

El berilio como material en la construcción aeronáutica

Por el Dr. J. VÁZQUEZ-GARRIGA

Licenciado en Ciencias

POCOS metales presentan unas características tan llamativas para la construcción aeronáutica como este nuevo metal, el más ligero de todos los metales (1); nuevo a pesar de haber sido descubierto por Wöhler y Bussy ya en 1828, fecha próxima a la del descubrimiento del aluminio (1827). Lo poco frecuentes que a primera vista parecen los depósitos de berilio en la corteza terrestre, las grandes dificultades técnicas que presenta la electrometalurgia del berilio, las particularísimas propiedades mecánicas de este metal y, más que esto, el conservadurismo del espíritu que tiende a tomar con frialdad y recelo toda innovación, han hecho que, ante los primeros tropiezos, los constructores hayan dejado de pensar en las enormes ventajas que se conseguirían con la aplicación de este metal y sus aleaciones a la construcción de células y motores de Aviación, así como para la realización de dirigibles totalmente metálicos.

Muchos técnicos, reconociendo la «calidad aeronáutica» de este metal, prescinden de la idea de su empleo en la construcción aeronáutica a causa de tres razones: dificultades en la metalurgia del berilio (que se traducen en su cotización a precio de metal precioso); la rareza de sus minerales (que evitaría que este precio pudiera descender vertiginosamente como ocurrió con el aluminio), y, por último, las particulares propiedades mecánicas de este metal, rebelde a los tratamientos usuales en la construcción. En efecto, el Ministerio del Aire inglés (2) compró en Alemania hace algún tiempo, pues en Inglaterra todavía no se produce, una buena cantidad de berilio para estudiar sus aplicaciones, especialmente por lo que se refiere a su utilización en la fabricación de motores. Los técnicos ingleses exteriorizaron su opinión en sentido negativo, basándose en motivos que coinciden en esencia con las razones antes citadas. En Alemania se le llama a este cuerpo «metal del porvenir», indicando así que no hay que pensar en una aplicación inmediata de este material a la construcción mecánica, pero lo cierto es que la Siemens & Halske A. G. viene produciendo a modo de ensayo 2.000 kilogramos anuales de berilio. Norteamérica, por su parte, produce también, a título de ensayo industrial, una cantidad ligeramente superior por año a la obtenida en Alemania.

Ahora bien, las causas que se oponen a que con la industrialización del berilio ocurra algo análogo a lo ocurrido con la del aluminio, son más aparentes que reales. Para la obtención técnicoexperimental del berilio se siguen en la actualidad dos procedimientos: uno de reducción, con el cual se obtiene el metal en forma

pulverulenta, siendo después necesaria una fusión por un proceso especial para obtener los lingotes, y otro de electrolisis a elevada temperatura, que proporciona directamente lingotes de dos a cinco kilogramos de peso.

El procedimiento de mejores resultados es en esencia el siguiente: A base del mineral de partida (berilio común $[6\text{SiO}_2, \text{Al}_2\text{O}_3, 3\text{BeO}]$) se prepara el oxifluoruro de berilio por tostación del mineral a 650-700 grados centígrados con un peso igual de silicofluoruro de sodio, y una vez conseguido esto se obtiene el berilio en un horno eléctrico, en el cual el crisol de grafito Acheson constituye el ánodo, y un tubo de hierro, refrigerado por agua circulante, el cátodo, mientras que el electrolito consiste en una mezcla de fluoruro de bario y oxifluoruro de berilio, fundida a 1.380 grados centígrados. La exacta proporción de las dos sales que forman el electrolito ha sido objeto de cuidadosas investigaciones, porque se ha reconocido que de ella depende mucho la buena marcha del proceso. El objeto del fluoruro de bario es facilitar la fusión e impedir la oxidación del metal que se deposita en el cátodo. Por este procedimiento se obtienen grandes barras de metal bastante puro (1). En general, los detalles de este procedimiento de obtención son en todo análogos a los de la obtención electrolítica del aluminio, y, por tanto, no deberían presentar grandes dificultades prácticas, pero es que en este caso en el electrolito existen sustancias altamente corrosivas y la temperatura de la operación es elevadísima, lo cual conduce a un rápido desgaste del aparato de producción. Las dificultades del método de reducción están relacionadas con su bajo rendimiento y la imposibilidad de efectuar la fusión en barras sin sufrir una considerable merma.

Estos inconvenientes, no insuperables en el estado actual de la ciencia, no son de la suficiente magnitud para impedir la industrialización del nuevo material.

Pasemos ahora a la cuestión de la «rareza» de la materia prima necesaria para la obtención de este metal: los minerales de berilio. Del estudio geoquímico de la corteza terrestre (2) se deduce que el berilio existe en la misma en cantidades del orden de 10^{14} a 10^{15} toneladas, siendo, por tanto, más abundante que el estaño, cobalto, cinc, plomo y bismuto. El hierro y el aluminio, que son los metales más abundantes de la corteza terrestre (aluminio, 7,4 por 100, y hierro, 4,2 por 100 del peso total de la corteza), existen en la misma en cantidades del orden de 10^{17} a 10^{18} . Como se ve, la cifra absoluta del contenido en berilio no es baja, pero a esto hay que añadir que esta cifra está llamada a sufrir una considerable corrección en

(1) El litio, sodio y potasio son más ligeros, pero no son aptos como materiales de construcción.

(2) Véase C. G. Grey. — «On the future of air-cooled engines». *The Aero-plane*, 45, páginas 1084-1086 (1933).

(1) Las barras contienen un 90 por 100 de Be. Estas barras se tratan por fusión con mezclas de cloruros alcalinos y alcalinotérreos, y entonces se obtiene el metal con una pureza de 99,5 por 100.

(2) V. I. Vernadskii. — *Ocherki Geofimii*. Moscú, 1927.

el sentido del aumento. Estos datos geoquímicos se basan en el resultado de varios millares de análisis (1) realizados antes del año 1918, y aunque entonces ya era bastante conocida la química analítica del berilio, es tal la dificultad que ofrecía y aun ofrece la determinación de pequeñas cantidades de este elemento, que, naturalmente, la mayoría de los análisis de minerales y rocas eran y todavía son defectuosos por la omisión parcial o absoluta de su contenido en berilio.

Ahora bien, esta enorme cantidad del nuevo metal no tendría importancia alguna práctica en el caso de hallarse sumamente dispersa. Esto es lo que suponen algunos. Sin embargo, existen bastantes concentraciones que con toda propiedad pueden ser llamadas yacimientos. De éstas son bien conocidas las existentes en Madagascar, Australia Occidental, Manitoba, Montes Urales, Colombia, Brasil, Montañas Rocosas, Francia (Limoges), Alemania (Bodenmais, Ehrenfriedendorf, Schlaggenwald) y otros. En España se ha citado la presencia de berilio común en muchas localidades: Santiago, Gredos, Ponferrada, Miraflores de la Sierra, etc., y se ha denunciado un yacimiento en la provincia de Pontevedra cerca de la capital (2).

Pero estos yacimientos, y otros que pudieran ser hallados, con no ser despreciables (de alguno de ellos salen los materiales para la producción actual), no tienen la importancia de las concentraciones de óxido de berilio que existen en ciertas rocas fuertemente básicas.

Un estudio analítico detenido sobre las rocas eruptivas demuestra que todas contienen BeO por lo menos en indicios, pero las rocas eruptivas fuertemente básicas con un contenido en sílice (SiO₂) que oscila de 30 a 7 por 100 del peso, tienen en su composición una cantidad de óxido de berilio (BeO) de 1 a 6 por 100, y aun más en algunos casos. Esto ocurre, en efecto, con algunos ejemplares recogidos en Kragerö (Noruega), Denver (Colorado), en la cuenca del río Ponoí (península de Kola), y cerca de Bogoslofsk (Montes Urales). De estas rocas existen en los citados puntos muchos millones de toneladas. Ahora bien, la puesta a punto de un procedimiento minero industrial para extraer de estas rocas el BeO, de forma análoga a como se hace con el oro en el Sur de África, sería costosísima e inaplicable si no concurriese la feliz circunstancia de que estas rocas contienen al mismo tiempo una considerable cantidad de otros elementos de gran importancia industrial y no muy abundantes en forma de minerales definidos, como titanio (de 8 a 20 por 100), circonio (de 0,02 a 2 por 100), vanadio (de 0,03 a 4 por 100), níquel (de 0,1 a 5 por 100), cobalto (de 0,08 a 1 por 100), uranio, fluor, cromo, bario, estroncio, cinc, etc. El beneficio combinado de estos elementos abarataría lo suficiente la obtención industrial de los mismos. Claro es que de momento no es necesario recurrir a tal expediente, pues bastan y sobran las cantidades de berilio concentradas en forma de minerales cuya existencia es conocida.

Queda, por último, el punto referente a las particulari-

simas propiedades mecánicas de este metal. Estas propiedades, que son las que precisamente le dan a este material su calidad aeronáutica: peso específico bajísimo (1,7), elevado punto de fusión (1.285 grados centígrados), extremada dureza (índice Brinell, alrededor de 300), elevadísimo módulo de elasticidad (32.000, cuando el de los mejores aceros no pasa de 22.000), hacen naturalmente que los métodos de trabajo inventados para otros materiales usuales (aceros, bronce, metales ligeros corrientes, etc.) no sean directamente aplicables al tratamiento de este metal. Así, por ejemplo, en los primeros tiempos todas las muestras de berilio metálico que se obtenían poseían una resiliencia extremadamente baja. Ahora bien, la resiliencia del metal obtenido actualmente en Alemania y Norteamérica cae dentro de los límites exigibles a los materiales metálicos empleados en la construcción mecánica. Esto nos indica bien claramente que se trataba de un defecto tan sólo imputable al desconocimiento de su correcta elaboración metalúrgica. Lo mismo sucede con otras características. Es comprensible que esto ocurra; la preocupación sería por este material data apenas de un decenio. Del acero tiene en cambio el hombre una experiencia milenaria y, sin embargo, los aceros de máximas características, de los cuales, con razón, está orgullosa la técnica europea, no se han conseguido hasta fechas relativamente muy recientes.

El berilio puro es un metal blanco, dúctil, inatacable por el agua a todas las temperaturas, que cristaliza en el sistema exagonal, cuyo peso específico es 1,7 y punto de fusión 1.285 grados centígrados. Compresibilidad a 25 grados centígrados, 0,927. Calor específico del metal amorfo a 100 grados centígrados, 0,651. Calor de fusión, 345,5 calorías. Resistencia específica a 20 grados centígrados, 6,8 microhmios. Susceptibilidad magnética a 15 grados centígrados + 0,79. Las constantes reticulares del cristal elemental son $a = 2,2680 \text{ \AA}$ y $c = 3,5942 \text{ \AA}$. Las rayas más sensibles en el arco de carbono son 2.348,62, 3.130,42 y 3.131,06 \AA . Espectrográficamente se puede determinar 0,0001 por 100 de BeO en Al₂O₃.

El berilio ya se utiliza actualmente como material de construcción aeronáutica, aun cuando en pequeñísimas cantidades, pues algunos cojinetes de motores de Aviación son de bronce de berilio (cobre con una cantidad que oscila entre el 1 y 3 por 100 de berilio). La especial ventaja de esta aleación es de ser extremadamente resistente al rozamiento y a la fatiga, debida a la influencia de vibraciones o fuertes oscilaciones. También comienzan a utilizarse en la construcción de motores los aceros al berilio. Son generalmente aceros al cromo-níquel (con un contenido que oscila entre 7 y 36 por 100 de níquel y 20 a 1 por 100 de cromo), y en cuya composición entra el berilio en cantidades de 1 a 2 por 100. Se caracterizan por su gran dureza y resistencia a la fatiga.

Ante las enormes ventajas que se derivarían de unos motores de elevadísima potencia y reducidísimo peso y de unas células extremadamente resistentes y ligeras, merecería la pena dedicar un poco de actividad investigadora y esfuerzo económico al estudio metalúrgico de este material.

(1) Un buen número de estos análisis se hallan reunidos en la obra de Frank Wigglesworth Clarke: *The data of Geochemistry*. Washington, 1924.

(2) En el Museo de Ciencias Naturales (Hipódromo), existen unos magníficos ejemplares de berilio común procedentes de este punto.