

# Aerotecnia

## ¿Aluminio o acero?

*Aceros soldables de alta resistencia*

Por **RAFAEL CALVO**

*Teniente Coronel de Aviación*

Desde que Wilm puso de manifiesto la posibilidad de bonificar algunas aleaciones ligeras y alcanzar con ello cifras de resistencia insospechables, quedó la contienda planteada: ¿Aluminio o acero?; o más correctamente: ¿Aleaciones ligeras o aceros especiales?

Muchos han sido los vaivenes que la técnica constructiva aeronáutica ha tenido que sufrir por esta causa, unas veces debido a los avances que se producían en una u otra rama, y otras, tal vez las más, por el apasionamiento de los partidarios de una u otra bandera, que, desenfocando el problema, pretendían fundar escuelas absolutas de lo que no puede constituir otra cosa que ventajas en casos concretos, que desaparecen al variar las condiciones.

El coeficiente  $\frac{\text{carga de rotura}}{\text{peso específico}}$  ha desempeñado en esta contienda el papel principal, y puede asegurarse que el día en que las aleaciones ligeras lograron alcanzar una puntuación de 14,3, recibieron los aceros un rudo golpe en su prestigio aeronáutico.

El Duraluminio, con 40 kg./mm.<sup>2</sup> de carga de rotura (como alcanza con el tratamiento de bonificación) y un peso específico de 2,8, tiene un coeficiente

$$\frac{40}{2,8} = 14,3$$

mientras que un acero cromo-níquel templado y revenido en condiciones de tenacidad equivalente, alcanza 80 kg./mm.<sup>2</sup>, que para su peso específico 7,8 nos da un coeficiente

$$\frac{80}{7,8} = 10,25$$

francamente inferior.

Pronto, sin embargo, los aceros hubieron de encajar el golpe, y los 120 kg./mm.<sup>2</sup> con tenacidad aceptable fueron alegremente alcanzados en los aceros cromo-níquel-molibdeno, elevando el coeficiente a un valor

$$\frac{120}{7,8} = 15,4$$

y aunque las aleaciones ligeras continuaron sus avan-

ces, no pudieron ya rescatar la primacía, teniendo; hoy, frente al coeficiente

$$\frac{50}{2,8} = 17,8$$

ya alcanzado en aleaciones ligeras al níquel-titanio de muy alta resistencia, el valor

$$\frac{200}{7,8} = 25,7$$

que alcanzan algunos aceros al cromo-níquel-vanadio.

Hoy por hoy, el combate por el coeficiente de resistencia peso específico está indiscutiblemente ganado por el acero, y, por tanto, donde la alta resistencia es necesaria, el acero se impone, aun teniendo en cuenta el factor ligereza, tan necesario en las construcciones aerotécnicas.

Los frutos de esta victoria han sido, sin embargo, bien efímeros, y el acero puede, con razón, considerarse defraudado, pues el aluminio, ocultando su derrota metalúrgica, se impone hoy en toda la línea en la técnica constructiva aérea.

¿A qué es debido tal contrasentido? ¿Qué razones justifican que hoy, que demuestra el acero ser más resistente y ligero que las aleaciones llamadas ligeras de alta resistencia, se impongan éstas precisamente en un campo en el que la ligereza, unida a la resistencia, constituye el fundamental factor?

La causa de tal aparente contrasentido está, sencillamente, en que el problema ha cambiado de campo, pasando del metalúrgico al tecnológico. Desde que la construcción monocasco y alas con revestimientos rígidos se imponen en Aerotécnica, al exigir que los revestimientos adquieran un papel activo en la resistencia mecánica, diluyen ésta en la totalidad de la estructura, en lugar de concentrarla en los largueros o armaduras, como se realiza en los otros sistemas constructivos.

Esta difusión de la carga a toda la estructura, dá lugar a que, al calcular los elementos de ésta, la alta resistencia del acero nos condene a necesitar espesores tan sutiles que son inadecuados para una construcción. Las aleaciones ligeras, en cambio, precisamente por su

menor resistencia, nos obligan a mayores gruesos, con posibilidad real de utilización.

Una pieza metálica, a más de las dimensiones necesarias para resistir la carga que le está aplicada, requiere espesores mínimos que nos aseguren su rigidez para cargas locales y esfuerzos accidentales independientes de sus condiciones normales de trabajo. Un revestimiento de acero de 120 kg./mm.<sup>2</sup> de resistencia sería inutilizable si para aprovechar esta resistencia, con la carga que se le aplica, nos obliga a espesores del grueso de un papel, ya que si bien podía resistir la carga normal, este revestimiento será desgarrado por mil causas accidentales.

Esta es la situación actual de la Aerotécnica. Para las cargas actuales, los espesores que obtenemos con el acero son excesivamente reducidos para poderlos emplear, y, en cambio, aleaciones menos resistentes triunfan precisamente porque su menor resistencia nos obliga a espesores exentos de tales dificultades.

Para que el triunfo metalúrgico del acero tenga consecuencias en Aerotécnica, precisa que ésta avance a mayores cargas de las que hoy impone en las aeronaves.

Queda, no obstante, en situación aparentemente ventajosa el acero para sistemas constructivos de elementos de resistencia localizados.

De estos sistemas es, sin duda, el más interesante la construcción con tubo de acero soldado, que a la extraordinaria facilidad de construcción y entretenimiento del material une la gran simplicidad de utillaje y su economía. Todo ello hace de este sistema el más adecuado para países de industria pobre o naciente, ya que permite, por una parte, un montaje rápido de la industria, rápida preparación del obrero, que no requiere gran especialización, y, sobre todo, una preparación de la construcción sencilla, que permite reducir grandemente el defasaje entre la adopción del prototipo y la terminación del avión de serie, factor este de gran importancia en Aerotécnica, donde los modelos envejecen con rapidez y precisa evolución ágilmente si se quiere poseer una Aviación moderna y eficiente.

Pero utilizar tubo de acero de alta resistencia tiene graves dificultades si hay que soldar los nudos, pues para alcanzar las elevadas características del acero se requiere que éste haya sufrido tratamientos térmicos, los cuales serán destruidos en las partes soldadas por el calentamiento de la soldadura, quedando en esta zona el acero con las características de recocido.

Tan grave dificultad se ha procurado soslayarla tratando térmicamente las piezas después de efectuada la soldadura; pero esto, si bien es posible, y así se ejecuta, cuando se trata de piezas pequeñas no es posible realizarlo con fuselajes o alas enteras, o al menos reviste grandes dificultades.

Hay, pues, que resignarse a aceptar como características del acero las que le corresponden en estado de recocido, y en tales condiciones puede pensarse que su inferioridad con respecto al aluminio será manifiesta. No obstante lo expuesto, tal inferioridad no es tan grande como pueda parecer, pues si bien considerados los

elementos aislados, el coeficiente  $\frac{\text{resistencia}}{\text{peso específico}}$  es menor en el tubo de acero recocido que en las aleacio-

nes ligeras; las uniones por soldadura en aquél son mucho más ligeras que las que se realizan con los tubos de aleaciones de aluminio, que, no pudiendo soldarse con buenas garantías, precisa realizarlas mediante remachados a piezas de acero, que constituyen los nudos. Tal circunstancia eleva el coeficiente del conjunto en la construcción con tubo de acero, con respecto al de las aleaciones ligeras, y ello, unido a las indiscutibles ventajas de construcción, hacen que el sistema de construcción con tubos de acero unido por soldadura sea un sistema francamente interesante.

La construcción con tubo de acero, que se inició con aceros al carbono tipo F-3 de unos 40 a 50 kg./mm.<sup>2</sup> de resistencia en estado de recocido, fué prontamente mejorado con el empleo de aceros especiales, que elevan esta resistencia y permiten un mejor coeficiente de utilización.

Entre estos aceros, el cromo-molibdeno con 70 kg./mm.<sup>2</sup> de carga de rotura se ha extendido ampliamente, y su coeficiente

$$\frac{\text{Resistencia}}{\text{peso específico}} = \frac{70}{7,8} = 9$$

aunque inferior como valor absoluto al de las aleaciones ligeras (14,3), tenía suficiente compensación en el conjunto de un fuselaje o un ala por la ligereza de los nudos de unión efectuados por soldadura. No obstante, el empleo de los aceros Cr-Mo tiene graves dificultades y riesgos, especialmente en su soldadura.

Era ya un hecho conocido el que con frecuencia estos aceros aparecían, al ser forjados, con minúsculas grietas, que inutilizan el material. El estudio de las causas de estas grietas dió como resultado el descubrimiento del poder de absorción del nitrógeno que poseen estos aceros, absorción que se realiza en el acero líquido en contacto con el aire, durante su proceso de fabricación. El nitrógeno, produciendo en el acero cierto temple químico, determina la aparición de grietas en la zona nitrogenada, como consecuencia a su excesiva rigidez para resistir las tensiones de contracción durante el enfriamiento.

Por procedimientos adecuados de fabricación se consigue eliminar tal absorción de nitrógeno en la obtención del acero, lográndose piezas perfectamente sanas, y así los tubos de Cr-Mo pueden estar exentos de tal defecto. Pero al efectuar la soldadura de tales tubos mediante soplete oxi-acetilénico o por arco eléctrico, fundiéndose el metal en contacto con el aire, se provoca la absorción de nitrógeno en la soldadura, y con ello el peligro de grietas durante el enfriamiento.

De ahí las frecuentes grietas en las soldaduras de los tubos Cr-Mo, que pueden llegar a poner en peligro la seguridad de las uniones.

Varios han sido los remedios ideados para solventar tan grave inconveniente, siendo tal vez de los más interesantes el procedimiento de soldadura llamado arc-atom.

Consiste este procedimiento en el empleo de un soplete especial que, facilitando la máxima concentración del calor para reducir la zona sobrecalentada, realiza

la soldadura, impidiendo además el contacto con el nitrógeno del aire.

El soplete está constituido por dos electrodos 1 de

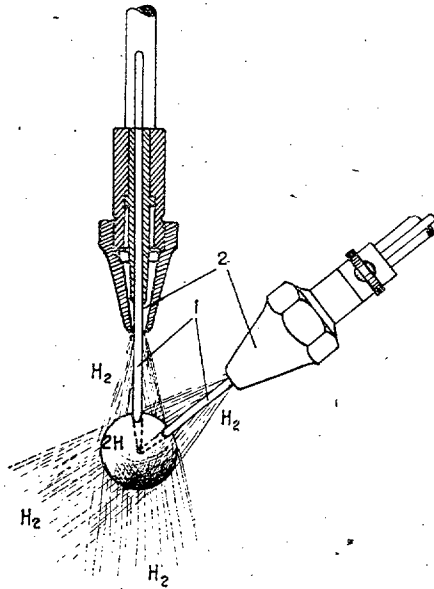


Fig. 1.

#### SOPLETE PARA SOLDADURA

1. Punta de tungsteno.—2. Orificio de paso del Hidrógeno.  
H<sub>2</sub> hidrógeno molecular, 2H hidrógeno atómico (zona más calorífica de la llama).

tungsteno, entre los que se establece un arco eléctrico (fig. 1). Estos electrodos van montados en dos boquillas 2, por cuyo interior se proyecta hidrógeno a presión, el cual, del estado molecular en que se halla, pasa al atómico, como consecuencia de la disociación de su molécula provocada por el arco, produciendo una fuerte absorción de calor, por ser la transformación endotérmica, debido a lo cual los electrodos se refrigeran.

El hidrógeno atómico, en contacto con el metal a soldar, recompone su molécula, y con ello reintegra el calor absorbido (reacción exotérmica), elevando considerablemente la temperatura en la zona de soldadura e impidiendo el contacto entre ésta y el aire, por lo que se evita la absorción del nitrógeno por el acero fundido. Este sistema, muy empleado hoy, proporciona soldaduras de acero Cr-Mo perfectamente sanas y exentas de las peligrosas grietas.

Existe, no obstante, otra dificultad en las soldaduras del Cr-Mo. Estos aceros, aunque perlíticos con enfriamiento lento, son capaces de templar a poco que crezca la velocidad de enfriamiento o la temperatura de calentamiento.

En la soldadura, la elevadísima temperatura que alcanza la zona colindante a la misma y lo reducido de la masa metálica (generalmente tubos de poco espesor), da lugar a que el enfriamiento al aire sea lo suficientemente rápido para provocar el temple en dichas zonas. Debido a ello se producen tensiones entre la zona templada y sus colaterales, las cuales pueden provocar deformaciones y hasta roturas en las uniones.

Tal peligro puede también evitarse calentando ampliamente la zona soldada hasta una temperatura de

unos 750°, y provocando así un fuerte revenido en la misma, que destruye el involuntario temple de la soldadura.

Todas estas dificultades de los aceros cromo-molibdeno han hecho pensar que, pese a sus buenas características, no son éstos los aceros ideales para la construcción en tubos soldables, ya que son muchas las precauciones que nos exigen y los peligros que encierran de no cumplirlas cuidadosamente.

Siendo la facilidad de temple uno de los peligros fundamentales de un acero soldable, la soldabilidad se mejorará reduciendo su tendencia a dicho temple. Ahora bien; para el temple, el carbono del acero desempeña el papel principal; luego para mejorar la soldabilidad habrá que proceder a reducir en lo posible la dosificación de carbono. Así, pues, la dosificación 0,25-0,35 por 100 que contienen los aceros Cr-Mo soldables, conviene reducirla a 0,12, a 0,15 por 100. Pero el carbono, a más de ser elemento fundamental de temple, lo es igualmente para la resistencia en estado de recocido; de ahí que al reducir su dosificación sea preciso adicionar otros cuerpos que, compensándonos la resistencia, no proporcionen al acero facultad de temple.

Un primer paso en tal sentido lo constituye la obtención de aceros soldables al cromo-manganeso-molibdeno, en el que la reducción del carbono se compensa con la adición de manganeso. Tal acero, con una resistencia de 65 a 70 kg./mm.<sup>2</sup>, es térmicamente inerte, no produciéndose el temible temple en las zonas sobrecalentadas y evitándose con ellos el peligro de roturas o grietas en la soldadura.

La técnica metalúrgica no se ha conformado, sin embargo, con tal éxito, sino que, persistiendo en el camino emprendido, ha tratado de elevar las características del acero, manteniendo la inercia térmica, que asegura la buena soldabilidad. Tal resultado ha podido ser alcanzado en el campo de los aceros al vanadio, basándose en la mejora de características que este elemento produce en los aceros a causa de su poder desoxidante y del afino de grano que provoca, y asimismo aprovechando la elevación de puntos críticos a que da lugar. Con ello se ha conseguido, sin actuar sobre el carbono, elevar la resistencia hasta 100 a 110 kg./mm.<sup>2</sup> después de efectuada la soldadura, y con perfecta seguridad de ésta por la inercia térmica que conserva el acero y que impide, tanto su sobrecalentamiento como su temple.

Tal acero, designado con el símbolo S. M. F. 2 Z. por 100, es patente de una conocida firma aeronáutica y constituye uno de los avances más interesantes en materia de aceros soldables de alta resistencia.

Su aplicación en Aerotecnia puede determinar un cambio radical en la técnica constructiva del porvenir.

En efecto: para el sistema constructivo de elementos de resistencia concentrados, la ventaja es indudable con tubos de tal acero soldados, ya que a la facilidad constructiva reúne mayor resistencia y ligereza. Si bien su coeficiente

$$\frac{110}{7,8} = 14,2$$

es análogo al de las aleaciones ligeras, el menor peso

de las uniones o nudos determina una mayor ligereza de conjunto.

Asimismo, en la construcción monocasco presenta tal acero ventajas sobre las aleaciones ligeras, pues debiendo en éstas realizar todas las uniones mediante remachados, muchas veces con grandes dificultades, la posibilidad de efectuarlas por soldadura, con el acero en cuestión no sólo facilitará la técnica operatoria, sino que aligerará la estructura, ya que el remachado, con la localización de esfuerzos, obliga a aumentos de espesores que equivalen aproximadamente a un 15 por 100 en peso, lo que no ocurre con la soldadura, en la que se reparte la resistencia a toda la línea de contacto. Sólo se precisa, para que tal posibilidad pase al campo de las realidades, el que por aumentar las cargas exigidas a las futuras aeronaves, permitan el empleo de estos aceros en espesores aceptables.

Resumiendo, podemos considerar que el problema de los aceros y aleaciones ligeras para empleo en construcciones aerotécnicas se halla hoy planteado en los siguientes términos:

Desde el punto de vista metalúrgico, el acero es superior en resistencia y ligereza a cualquiera de las aleaciones ligeras hoy conocidas si se emplean tratados térmicamente. Si por utilizarse el acero en piezas de soldadura, dificultades tecnológicas impiden su tratamiento térmico, su resistencia y ligereza son análogas a las que se obtienen con las aleaciones ligeras tratadas.

Desde el punto de vista constructivo, la fabricación en monocasco con revestimiento trabajando es la de máximo rendimiento técnico y hoy la más ampliamente acertada. Tiene, no obstante, los inconvenientes de dificultad de implantación por complicaciones técnicas

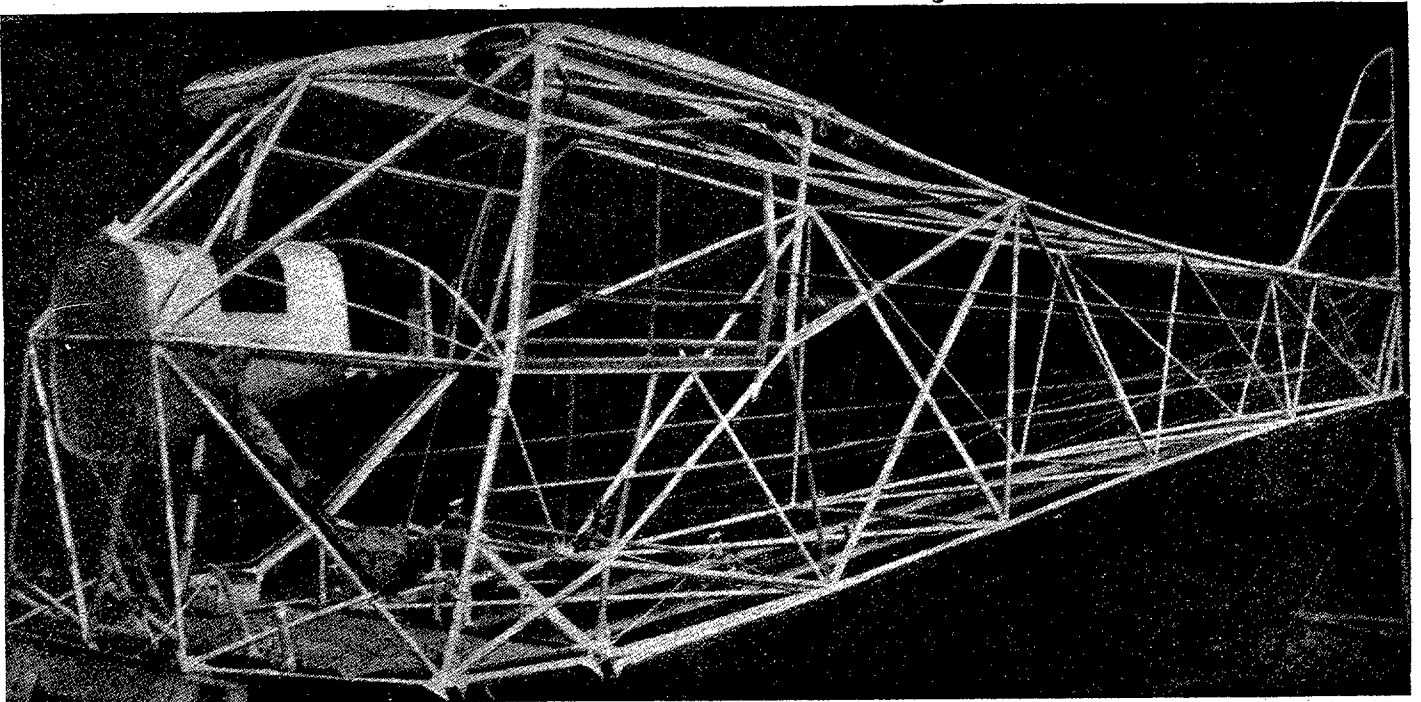
y necesidad de obreros especializados; carestía y complejidad de utillaje, lo que exige grandes series a construir si ha de ser económica; falta de agilidad evolutiva, si no se cuenta con una industria potente; finalmente, entretenimiento costoso, ya que se requieren abundantes repuestos.

La construcción tubular no es de rendimiento tan elevado como la anterior, pero presenta las siguientes ventajas: facilidad de implantación, sobriedad y economía de utillaje, con la consecuencia de posibilidad de menores series y mayor agilidad evolutiva; finalmente, fácil entretenimiento del material en que las reparaciones son improvisables sin requerir grandes repuestos.

En este último sistema, el empleo del acero soldable exalta todas sus ventajas, reduciendo al límite la dificultad constructiva y el entretenimiento del material. El rendimiento es mayor que en las aleaciones ligeras por su menor peso e igual resistencia.

En el sistema monocasco, la ventaja se halla actualmente del lado de las aleaciones ligeras; no obstante, el acero las aventaja por su posible empleo mediante soldadura; pero esta ventaja sólo podrá hacerse efectiva en el porvenir cuando la creciente exigencia de cargas permita llevar a una realidad el empleo de los aceros soldables de alta resistencia.

Tales consecuencias no pueden menos de ser halagüeñas para países como España, en los que a la carencia de primeras materias para aleaciones ligeras se une la existencia de minerales e industria siderúrgica que permite desarrollar fácilmente la fabricación de los aceros necesarios y para los que el estado naciente de su industria aeronáutica puede constituir una orientación a seguir.



UN EJEMPLO DE CONSTRUCCION EN TUBO DE ACERO

El tubo de acero soldado se presta perfectamente para construcciones ligeras. He aquí el esqueleto del fuselaje de una avioneta biplaza Taylorcraft B. C.-65, muy utilizada en Estados Unidos.