marino con gran exposición, ambientes agresivos |

## **COLORES STANDAR**

- \* Natural
- \* Bronce claro
- \* Bronce oscuro
- \* Negro

## **ACABADO DE SUPERFICIES**

- Según el tratamiento previo:
- \* Sin pulir
  - \* Satinado químico
  - \* Pulido con cinta abrasiva

## **RECOMENDACIONES PARA EL ANODIZADO**

Uniformidad de espesor de capa y color.

La mejor manera de garantizar una buena uniformidad es la de anodizar en tiras de 6 mts. Cuando se realiza sobre trazos mecanizados, la distribución de corriente no es homogénea y se obtienen diferencia de tono imposibles de corregir.

Al anodizar un perfil tubular, su interior queda al natural y se debe tener en cuenta en el diseño de los cortes.

Formar lotes completos de todo material necesario para un conjunto y enviarlo a anodizar al mismo tiempo. Así obtendrá la mejor uniformidad de tonos de color; evitar mandar en un mismo conjunto elementos de distintas partidas.

Las tolerancias dimensionales de ensamble entre perfiles no se modifican con el anodizado.

Evitar el deterioro del estado superficial de los perfiles durante su manipulación, transporte y almacenaje.

Los pequeños defectos, rayas propias del proceso de extrusión, son tolerables pero se debe observar un aspecto uniforme de 3 mts. de distancia.

Se desaconseja en ensamble por soldadura de piezas anodizadas, debiéndose recurrir a uniones mecánicas con tornillos u otros medios mecánicos.

#### APTITUD DEL ALUMINIO Y SUS ALEACIONES A LOS DIFERENTES METODOS DE SOLDADURA

##### APTITUD A LA SOLDADURA

1050 2024 6061 6063 7005

Oxiacetilénica	E	D	MB	MB	MB
Arco Atmósfera inerte Proceso TiG-MIG	E	D	MB	MB	MB
Eléctrica por resistencia	E	E	E	E	E

#### SISTEMA DE DESIGNACION DE TEMPLES

##### INTRODUCCION Y ALCANCE

El sistema de designación de templos es usado para todas las formas de aluminio y sus aleaciones de forja y fundición, excepto para los lingotes. Este está basado sobre las secuencias de los tratamientos básicos usados para producir distintos templos. La designación del temple que sigue a la designación de la aleación, está separada por un guión entre las dos. Las designaciones de templos básicos consiste en letra, las subdivisiones de los templos básicos son indicadas, donde se requiere, por uno o más dígitos siguientes a la letra. Esta especificación designa secuencias de tratamientos básicos pero solamente en operaciones reconocidas como significativas influencia en las características del producto.

##### TEMPLES BASICOS

###### O - RECOCIDO

Aplicable a los productos tratables que son recocidos para obtener el temple de más baja resistencia y para productos obtenidos por colada que son recocidos para incrementar su ductilidad.

## **H - ENDURECIDO POR DEFORMACION**

Aplicable a los productos que incrementan su resistencia por endurecimiento por deformación, con o sin tratamiento térmico suplementario para producir alguna reducción en la resistencia. La H es siempre seguida por dos o más dígitos.

El primer dígito siguiente a la H indica la combinación específica de operaciones básicas, según se expresa a continuación:

**H 1 - ENDURECIDO POR DEFORMACION SOLAMENTE**

**H 2 - ENDURECIDO POR DEFORMACION Y PARCIALMENTE RECOCIDO**

**H 3 - ENDURECIDO POR DEFORMACION Y ESTABILIZADO**

El segundo dígito de las designaciones H1 - H2 - H3 indica el grado de endurecimiento por deformación.

El tercer dígito, cuando es usado indica una variación de un temple de dos dígitos.

## **T - TERMICAMENTE TRATADO PARA PRODUCIR TEMPLES ESTABLE DISTINTOS DE O y H**

Aplicable a los productos que son tratables térmicamente, con o sin tratamiento suplementario de endurecido por deformación para producir templos estables. La T es siempre seguida de uno o más dígitos.

Los números 1 al 10 siguientes a la letra T, indican las secuencias específicas de los tratamientos básicos, según se detallan a continuación:

**T 1 - ENFRIADO DESDE UNA TEMPERATURA ELEVADA EN EL PROCESO DE FORMADO Y ENVEJECIDO NATURALMENTE A UNA CONDICION SUSTANCIALMENTE ESTABLE.**

**T 2 - ENFRIADO DESDE UNA TEMPERATURA ELEVADA EN EL PROCESO DE FORMADO, TRABAJADO EN FRIO Y ENVEJECIDO NATURALMENTE A UNA CONDICION SUSTANCIALMENTE ESTABLE.**

**T 3 - PUESTA EN SOLUCION POR TRATAMIENTO TERMICO TRABAJADO EN FRIO Y ENVEJECIDO NATURALMENTE A UNA CONDICION SUSTANCIALMENTE ESTABLE.**

**T 4 - PUESTA EN SOLUCION POR TRATAMIENTO TERMICO Y ENVEJECIDO NATURALMENTE A UNA CONDICION SUSTANCIALMENTE ESTABLE.**

**T 5 - ENFRIADO DESDE UNA TEMPERATURA ELEVADA EN EL PROCESO DE FORMADO Y LUEGO ENVEJECIDO ARTIFICIALMENTE.**

**T 6 - PUESTA EN SOLUCION POR TRATAMIENTO TERMICO Y LUEGO ENVEJECIDO ARTIFICIALMENTE.**

**T 7 - PUESTA EN SOLUCION POR TRATAMIENTO TERMICO Y ESTABILIZADO.**

**T 8 - PUESTA EN SOLUCION POR TRATAMIENTO TERMICO, TRABAJADO EN FRIO Y LUEGO ENVEJECIDO ARTIFICIALMENTE.**

**T 9 - PUESTA EN SOLUCION POR TRATAMIENTO TERMICO, ENVEJECIDO ARTIFICIALMENTE Y LUEGO TRABAJADO ARTIFICIALMENTE.**

**T10 - ENFRIADO DESDE UNA TEMPERATURA ELEVADA EN EL PROCESO DE FORMADO, TRABAJADO EN FRIO Y LUEGO ENVEJECIDO ARTIFICIALMENTE.**

### PROPIEDADES MECANICAS TIPICAS

Las siguientes propiedades mecánicas típicas no son garantizadas. En la mayoría de los caso son promedios de varias mediciones sobre distintas formas de productos y métodos de elaboración y puede no ser exactamente representativo a algún producto en particular a dimensión.

Estos datos son aproximados solamente, como valor de comparación de aleaciones y templos

	Resist tracción Kg/mm <sup>2</sup>	Límite Elástico Kg/mm <sup>2</sup>	Dureza Brinnell	Tensión Rot.Corte Kg/mm <sup>2</sup>	Fatiga Kg/mm <sup>2</sup>	Mod Elastic Kg/mm <sup>2</sup>
6061-0	12,5	5,5	30	8,5	6	6.900
6061-T4	24	14,5	65	16,5	9,5	6.900
6061-T6	31	27,5	95	20,5	9,5	6.900
6063-0	9	5	25	7	5,5	6.900
6063-T1	15	9	42	9,5	6	6.900
6063-T6	24	21,5	73	15	7	6.900

### DENSIDADES TIPICAS DE ALEACIONES DE ALUMINIO

La densidad depende de la composición y las variaciones se distinguen de una colada a otra para la mayoría de las aleaciones. Los valores típicos indicados no son especificaciones como requerimientos técnicos pero son usados para calcular los valores típicos de masa por unidad de longitud, masa por unidad de área, etc.

Aleación	Densidad
1050	2,70
2024	2,78
6061	2,70
6063	2,69
7505	2,78

Basado fundamentalmente en el manual de: The Aluminum Association, Inc.  
 - ALUMINUM STANDARDS and DATA 1978 Metric SI. y del CATALOGO DE EXTRUSION DEL ALUMINIO Y SUS ALEACIONES de CAMEA S.A. del Grupo ALCAN.