

Aerotecnia

CONSTRUCCIÓN METÁLICA

La corrosión

Por LEOPOLDO BRAGE

Comandante de Artillería de la Armada

HACE ya años los muy iniciados decían: «La Aviación será metálica o no será.»

No se equivocaron, y para ello pedían a los metalúrgicos que dotasen a la construcción aeronáutica de un material que reuniese con regularidad y duración, *ligereza y seguridad*.

Su apreciación estaba tan bien dirigida, que estamos asistiendo al desarrollo de la construcción metálica de un modo impresionante.

Poco a poco los otros materiales se han rarificado de una manera significativa, y se comprueba hoy el triunfo completo de la metalurgia en la Aeronáutica, que se traduce por la adquisición de la *seguridad* dentro de la *ligereza*.

La satisfacción de estos dos criterios *seguridad y ligereza*, que deben estar íntimamente asociados, confiere a las construcciones aeronáuticas dificultades particulares.

Un examen aislado del criterio *ligereza* nos conduce a recordar las densidades de los diferentes materiales empleados en Aeronáutica, obteniendo la clasificación siguiente:

MATERIALES	Densidad	Densidad con relación a la madera
1. Maderas.....	0,45	1
2. Aleación ligera a base de magnesio (tipo electrón).....	1,8	4
3. Aluminio.....	2,6	5,8
4. Aleación ligera a base de aluminio (tipo duraluminio).....	2,9	6,5
5. Acero.....	7,6	17

A igualdad de peso y todas las demás dimensiones iguales, los espesores, por ejemplo, se reducen:

- En la relación de: 1 a 17 para el acero.
 » 1 a 6,5 » duraluminio.
 » 1 a 5,8 » aluminio.
 » 1 a 4 » la aleación de magnesio.

La clasificación de los materiales debe sufrirla modificación siguiente si se considera la ligereza decreciente a igual resistencia o la resistencia por *unidad de densidad*.

MATERIALES	E.	R.	Resistencia por unidad de densidad
1. Aceros especiales de alta resistencia.....	140	170	22
2. Aleaciones ligeras de magnesio..	20	30	16
3. Aleaciones ligeras de alta resistencia	22	38	12,5
4. Aceros ordinarios al carbono... .	45	80	10,5

Si uno de los factores del progreso de la Aeronáutica es, sin duda alguna, el llegar a producir productos metalúrgicos quintaesenciados, se puede afirmar igualmente que las legítimas exigencias del material aéreo han suscitado investigaciones muy profundas que contribuyeron al progreso de la ciencia metalúrgica.

El dar una relación de todos los progresos efectuados en la rama metalúrgica con respecto a la Aviación sería objeto de una serie de artículos. Siendo la construcción metálica un hecho real ha dado lugar a multitud de problemas de orden técnico que le son peculiares, tanto en lo relativo a la obtención de materiales, como en lo que se refiere a su modo de trabajar.

Asunto de la mayor importancia es que las características de los materiales una vez obtenidas no tengan un carácter efímero. La seguridad no conservará su constancia más que si estas características por sí mismas las guardan también, si no de un modo indefinido, al menos por un tiempo bastante apreciable.

Ahora bien: estas características se alteran de una manera apreciable por la corrosión debida al medio en que trabajan los materiales.

Para dar una idea de este descenso, veamos lo que le pasa al duraluminio, uno cualquiera de los muchos que se han reconocido.

Unas probetas sometidas a la acción de una niebla de agua del mar efectuado en un aparato apropiado por espacio de doscientas treinta y seis horas efectuadas en treinta y tres días, dieron un promedio de características:

	Antes de la corrosión		Después de la corrosión	
	R Kgm. m ²	A %	R	A
Grupo I.....	39,03	19,96	35,6	9,5 %
Grupo II.....	38,88	17,38	38,10	12,5 »
Grupo III.....	43,88	17,66	38,5	8,3

Estos promedios son de 30 probetas para el grupo I y de 15 para los II y III respectivamente.

Luchar contra la corrosión es asegurar la conservación y por consecuencia la seguridad en la ligereza preliminarmente adquirida.

De los muchos problemas que dijimos que se presentaban en la construcción metálica, el de la corrosión es uno de los más importantes y constituye el objeto de este artículo.

En él analizaremos el problema de la corrosión en sus partes teórica y práctica aprovechando para ella los conocimientos adquiridos en el Laboratorio de los Talleres de Aeronáutica Naval de Barcelona, haciendo una cita, aunque sea a la ligera, de la aleación inglesa M. G. 7, que pertenece a los llamados duraluminio sin cobre; en otros trabajos citaré también algunos métodos de protección reconocidos como satisfactorios, como asimismo los métodos de reconocimiento empleados en estos Laboratorios y en otros del extranjero.

Presentación del problema

Pudiera creerse que proteger los materiales contra la corrosión consiste simplemente en recubrir su superficie de un revestimiento. No es esto, hay que tomar una serie de medidas que debe intervenir en las diferentes fases de la fabricación y utilización para asegurar al material una conservación suficientemente larga de sus cualidades mecánicas en contra de los agentes de alteración que las circunstancias pueden poner en contacto con él.

Bajo este aspecto el problema se complica. Un gran número de factores intervienen en efecto.

1.º Factores que se refieren al material en sí.

Elección juiciosa de los materiales empleados, su naturaleza, el cuidado que se ponga en su elaboración, las precauciones tomadas en el curso de sus manipulaciones, tratamientos especiales que se le hizo sufrir independientemente de los revestimientos superficiales de que se le haya recubierto. Precaución que haya tenido el constructor de hacer cómodo y fácil el entretenimiento para el utilizador, etc., etc.

2.º Factores refiriéndose a la naturaleza del servicio exigido al material.

Cada vez más los aparatos tienen que franquear los océanos, mares y continentes y que volar a alturas más elevadas; las temperaturas que tienen que soportar varían de 50 a 70 grados.

En el curso de sus viajes permanecen fondeados en los puertos cuyas aguas están más o menos pobladas de animales y algas marinas que se depositan en sus cascos.

Cuando están guardados en los hangares, manos mal dirigidas pueden, con el laudable deseo de entretenerlos, utilizar productos nocivos que provoquen lenta e insidiosamente su destrucción.

Por estas razones, la solución del problema no puede obtenerse más que penetrando en una serie de dominios técnicos y científicos que comprende desde el estudio de la colada de una pieza de fundición hasta la distribución de las algas marinas en las diferentes aguas del mar del mundo.

Análisis del mecanismo de la corrosión

Por muy diferentes autores se han ejecutado trabajos para tratar de conocer el mecanismo de la corrosión del agua del mar en las aleaciones que tienen relación con la Aeronáutica. El profesor Trallar, del Instituto Pasteur, estudió el caso particular de las aleaciones ligeras de aluminio puestas al contacto del agua del mar. Los resultados que obtuvo son iguales a los comprobados por nosotros en nuestros laboratorios y que son: el ataque se produce por picaduras locales, se desarrolla por una especie de pústulas, en las cuales el fondo es consistente y muy adherente y la superficie gelatinosa. La parte consistente presenta ejes de simetría muy claros. Pero en el análisis químico del producto de corrosión pudimos comprobar la presencia, no solamente de alúmina, sino de sales de cal, sodio y magnesio.

Si se desprende el depósito consistente, aparece la picadura del metal; parece que la pústula se alimenta aspirando el metal por esta picadura, y ésta se prolonga por fisuraciones intercrystalinas, lo que efectivamente pudimos comprobar por un estudio metalográfico.

De todos es conocido el peligro de las fisuraciones intercrystalinas cuando se trata de piezas que pueden tener que soportar esfuerzos alternados o sollicitaciones vibratorias.

El aspecto de las aleaciones ferrosas en contacto con el agua del mar, es muy diferente; la corrosión se extiende de una manera generalizada en toda su superficie; se comprueba, sin embargo, lo mismo que en las aleaciones ligeras, mucho más marcada la manifestación corrosiva en la línea de flotación.

Pares galvánicos debidos a las heterogeneidades locales de la pieza. — Los Sres. Legendre y Quillard, de la Comisión francesa contra la corrosión, tuvieron la idea de aplicar el método de los indicadores coloreados del P. H. para analizar los fenómenos.

Sumergieron piezas de aleación ligera en agua del mar, poniendo en evidencia de una manera muy clara la existencia alrededor de la pieza de una multitud de pequeñas acciones electroquímicas. Pares galvánicos aparecen entre las diferentes regiones de una pieza por consecuencia de las heterogeneidades locales. Estas heterogeneidades pueden tener su origen en composiciones químicas desigualmente repartidas en el seno de las aleaciones, o aparecer en el curso de los tratamientos sucesivos que la pieza sufre.

Otros investigadores hicieron estudios de importancia sobre esta cuestión, entre otros, los Sres. Prot y Aubert. Veamos algunos resultados de sus trabajos.

Llegan a valorar cuantitativamente las fuerzas electromotrices puestas en juego, llegando con sus estudios a perfeccionar y poner en práctica un dispositivo experimental que permite analizar la homogeneidad estructural de las aleaciones. Con él registran, en efecto, las variaciones en función del tiempo de las fuerzas electromotrices que se establecen cuando una barra del metal estudiado está puesta en contacto con el agua del mar en presencia de otro electrodo níquel muy puro. El diagrama obteni-

do, muy regular cuando se trata de un metal puro o aleación muy homogénea, es, por el contrario, muy agitado cuando se trata de las aleaciones ligeras empleadas en la construcción aeronáutica. En el primer caso, se puede medir, al cabo de cierto tiempo, una magnitud única bastante bien definida; en el segundo se estudian los múltiples episodios de la disolución de la aleación. Variando la naturaleza de la superficie en estudio, la concentración del electrolito varía igualmente fenómenos de polarización; interviniendo el diagrama, presenta oscilaciones que pueden ser del orden de 0,1 voltios.

Pusieron de manifiesto, en lo que concierne a las aleaciones ligeras, una doble heterogeneidad:

1.^a Heterogeneidad de pequeña escala, acusada por oscilaciones de corto período y que parece provenir de la diferencia de constitución de los diversos cristales del metal.

2.^a Heterogeneidad de gran escala, acusada por el valor medio del escalón en que se fija la fuerza electromotriz al cabo de cierto tiempo, que se debe a causas de conjunto y que interesa volúmenes grandes con relación a las dimensiones de los cristales. Tan es así, que la fuerza electromotriz de un duraluminio templado alcanza un escalón comprendido entre 0,22 y 0,25 voltios al cabo de treinta horas treinta minutos de ataque, mientras que el de uno recocido está comprendido entre 0,32 y 0,39 voltios en menos de una hora.

Luego, si las diferentes partes de una plancha no tienen la misma historia técnica, ellas son eléctricamente heterogéneas, y constituyen por consecuencia pares capaces de favorecer en alto grado la corrosión.

Pares provocados por las diferencias de aireación del medio ambiente. — Haciendo aplicación de las ideas emitidas por Evans en el año 1924, se llegó al conocimiento de otro género de pares electroquímicos que se desarrollan alrededor de toda pieza metálica que se sumerge en un electrolito en general y en el agua del mar en particular; estos son los pares de aireación diferencial.

Estos pares no provienen de heterogeneidades del metal por sí mismo, sino únicamente de las que se manifiestan en el medio ambiente. El agua del mar es una solución salina aireada; la concentración de oxígeno en las diferentes capas del líquido no es la misma. La difusión del oxígeno, haciéndose a partir de la superficie la concentración del oxígeno no disuelto, es mayor en la proximidad de la línea de flotación que en la profundidad.

Como está demostrado, la disposición de las piezas en los baños ejerce su influencia sobre la desigual repartición de oxígeno en el seno del líquido; lo mismo que para una plancha dispuesta oblicuamente en un baño la cara superior está más aireada que la inferior. Se concibe, pues, que toda arista viva, toda punta saliente en la forma de las piezas provoque una discontinuidad en la repartición de la concentración en oxígeno. Por otra parte, la agitación del medio, la cantidad de luz son otros factores que modifican esta repartición de la concentración.

Por medidas cuantitativas efectuadas resulta que las fuerzas electromotrices puestas en juego son del orden de 0,4 voltios.

Acciones electrolíticas derivadas. — Sería hacerse una idea inexacta de los fenómenos el pensar que no hay otras causas que creen fuerzas electromotrices de corrosión. Hay otras ciertamente, pero su importancia es menor.

La presencia de un metal de naturaleza diferente en las proximidades de la pieza, determina una revolución en esta multitud de pequeñas fuerzas electromotrices infinitesimales; una verdadera corriente eléctrica se establece entonces entre las piezas, deriva las acciones electrolíticas más débiles y los modifica la dirección. De aquí la idea de la posibilidad de obtener autoprotección disponiendo en la proximidad de las piezas, cuya protección se quiere asegurar, elementos de metal menos noble; las acciones electrolíticas derivadas así provocadas determinan la destrucción progresiva del elemento de adición, pero aseguran a la pieza una protección eficaz.

El problema de hacer uniones mixtas es interesante para los constructores, estando en la actualidad en espera de resultados de unas uniones de esta naturaleza efectuada por nosotros.

También tenemos en curso de ensayo, un estudio sobre el comportamiento de planchas de duraluminio remachadas con remaches previamente cadminados, así como de la acción de planchetas de cinc fijadas sobre las uniones de planchas de dural. No podemos dar datos sobre su comportamiento, pero por los resultados obtenidos en otros países, parece ser que aseguran una protección eficaz.

De una manera general podemos decir que el estudio de las acciones electrolíticas derivadas merece una atención especial, pues nos podemos imaginar que alrededor de un casco o de un flotador que tenga que permanecer mucho tiempo fondeado podremos, por medio de unos flotadores de corcho, por ejemplo, rodearlo de un cinturón de pequeñas placas de cinc en las proximidades de la línea de flotación.

Autoprotección de las aleaciones. — Por lo anteriormente expuesto, vemos que lo primero que hay que buscar en los productos metalúrgicos destinados a resistir la corrosión del agua del mar es la homogeneidad en su constitución. Prácticamente, una pieza de níquel puro puede estar indefinidamente sumergida en agua del mar, aun con concentraciones irregulares de oxígeno, y no alterarse cualquiera que sea su forma y estado de pulido; sucede lo mismo, quizá un poco por razón de las pequeñas impurezas que pueda contener, con algunas aleaciones de níquel y aun con ciertos aceros inoxidable auténticos (aceros con 18 por 100 de cromo y 8 por 100 de níquel).

El tratar de obtener un metal base inalterable y completamente autoprotegido no es, pues, una utopía; pero cuando se trata de metales como el aluminio y el hierro, que es muy difícil obtener industrialmente en estado puro, la producción de aleaciones inalterables no es muy fácil. Se sabe que cuando se trata de metales base que contienen impurezas nos encontramos en el momento de la solidificación con los fenómenos de segregación, concentrándose las impurezas en las partes del metal que permanecen líquidas las últimas; de esto provienen heterogeneidades iniciales que son las causas primeras de la corrosión.

En el mismo orden de ideas no es posible elaborar aleaciones anticorrosibles, si los elementos principales encierran inclusiones; investigaciones metalográficas nos muestran que la propagación de las fisuraciones de corrosión, lo mismo que las de fatiga, se hacen siempre a partir de un punto inicial correspondiente a una inclusión. Si se quiere, pues, tener resistencia a la corrosión es necesario ante todo, la producción de lingotes sanos exentos de toda inclusión y conteniendo el mínimo de impurezas, teniendo todos el convencimiento de que la diferencia desde el punto de vista corrosivo que a veces se aprecia entre dos aleaciones de composición química idéntica, es debido única y exclusivamente a los cuidados puestos en su elaboración, condiciones de enfriamiento del lingote, pureza de los elementos constitutivos.

En trabajos efectuados por diversos autores, entre otros M. Hercog, resalta la idea directriz de introducir en las aleaciones constituyentes tales que si los pares electroquímicos se producen sean inmediatamente polarizados. La existencia del efecto EVANS nos hace pensar en efecto que se podrían obtener productos inalterables al mar incorporando constituyentes capaces de fijar o destruir en su superficie el compuesto H_2O_2 ; es, en efecto, la formación del agua oxigenada acusada por las experiencias de Hercog, la cual por su formación continua impide a los pequeños elementos de la pila polarizarse. Los ensayos efectuados en aleaciones conteniendo adiciones de níquel y de níquel y cinc son bastante prometedores.

Por nosotros ha sido reconocida una aleación inglesa presentada bajo el nombre de M. G. 7; es una aleación al magnesio sometida a la prueba de corrosión en el aparato que para este fin contamos en nuestro Laboratorio; pudimos comprobar que al cabo de ciento diez y ocho horas efectuadas en veintinueve días los cambios de características fueron de $R = 40,6$ kilogramos por milímetro y $A\%$ = 9 antes de la corrosión a $R = 38$ kilogramos por milímetro $A\%$ = 6 después; su aspecto no era malo, pero debemos observar, que si bien la pérdida de características es pequeña, sobre todo comparada con la del duraluminio, sus características iniciales, sobre todo el alargamiento, son pequeños de nacimiento.

Posteriormente llegó a mis manos una información sobre esta aleación publicada por la revista *The Aeroplane*; en ella nos hace un estudio de la mencionada aleación hablándonos en términos altamente beneficiosos para ella, diciéndonos que es aluminio combinado con magnesio y manganeso de un peso específico de 2,63 y no dan el resultado después de cien días de exposición al agua del mar. Los resultados obtenidos los presentan comparativamente con el duraluminio y el *Alclad*, llegando a las mismas conclusiones que nosotros. Al tratar de hacerle una prueba de plegado no lo cumplió.

Otro asunto que hay que tener en cuenta es que partiendo de un metal base muy homogéneo y por consecuencia inalterable se puede llegar a productos heterogéneos y por consecuencia alterarse con el tiempo. La heterogeneidad puede aparecer al forjar, laminar o en los tratamientos térmicos.

Faltas cometidas en alguna de las operaciones dichas

tienen una importancia grandísima; en los tratamientos térmicos ocurre que el material se oxida creando una *ampolla* y al efectuar el laminado éste se aplasta, pero sin soldar el resto de la plancha; esto, según pudimos comprobar en planchas que presentaban este defecto, son unos puntos débiles a la corrosión que hacen bajar las características de una manera extraordinaria, debiendo darse por inútil el material que presente este defecto.

Es interesante anotar que lo que se pide a un material no es sólo que él por sí y bajo una de las formas que se pueden presentar para su utilización (planchas, barras y remaches) sea homogéneo y resistente al agua del mar. Es necesario que los constructores cuenten con material capaz de unirse sin formar un conjunto heterogéneo, heterogeneidad que ya dijimos que podría provenir aun partiendo de un mismo metal base de las operaciones y tratamientos necesarios para darle a cada uno su forma.

Por esto es necesario efectuar las pruebas no sólo sobre planchas y probetas, sino sobre conjuntos en que intervenga el material bajo diversas formas y poder juzgar de su actitud al remachado, embutido etc., etc., es decir, a todas las manipulaciones a que tiene que someterlo el constructor. La descripción de éste y métodos de ensayo será objeto de trabajos sucesivos.

ENSAYOS DE HIDROAVIONES

Acaba de ser puesto en servicio el túnel hidrodinámico N. A. C. A., canal destinado a ensayos de hidroaviones. Los experimentos reseñados en el último informe del citado organismo presentan real interés, y de ellos vamos a dar una sucinta idea.

Efectos de los factores forma y dimensiones del casco en el despegue de los hidros. — Las formas de las canoas de hidro varían con los constructores y con los diversos países. En general, pueden reducirse a cinco tipos perfectamente diferentes, cuyos rendimientos lo son también en grado sumo.

Los ensayos efectuados con modelos de todos estos tipos han permitido determinar en ellos, no solamente la resistencia al deslizamiento en el agua, sino la inclinación adoptada y el chorro de agua proyectado. Este chorro o chorros presentan una importancia especial, pues si se proyectan hacia adentro, pueden estropear las hélices, y si hacia arriba, atacan la superficie de las alas, aumentando la resistencia. Se ha logrado eliminar, dividir o desviar estos chorros de agua, colocando nervios longitudinales en los cascos o flotadores, formando ángulos agudos con la quilla. Estos nervios actúan como deflectores sin aumentar sensiblemente la resistencia.

Después de seleccionar el tipo de canoa que arrojaba mejores resultados, se le colocaron nervios o costillas de diversos anchos e inclinaciones, observando los resultados. Parece ser que los mejores son los obtenidos con nervios anchos de escasa altura y formando ángulos muy agudos con la dirección de la marcha.

Los flotadores de los hidros que llevan dos gemelos, serán objeto de una serie especial de ensayos.