

## ALUMINIO Y ALEACIONES LIVIANAS

(Notas para el curso de **Materiales, Combustibles y Ensayos**)

(Continuación)

POR EL

**Ing. Lorenzo P. Fontana**

Profesor Titular en la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales

### ALEACIONES LIVIANAS PARA FORJADO

En la primera parte de estas notas nos ocupamos de las aleaciones livianas destinadas a la realización de piezas fundidas.

Pasamos ahora a considerar, bajo la designación de aleaciones livianas para forjado, aquellas que, para adquirir forma de piezas, son previamente sometidas a sensibles deformaciones en caliente, o sea como dicen los franceses, "corroyés" o en habla inglesa "wroughts".

Varios son los procesos empleados para esta elaboración, como ser el martinete, la prensa, el laminador, el proceso de "extrusión", etc.

Se trata del material más corriente en la construcción de aviones, pues en las fábricas se recibe bajo forma de chapas, bandas, barras, perfilados, tubos, alambres, etc., o de lingotes destinados a darle forma por medio de estampado.

Entre estas aleaciones hallaremos algunas cuya carga de rotura se aproxima o supera los 40 kg. por mm<sup>2</sup>, generalmente designadas "aleaciones livianas a elevada resistencia".

La deformación a elevada temperatura (corroyage) es una operación común a todas estas aleaciones, mejorándose sensiblemente las características mecánicas. Se observa que a paridad de composición química, estas son más elevadas, que cuando el proceso para conseguir la pieza es exclusivamente la fundición.

Una mejora muy importante se consigue con los tratamientos térmicos que son condición indispensable cuando se trata de aleaciones a elevada resistencia.

Estos tratamientos térmicos son los que han hecho posible conseguir características mecánicas superiores y su descubrimiento marcó el comienzo de la utilización industrial de estas aleaciones.

La primera aleación liviana de importancia fundamental es el **duraluminio**, establecido en 1908 por Alfredo Wilm, cuyo tratamiento térmico fué presentado por primera vez, por el mismo, en una memoria publicada en 1911.

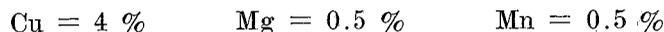
Descubrimiento de la mayor importancia:

a) del punto de vista de las construcciones aeronáuticas, que se han beneficiado enormemente con esta aleación cuya carga de rotura iguala a la del acero dulce, mientras que su peso específico es aproximadamente una tercera parte.

b) del punto de vista científico por cuanto se trata del primer caso en que la dureza se consigue por efecto del temple y **revenido**, contrariamente a cuanto ocurre en los aceros, en los cuales el tratamiento de dureza es exclusivamente el **temple**.

El proceso establecido por Wilm se ha difundido también en otras aleaciones.

La denominación de **duraluminio**, debida a la ciudad de Düren que primero vió su origen, o simplemente de **dural**, fué empleada para indicar una aleación a base de aluminio, cuya composición química ha sido desde un comienzo:



en la cual están presentes, aún si no declarados, **silicio** e **hierro**, en calidad de impurezas, hasta 0.7 % cada uno, que siempre acompañan el aluminio en los lingotes de uso industrial.

El **manganeso** presente contribuye a la dureza de la aleación, pero no interviene en el endurecimiento ocasionado por el tratamiento térmico.

Esta aleación calentada a 500° y enfriada en agua, se temple. Pero, como Wilm destaca en su memoria, este temple difiere substancialmente de lo que ocurre en los aceros:

“La aleación queda blanda después del temple, pero, al cabo de algunas horas, la dureza aumenta rápidamente al comienzo, luego en forma lenta”.

Los efectos de los tratamientos térmicos sobre el dural pueden ilustrarse con los siguientes datos numéricos, deducidos del tratado de Edwards Frary y Jeffries, que se citan a continuación:

#### PROPIEDADES TÍPICAS DEL DURALUMINIO EN VARIOS ESTADOS

ESTADO FÍSICO-QUÍMICO	CARGA DE ROTURA kg./mm <sup>2</sup>	ALARGAMIENTO % sobre 2"
Laminado (aproximadamente 50 % de reducción, en frío) ...	30	4 %
Recocido a 325° ... ..	18,2	18 %
Templado a 505° :		
<b>Ensayado inmediatamente</b> ....	31	. 19 %
<b>Ensayado después de 4 días</b> ...	42	19 %

Se destaca el hecho que inmediatamente después de templado, el duraluminio no alcanza las características que le son propias para el empleo, y que estas solamente son adquiridas **después de algunos días**, permaneciendo a temperatura ordinaria.

Si la pieza templada se conserva a temperatura más baja

que la normal, por ejemplo a cero grados, el número de días necesario para alcanzar las características máximas aumentará en forma sensible.

Si, en vez, la pieza es calentada a temperaturas superiores

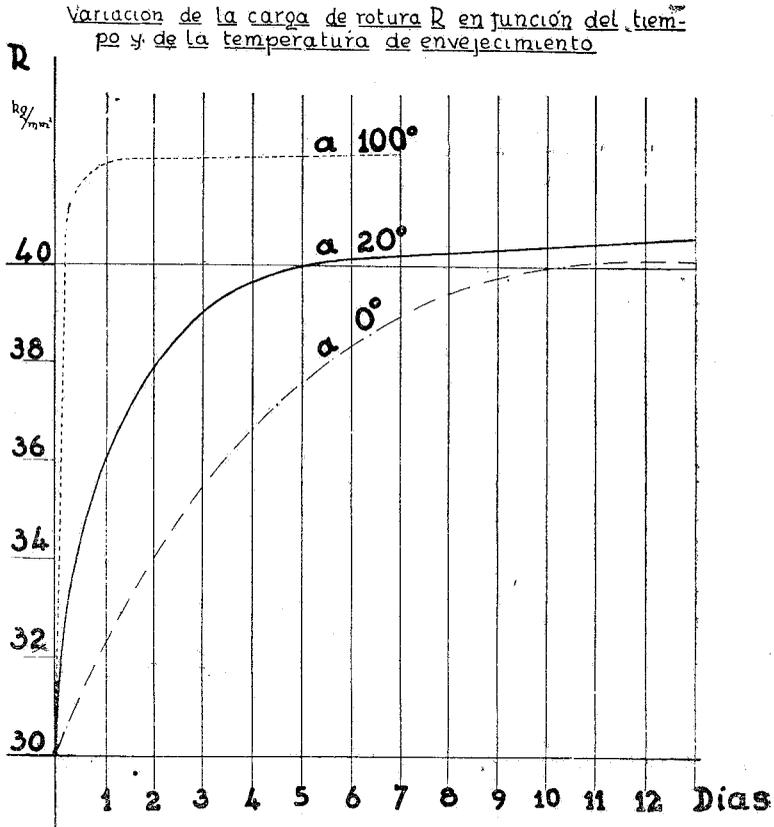


FIGURA 19

a la ambiente, por ejemplo 100°, el tiempo necesario para conseguir las características máximas se reduce a unas pocas horas, como se deduce de las curvas de la figura 19 establecidas experimentalmente.

De las curvas de fig 19 se desprende que la temperatura a que se somete la pieza de duraluminio después del temple tiene un efecto sensible sobre la carga de rotura de la misma. Es decir, que la temperatura del ambiente actúa como un verdadero **revenido**. Este particular tratamiento característico de estas aleaciones se designa con el término de **envejecimiento**.

El fenómeno antes indicado característico del duraluminio, es también común a gran parte de las aleaciones livianas.

Ha sido motivo de numerosos estudios, sea por el interés práctico que presenta, como también por sus discordancias con el tratamiento de los aceros.

Ya en 1919 Merica, Waltenberg y Scott publicaron una memoria sobre "Heat treatment of duralumin" a la cual siguieron numerosos estudios, sobre todo considerando la solubilidad en el aluminio de los compuestos **Al<sub>2</sub> Cu** y otros que se encuentran en las aleaciones aluminio — cobre y aluminio — magnesio. Pues en las aleaciones livianas, susceptibles de tratamientos térmicos se hallan compuestos, como ser el antes citado, aluminuro de cobre, y siliciuro de magnesio **Mg<sub>2</sub> Si**, solos o presentes simultáneamente.

Estos, como en general todos los compuestos intermetálicos son muy duros y frágiles.

Así la dureza Brinell del **Cu Al<sub>2</sub>** es aproximadamente 300, contra 25 características del aluminio puro y 45 del cobre.

Sea el **Cu Al<sub>2</sub>** que el **Mg<sub>2</sub> Si** tienen a elevada temperatura una cierta solubilidad en el aluminio, que se reduce a valores muy bajos a la temperatura ambiente.

Así el **Cu Al<sub>2</sub>** a 548° se disuelve en el Al por un valor correspondiente a 5.65 % de Cu, de acuerdo al diagrama de equilibrio n°. 4 de pág. 1335, solubilidad que a cero grados se reduce a apenas 0.3 %. Análogamente la solubilidad del **Mg<sub>2</sub> Si** que tiene un máximo de 1.85 % a los 595° de acuerdo al diagrama de equilibrio n°. 12 de pág. 1350, a los 200° se reduce a 0.2 %.

El duraluminio, para citar un ejemplo de aleación liviana,

contiene por su composición por lo menos  $\text{Cu Al}_2$  y  $\text{Mg}_2 \text{Si}$ , aparte de otros compuestos más complejos cuya presencia es posible.

Estos compuestos a los  $500^\circ$  se hallarán completamente disueltos en aluminio. Mientras la aleación permanezca a esta temperatura, estará constituida exclusivamente por una única fase: cristales de solución sólida.

Por este motivo el tratamiento térmico que consiste en llevar la aleación a elevada temperatura, aproximadamente a los  $500^\circ$ , manteniéndola el tiempo necesario para que esta se homogenice en todas las partes que constituyen la pieza, se denomina **tratamiento de solución**.

Luego, enfriando bruscamente por medio de agua, evitamos que se cumplan las transformaciones de naturaleza físico-química indicadas por los correspondientes diagramas de equilibrio. En este caso se trata de una reducción en la solubilidad. Por ende, a consecuencia del temple, e inmediatamente después de este, tendremos a temperatura ordinaria el equilibrio físico que corresponde a la alta temperatura, es decir exclusivamente cristales de solución sólida, pero en equilibrio precario, **inestable**.

Si el enfriamiento fuera **suficientemente lento**, es decir si el tratamiento térmico practicado fuera un **recocido**, cristales de  $\text{Al}_2 \text{Cu}$  y de  $\text{Mg}_2 \text{Si}$  se hubieran separado de la solución sólida, conforme a las concentraciones indicadas por la correspondiente curva de solubilidad, formando cristales de ciertas dimensiones, debido al fenómeno de **coalescencia**. Si consideramos nula la solubilidad de  $\text{Al}_2 \text{Cu}$  o de  $\text{Mg}_2 \text{Si}$  en aluminio, a la temperatura ambiente, lo que si bien no es riguroso es muy próximo del punto de vista práctico a la realidad, la constitución de la aleación, conseguida por **recocido**, es decir en **equilibrio físico-químico** a la temperatura ordinaria, resultará de cristales separados de  $\text{Cu Al}_2$ , cristales de  $\text{Mg}_2 \text{Si}$  y cristales de aluminio.

Volvamos ahora a considerar la aleación enfriada en forma brusca por medio de agua, que se encuentra a la temperatura ambiente en **equilibrio físico-químico inestable**, es decir al estado

de solución sobre saturada. Inmediatamente de practicado el enfriamiento, su carga de rotura está lejos del valor máximo. Pero este estado, y por ende el valor de la carga de rotura, es sólo transitorio. En efecto, la solución sólida sobresaturada, conseguida por temple, tiende al equilibrio, es decir a poner en libertad el exceso de  $Al_2 Cu$  y de  $Mg_2 Si$ .

Ocurre, a la temperatura ambiente una precipitación de  $Al_2 Cu$  y de  $Mg_2 Si$  que se encuentran en exceso en la solución sólida, precipitación esta que dá lugar a partículas finamente divididas y dispersadas en la masa de la aleación.

Se atribuye a esta precipitación el aumento de la carga de rotura y de la dureza.

**Se produce por lo tanto a temperatura ambiente un verdadero revenido**, siendo necesarios algunos días de tiempo para que este sea total.

Si en vez se calienta la pieza por ejemplo a  $100^\circ$ , disminuyendo la viscosidad del medio, el proceso de precipitación se acelera, pues en vez de varios días, son suficientes pocas horas para alcanzar el valor máximo de la dureza.

Este revenido, practicado a la temperatura ambiente, es denominado **envejecimiento** (aging) o **tratamiento de precipitación**, denominación esta de carácter funcional.

El máximo de dureza corresponde, según Merica, a un determinado grado de dispersión ("critical dispersión").

Esta hipótesis del endurecimiento por precipitación de los compuestos duros en solución, halla una expresión gráfica, debida a Jeffries y Archer, que considero de interés recordar.

El esquema de la figura 20 representa una sección a través de un cristal; las líneas paralelas representan las trazas de los planos de clivaje, es decir las líneas de más fácil deslizamiento en la anisotropía que caracteriza el cristal. Trátase de un material homogéneo, correspondiente a una única fase, y como tal puede representar **un cristal de duraluminio a elevada temperatura**, como también **inmediatamente** después de templado.

El segundo esquema (fig. 21) representa la precipitación ocurri-

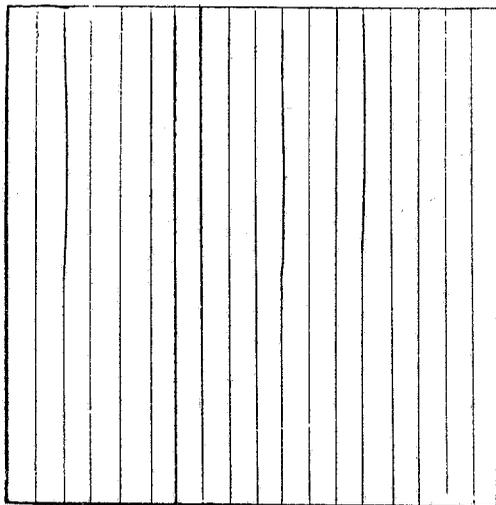


FIGURA 20

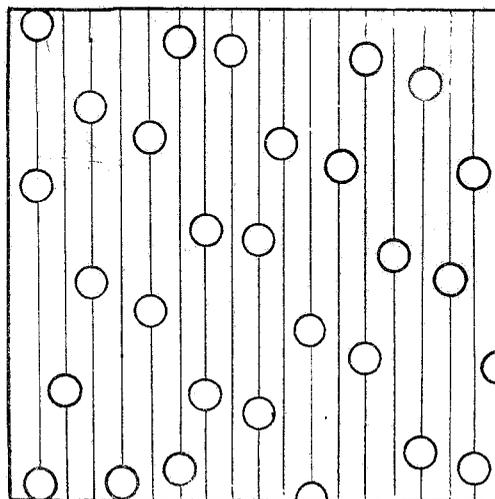


FIGURA 21

da por acción del **revenido** de las pequeñas partículas del compuesto duro, distribuídas en la masa, que interceptan todos los planos de clivaje, actuando como otras tantas **cuñas** que se oponen al deslizamiento, contribuyendo al aumento de la carga de rotura.

Al fin el tercer esquema (fig. 22), en que también el compuesto duro se halla separado de la masa, pero en granos de mayores dimen-

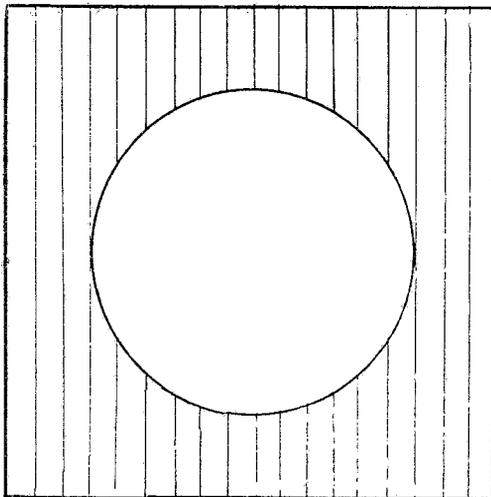


FIGURA 22

siones. Si bien el número de fases es igual al caso anterior, la diferente distribución de las mismas, deja libres muchas líneas de clivaje. No encontrándose en estas, partículas duras que se opongan al deslizamiento. Corresponde este esquema al caso del enfriamiento lento, es decir al recocido, que permite por coalescencia la formación de cristales duros, por ejemplo de  $\text{Cu Al}_2$  o  $\text{Mg}_2 \text{Si}$ , de ciertas dimensiones superiores al caso del temple y revenido.

Ingeniosa hipótesis especulativa que las recientes investigaciones sobre constitución de la materia por medio de los rayos X podrán posiblemente desplazar.

Resumiendo, los **tratamientos térmicos** de las aleaciones livianas consisten:

- 1) **Tratamiento de solución** en que la pieza de aleación liviana es llevada a elevada temperatura, entre los 470 y 530°, según la composición química, y dejada permanecer a esta temperatura hasta tanto se tenga la seguridad que los compuestos duros, como ser por ejemplo  $\text{Cu Al}_2$  y  $\text{Mg}_2$  Si se disuelven completamente en aluminio. Luego, enfriamiento brusco en agua fría o menos violento en agua caliente.
- 2) **Tratamiento de precipitación o envejecimiento** que se practica a la temperatura ambiente, o a temperaturas mayores (100° a 250° según las aleaciones), denominándose este último **envejecimiento artificial**.

El conjunto de estos dos tratamientos es denominado con una sola palabra **bonificación** y **bonificadas** las piezas que los han soportado.

Ciertas aleaciones son susceptibles de los tratamientos antes citados realizados a variadas temperaturas, modificándose en correspondencia las características mecánicas.

- 3) Por último se considera el **reccido**, cuyos fines son análogos a los que determinan su empleo en los productos siderúrgicos. En el caso de piezas fundidas, elimina las tensiones internas debidas a la solidificación (especialmente en el caso de piezas fundidas en coquilla) provocando disminución de la carga de rotura, límite elástico y dureza y aumentando el alargamiento y la estricción.

Puede servir también a eliminar los efectos del temple, y de las deformaciones en frío (écrouissage), etc., confiriendo a la aleación el estado blando que más se presta para alterar la forma exterior (ejemplo palas de hélice a enderezar, etc.).

## DURALUMINIO

Esta aleación, la primera como importancia entre las livianas, es producida bajo diferentes designaciones. Así, la Aluminium Company of América la denomina 17 S de acuerdo a una particular nomenclatura (1).

La composición más común es

Cu = 4 %            Mg = 0.5 %            Mn = 0.5 %

y pequeñas cantidades de Si y Fe.

Esta composición es la que permite conseguir la mejor resistencia después del tratamiento de solución y **envejecimiento** a la **temperatura ordinaria**.

Las características mecánicas son

R = 40 kg/mm<sup>2</sup>            E = 24 kg/mm<sup>2</sup>            A = 20 %

Las especificaciones sobre "duraluminio" de la U. S. Army (57 - 152 A) y U. S. Navy (44 A 2 y 47 A 3) establecen el siguiente margen para la composición química

Cu %	Mg %	Mn %	Al min %
3.5 a 4.5	0.20 a 0.75	0.4 a 1.	32

- (1) La nomenclatura de las aleaciones livianas empleada por la ALCOA es la siguiente: El símbolo consiste de tres partes. Ejemplo: 17 S T.  
 a) El número indica la composición química; b) La letra siguiente indica el estado del producto, así S indica deformaciones en caliente (corroyage) para distinguirlo del material fundido; c) La segunda letra indica el tratamiento térmico: la T indica temple.

En algunos casos la composición química original ha sido modificada: esto se distingue por una letra que precede al número, por ejemplo A 17 S indica la aleación A 17 S con una modificación en la composición química.

Para indicar el **estado** fisico-químico se emplean los siguientes símbolos:

- O recocida
- H endurecida por écouissage
- W tratada térmicamente y envejecida a la temperatura ordinaria.
- T el máximo tratamiento térmico
- RT tratada térmicamente, envejecida y con un cierto grado de écouissage.

Al indicarse las características mecánicas del duraluminio es necesario especificar la composición química a la par que el estado y el tratamiento térmico empleado.

El duraluminio en general llega al constructor de aviones bajo forma de chapas, barras, perfilados, tubos, remaches, etc., es decir, después de haber soportado trabajo de deformación en caliente (corroyage) y haber sido tratado.

### TRABAJO DE DEFORMACION EN CALIENTE DEL DURALUMINIO (corroyage)

Como se ha dicho anteriormente, las excelentes características mecánicas del duraluminio solamente pueden conseguirse después de haber sometido el material a sensibles deformaciones practicadas a elevada temperatura (350° - 400°), "corroyage", y luego tratado térmicamente.

Esta aleación, al estado de fundida tiene un alargamiento muy bajo; este aumenta con el grado de deformación en caliente a que se someta el material. Para conseguir una maleabilidad aceptable, la deformación debe ser tal que reduzca la sección a 1/4 o 1/5 de la inicial.

Esto resulta la parte más delicada de la elaboración del duraluminio, pues se trata de someter a deformación un material que tiene un alargamiento reducido y como tal muy expuesto a grietas y fisuraciones.

La potencia que requieren las máquinas para su elaboración, prensas, martinets, etc., es en proporción mayor que la necesaria para el forjado de los aceros dulces, pues si bien la resistencia a la deformación disminuye con la temperatura, la gama utilizable para el dural es relativamente más baja (350° - 400°) frente al acero (900°).

**TRATAMIENTOS TERMICOS DEL DURAL (17 S).** — Los tratamientos térmicos requieren uniformidad de temperatura en

la pieza y un control riguroso de su valor. Para los tratamientos se emplean preferentemente hornos eléctricos.

El **recocido** se practica para eliminar los efectos de las deformaciones en frío (*écrouissage*), es decir para reorganizar la estructura cristalina perturbada por la acción exterior. Las temperaturas empleadas son entre 300 y 350°, sin superarse este último valor, por cuanto se provocaría una disminución de la plasticidad de la aleación después del tratamiento.

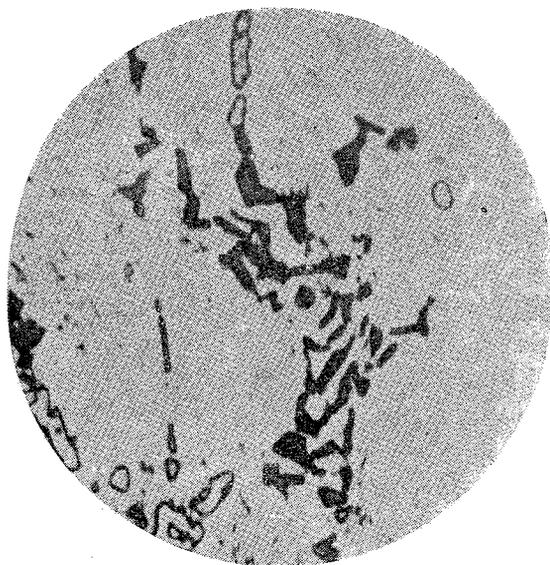


FIGURA 23

Duraluminio templado y envejecido. El constituyente claro es  $\text{Cu Al}_2$  y el oscuro  $\text{MnAl}_3$ . X 1300. (Lecoeuvre y Cazaud)

El **tratamiento de solución** consiste en dejar permanecer la pieza un cierto tiempo, que es función de sus dimensiones, a 510° (entre 495° y 515°) si se trata de 17 S y enfriando luego en agua, a la temperatura ambiente.

Con el fin de garantizar la homogeneidad de temperatura al calentamiento de piezas de secciones accidentadas, o delgadas, chapas, tubos, etc., se emplean baños de sal, especialmente de ni-

trato de sodio o sino también mezclas al 50 % de nitrato de sodio y nitrato de potasio.

Por lo que atañe al **tratamiento de precipitación** para la aleación 17 S conviene el envejecimiento natural, es decir practicado a la temperatura ambiente.

En casos particulares, como ser por ejemplo el de remaches, que deben ser puestos en obra con las características correspondientes al temple, se retarda artificialmente el envejecimiento, manteniéndolos en heladeras a temperaturas de cero grados.

**USINAJE DEL DURALUMINIO.** — Presenta características excelentes para el usinaje, sin empastar la herramienta, produciendo desgarraduras como ocurre con el aluminio puro. Conviene emplear velocidades de corte altas y herramientas con ángulos de corte especiales para este material.

**TRABAJOS DE CALDERERIA.** — Los trabajos de calderería y embutizaje sobre chapa se realizan sea en frío que en caliente, a 150° empleándose dural al estado de recocido o inmediatamente después del temple.

**UNIONES.** — Si bien el duraluminio es soldable, sea a la autógena que por resistencia eléctrica (shot welding), en las zonas soldadas las características mecánicas quedan reducidas a las que corresponden al estado fundido, es decir carga de rotura de 20 kg/mm<sup>2</sup>. De aquí que la unión de estructuras resistentes de aviones, como ser chapas de recubrimiento de alas "Monocoque", platabandas, almas de largueros, etc., se realicen exclusivamente por medio de remachado. Este se realiza en frío. Los remaches de 17 S son puestos en obra a más tardar en la media hora que sigue al temple. Para el tratamiento de solución los remaches alojados en una canasta metálica son sumergidos en el baño de nitrato de sodio. Enfriando los remaches en agua helada y manteniéndolos a cero grados, el tiempo de envejecimiento se retarda de 24 horas.

La puesta en obra debe cumplirse en media hora de retirado el remache de su custodia a baja temperatura.

Es conveniente que los remaches sean del mismo material de los elementos que se unen y con el mismo tratamiento térmico, para ofrecer mayor resistencia a la corrosión, de acuerdo a la teoría electrolítica de la misma.

En el dimensionamiento de los remaches es muy necesario tener presente que la resistencia a corte del duraluminio es solamente  $\frac{3}{5}$  de la resistencia a tracción, contra los  $\frac{4}{5}$  característicos del acero.

En ciertos casos —cuando motivos de resistencia estructural no lo exigen— para facilitar el trabajo de unión se emplean remaches más dúctiles, de aleación 17 S modificada en su composición química, es decir la A 17 S de acuerdo a los datos comparativos indicados en la siguiente tabla:

## ALEACIONES PARA REMACHES

DESIGNACION	COMPOSICION QUIMICA %				TRATAMIENTO T E R M I C O	RESISTEN- CIA A CORTE kg/mm <sup>2</sup>	CARGA DE ROTURA A TRACCION kg/mm <sup>2</sup>
	Cu	Mn	Mg	Al min			
17 S T	4	0.5	0.5	92	Después del temp. y envej.	25,3	42,2
A 17 S T	2.5	—	0.3	94	Inmediat. des- pués del temple	18,3	32,2
					Después de 4 días de envejec.	23,2	38,7

Los remaches de la aleación modificada pueden ser puestos en obra al estado de templados y envejecidos por cuanto poseen suficiente plasticidad para formar la cabeza sin que se agriete.

Para evitar confusiones en el reemplazo de remaches de dural por la aleación blanda A 17 S, especialmente en curso de reparación de aviones, los remaches de esta aleación llevan marcas de identificación (fig. 24).

**RESISTENCIA A LA CORROSION DEL DURAL.** — El duraluminio tiene una excelente resistencia a las ordinarias formas de corrosión, especialmente al estado pulido. Pero se presta al ata-

*MARCAS DE IDENTIFICACION DE REMACHES  
CORRESPONDIENTES A VARIAS ALEACIONES*

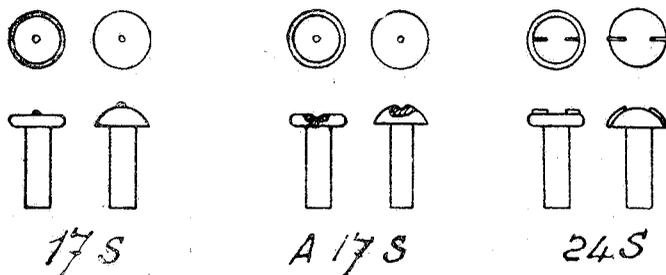


FIGURA 24

que por acción del agua de mar y neblinas marinas. Es particularmente susceptible de corrosión intercrystalina, de aquí la necesidad de medios de defensa, de los cuales el principal se cita a continuación.

**DURALUMINIO PLACADO (ALCLAD 17 S T).**

Uno de los más eficientes medios de defensa de la chapa de duraluminio contra la susceptibilidad corrosiva especialmente a la acción del agua y neblinas marinas, consiste en el recubrimiento con láminas de aluminio purísimo, cuyo espesor alcanza aproximadamente el 5 % del que corresponde a la chapa.



El aluminio defiende el material de base sea por aislación del medio corrosivo, sea por protección electrolítica dado su comportamiento anódico frente al duraluminio. Cabe destacar la gran importancia de este último factor por cuanto la protección es eficiente aún en los lugares adonde el recubrimiento se interrumpe por ejemplo en correspondencia de los remaches, etc.

El placado se realiza laminando juntos el duraluminio entre dos láminas de aluminio (fig. 25).

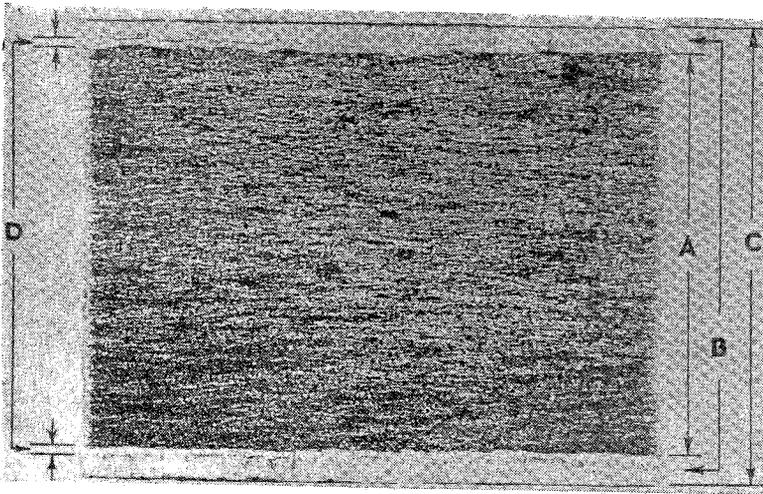


FIGURA 25

MICROGRAFIA DE ALCLAD 17 ST (DIX Y WILCOX)

C = 1.63 mm.      B = 0.09 mm.

Entre aluminio y duraluminio se forma una zona intermedia (D), en que los constituyentes solubles de este último, como ser  $\text{Cu Al}_2$ , magnesio, penetran en el aluminio puesto en íntimo contacto. Esta zona garantiza la más perfecta adherencia, pues las chapas así formadas constituyen un conjunto inseparable.

La ALCOA denomina Aleclad 17 S T a este producto, cuya carga de rotura sufre una reducción de un 10 % frente a la chapa de 17 S T.

## OTRAS ALEACIONES LIVIANAS A ELEVADA RESISTENCIA

El gran desarrollo de las aleaciones livianas a elevada resistencia, de las cuales no existe actualmente una clasificación generalizada ha llevado a incluir bajo la designación de **duraluminio**, **dural** o **super duraluminio** un gran número de aleaciones cuya composición oscila entre el siguiente margen

$$\begin{aligned} \text{Cu} &= 3 \text{ a } 5 \% \\ \text{Mg} &= 3.3 \text{ — } 2 \% \\ \text{Mn} &= 0.3 \text{ — } 1.5 \% \\ \text{Si} &= 0.2 \text{ — } 1.5 \% \end{aligned}$$

reservándose la designación de superduraluminio a aquellas que contienen cantidades sensibles de silicio. Este elemento en la aleación original se encontraba como impureza, no dosada, del aluminio.

A más de estas aleaciones se consideran a continuación algunas que particularmente se destacan por su difusión.

**ALEACION 25 S.** — Esta aleación que contiene aproximadamente

$$\text{Cu} = 4.5 \% \quad \text{Mn} = 0.8 \% \quad \text{y} \quad \text{Si} = 0.8 \%$$

fué puesta a punto en los laboratorios de la Alcoa desde 1919-20. La diferencia substancial con el duraluminio, es que este no contiene **Magnesio**, mientras contiene un tenor sensible de **Silicio**.

El propósito que animó a sus creadores era el de hallar una aleación de características mecánicas iguales al duraluminio, pero que no ofreciera las dificultades que este tiene para el forjado.

Como se ha dicho anteriormente, una de las dificultades mayores en la elaboración del duraluminio reside precisamente en la frecuencia de grietas que se producen en la deformación en caliente por el bajo alargamiento que caracteriza este material.

La aleación 25 S es especialmente indicada para piezas for-

gadas. Con esta se construyen **palas** de **hélices**, bielas para motores, etc.

Como el duraluminio, adquiere características inmejorables por tratamiento de solución. Por lo que se refiere al envejecimiento es preferido en esta aleación el **artificial**, a la temperatura de 144°, pues se consigue con este un aumento del 25 % de la carga de rotura con respecto al envejecimiento natural (ver tabla II).

Esta aleación es muy poco empleada bajo forma de chapa, por cuanto su moldeado en frío es mucho más difícil que el de la 17 S T. De otra parte el envejecimiento artificial, empleado para mejorar las características mecánicas produce en esta aleación una especial susceptibilidad a la corrosión intergranular que la pone en condición de inferioridad frente a la 17 S T, especialmente para flotadores de hidroaviones.

**ALEACION 24 S de la Alcoa.** — Esta aleación cuya composición química es la siguiente

Cu = 4.5 %      Mn = 0.6 %      Mg = 1.5 %

reemplaza ventajosamente el duraluminio (17 S T) en las formas que este material es empleado en la construcciones de aviones, es decir como chapas, planchuelas, perfilados, remaches, etc., debido a sus características mecánicas superiores (Ver tabla II).

Si bien es de mayor costo que el duraluminio, su difusión se debe a que las mejoradas características mecánicas permiten una reducción en el peso de las estructuras resistentes de los aviones.

El estampado de las chapas de la 24 S, a paridad de temperatura es más difícil que con la 17 S.

Mientras con la 17 S puede darse la forma conveniente, en muchos casos empleando el material inmediatamente después de templado, la 24 S exige ser trabajada en estado de **recocido**, para ser templadas recién al terminarse el moldeado.

Ambas aleaciones consiguen sus mejores características me-

cánicas y de resistencia a la corrosión después de templadas y envejecidas a temperatura ambiente.

En la 24 S se ha supeditado a la excelente resistencia mecánica toda otra consideración, así que también del punto de vista de la corrosión está expuesta como, o más que el duraluminio (17 S).

Para proteger las chapas se emplea el mismo medio que con aquel, es decir el placado: ALCLAD 24 S T.

Como en el caso anterior la disminución de resistencia puede apreciarse en un 10 %.

TABLA II. — En la tabla II se ha reunido la composición química, características mecánicas y físicas, como también el uso de algunas de las principales aleaciones de aluminio destinadas al forjado.

Se ha indicado en primer término las características del aluminio industrialmente puro, para que sirva de término de comparación respecto a las ventajas que con los elementos aliados pueden conseguirse.

En esta tabla también están citadas aleaciones que no han sido consideradas en el texto, por motivos de brevedad, pues de los datos incluidos en la misma se desprenden los principales usos y características.

CONDICIONES PARA EL TRATAMIENTO TERMICO  
DE ALGUNAS ALEACIONES LIVIANAS

DESIGNACION DE LA ALEACION	TRATAMIENTO DE SOLUCION		TRATAMIENTO DE PRECIPITACION	
	TEMPERATURA C°	ENFRIAMIENTO	TEMPERATURA	TIEMPO DE EN- VEJECIMIENTO
17 S	500° a 510°	Agua fría	Ordinaria	4 días
A 17 S	500° a 510°	Agua fría	Ordinaria	4 días
24 S	490° a 526°	Agua fría	Ordinaria	4 días
25 S	515° a 526°	Agua fría	140° a 146°	12 a 18 hs.
51 S	515° a 526°	Agua fría	158° a 162°	12 a 18 hs.
53 S	515° a 525°	Agua fría	158°	18 horas
			175°	8 horas

El calentamiento se realiza en baño de nitrato por una duración entre 10 y 60 minutos, dependiendo de la sección, de la masa y del espesor de la pieza. Es esencial no demorar entre la salida del horno y la inmersión en el agua.