

# Aerotecnia

## Conceptos de economía de determinados aceros especiales en la construcción motorística aeronáutica

Por T. MOYANO

Teniente Coronel  
Ingeniero aeronáutico

### CONSIDERACIONES BASICAS

En la concepción estructural de una construcción de aeronáutica tal como es un motor, y en el proyecto de sus elementos vitales, entra como primordial factor la consideración de los materiales que van a ser utilizados. Hasta ahora puede decirse que los dos aspectos que se examinaban al elegir materiales de construcción motorística aeronáutica eran los siguientes:

1.º Características físicas y mecánicas de los materiales en relación a las sollicitaciones que han de sufrir los elementos contruídos con ellos en el funcionamiento del motor.

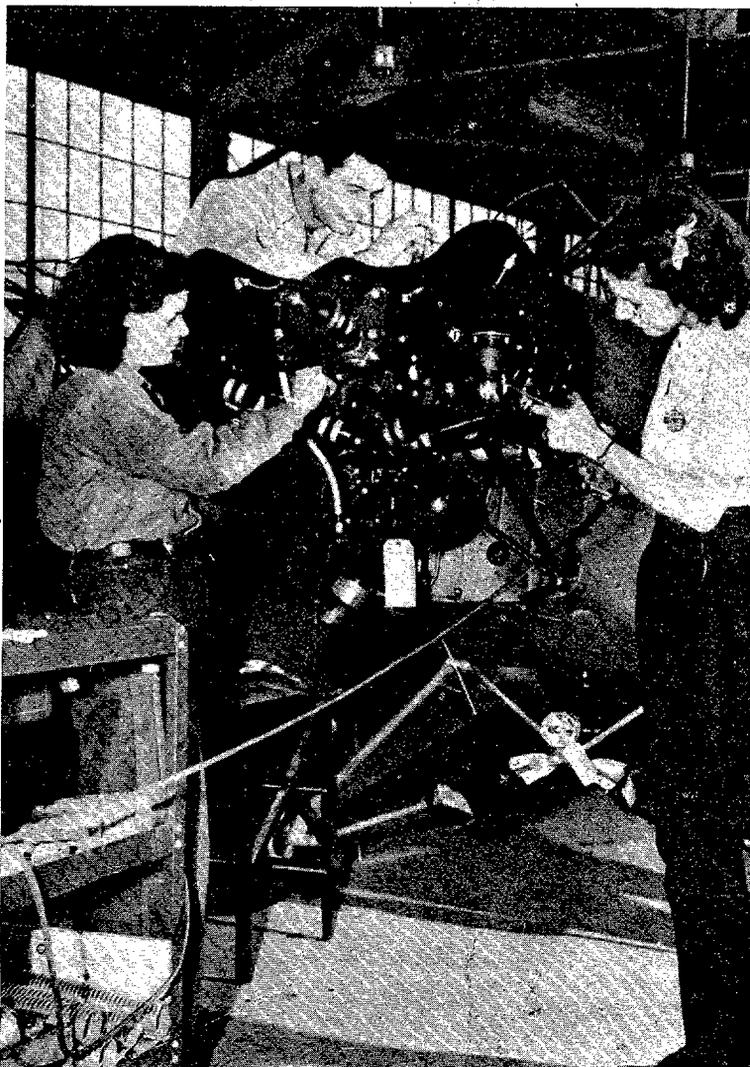
2.º Posibilidad de obtención de las piezas con sus debidas características finales mediante tratamientos térmicos y mecánicos viables, y en general, mediante adecuados procesos de fabricación.

Con este criterio de elección de materiales y con la libre disponibilidad, en la mayoría de las circunstancias de los recursos minerales del mundo entero, el proyectista y el realizador elegían y utilizaban los aceros especiales, las aleaciones ligeras y ultraligeras y los broncees necesarios, que les permitían dibujar y dimensionar las piezas para que los motores ofrecieran las características geométricas y de funcionamiento requeridas. Y precisamente debido a esta posibilidad de obtener los materiales necesarios y debido al mejoramiento de los procedimientos de cálculo, ha podido llegarse velozmente a las altas cifras de características, por cuanto se refiere a elevadas potencias máximas, mínimo volumen y sección frontal y horas de vida como consecuencia de mínimos desgastes, etc.

Así, por ejemplo, en la exigencia de mayor relación de peso por caballo, o sea en la exigencia de la ligereza del motor, es preciso llegar a la utilización de aceros especiales de altas características de resistencia (en su empleo en cigüeñales, bielas, platos de levas, engranajes, etc.) y a un largo empleo de aleaciones ligeras especiales de aluminio y de magnesio, que permiten el aligeramiento de las partes menos sollicitadas. Se requiere asimismo un trazado de cada elemento vital del motor, tal que permita alcanzar, compatiblemente con la seguridad, el peso más limitado posible (con eliminación del material superfluo o que

trabaja poco, nervios de refuerzo de las piezas aligeradas, etc.).

Existe, pues, indudablemente, desde el punto de vista proyectista y constructivo, y por cuanto se refiere a la elevación sucesiva de características de funcionamiento, la tendencia a la elección para cada elemento del motor de materiales que tengan características mecánicas y de calidad constantemente mejorada, como son, por ejemplo, los aceros austeníticos, los aceros nitrurados, los cojinetes de granos duros sobre materia blanda, las válvulas estilizadas, etc. Y consecuen-



te con esta tendencia, el delicado trabajo de tales materiales y sus tratamientos térmicos requiere una especialización industrial y unas adecuadas instalaciones, así como la más rigurosa verificación de lo realizado, relacionada ésta con las solicitaciones de los elementos y la precisión de los montajes.

Ahora bien: la gestación y el desarrollo del conflicto actual, con el necesario aumento de producción, por una parte, y por otra, la reducción del comercio internacional, muy especialmente de metales y materiales de altísimo interés para la defensa nacional, han puesto de actualidad, con la crudeza de imperiosa exigencia, la necesidad de poner límites a la libre utilización de materias en la construcción aeronáutica; y consecuentemente con ello, el interés que en determinadas naciones representaba ya hace años la orientación en cierto modo autárquica de los aprovisionamientos de materiales se ha agudizado y extendido universalmente a todas las técnicas de construcción.

Es decir, que constituye lo que puede llamarse genéricamente **aprovisionamiento de materiales a disposición del proyectista y del constructor**, un factor también de importancia primordial y en cierto modo preponderante en la realización y en el fruto obtenido de la Técnica aeronáutica aplicada. Este concepto de la importancia del aprovisionamiento lleva por una parte a un esfuerzo de investigación metalúrgica, exponente de la cual es la creación de Institutos o Centros experimentales de metales, entre los que puede citarse, a modo de ejemplo, el de metales ligeros de Milán. Su objeto, entre otros, es el estudio metódico de las características de los metales y sus aleaciones, tanto desde el punto de vista puramente científico, como del tecnológico y el de aplicación; impulsar el desarrollo de nuevos metales y aleaciones y la aplicación de ellos en la construcción, previo el estudio y experimentación de perfeccionados procedimientos de trabajo, y la formación de los técnicos en el campo experimental y de aplicación de los metales ligeros y sus aleaciones.

Por otra parte, es asimismo de alta significación la necesidad sentida en las industrias motorísticas de encauzar su actividad de adquisiciones y aprovisionamientos bajo la dirección de un verdadero técnico metalúrgico, capaz de orientar y resolver los complejos problemas de la coordinación con las industrias de materias primas y semimanufacturadas y de tutelar sus esfuerzos, al fin de adaptar sus posibilidades a la exigencia de la construcción aeronáutica. Técnico cuyo esfuerzo ha de ser muy principalmente dirigido a resolver el problema de la disposición de materiales con el sentido de la auténtica realidad metalúrgica, de la capacidad nacional adquisitiva e industrial.

Únicamente podrá proceder con verdadero concepto de responsabilidad y con la flexibilidad de criterio necesaria para tomar la decisión de admitir, por ejemplo, una sustitución de composición del acero o de una modificación de características a obtener en una aleación, así como admitir con técnica tolerancia defectos y terminación de piezas semimanufacturadas y de orientar en definitiva el aprovisionamiento, quien teniendo una sólida formación metalúrgica y motorística esté en condiciones de llevar a feliz término la compaginación de las exigencias de la técnica proyectista y realizadora con las posibilidades industriales.

## CONCEPTOS DE EMPLEO ECONOMICO DE ACEROS ESPECIALES

Este esfuerzo, que acaba de considerarse individualizado en la industria, es precisamente, traducido a la correspondiente escala, el de toda una técnica nacional, representada por sus organismos superiores, para conseguir la realización de la flota necesaria al poder aéreo de la nación; esfuerzo básico que, como anteriormente se ha manifestado, es apremiante exigencia de los momentos actuales.

Todo ello lleva como consecuencia la existencia de una tercera faceta a considerar en la elección de materiales, que debe complementar a las citadas, para formar el total conjunto de factores a estimar y que puede concretarse en lo siguiente:

**Posibilidad económica, industrial y de aprovisionamiento en cuantía y en tiempo de obtención de los materiales.**

Es un hecho evidente que no es posible, por ejemplo, basar la concepción de piezas vitales para una elevada serie de motores en aceros al níquel con elevado contenido porcentual si las disponibilidades nacionales no permiten la adquisición de tal metal, o la de piezas en especiales aleaciones ultraligeras si la capacidad industrial nacional no cuenta con la técnica y las instalaciones de fundición o forja adecuadas, o si las relaciones de comercio internacional o precios adquisitivos en divisas son prohibitivos, o si las dificultades de transporte son de orden antieconómico y crítico.

Todo esto, en definitiva, no son sino principios autárquicos entre límites nacionales o continentales.

Resulta, por tanto, interesante el estudio de aquellas investigaciones llevadas a cabo para la sustitución de materiales de construcción de determinadas piezas vitales del motor, materiales que podían clasificarse como clásicos y que como tales figuran en las diversas tablas normales de aceros y aleaciones de las diversas naciones; en las cuales tablas, junto con la composición y características mecánicas, figura la utilización constructiva clásica para determinadas piezas.

Y entre estos estudios que radican de los citados Centros de investigación metalúrgica, donde se estudia el aprovechamiento de aceros de nuevas composiciones, en las que la adición de unos u otros elementos mejoran determinadas características sin detrimento de otras principales y las nuevas aleaciones ligeras y ultraligeras y sus trabajos y tratamientos, se destaca y resulta interesante el trabajo de análisis crítico, desde el punto de vista metalúrgico, de las realizaciones de varias técnicas motorísticas.

En diversas revistas extranjeras se leen con frecuencia informaciones sobre análisis críticos, y no hace aún mucho tiempo la "Revista Aeronautica" ha publicado la traducción de un artículo de procedencia alemana, donde se resume un estudio de tal clase y en el cual está inspirado este trabajo, que tal como se titula no tiene otra significación que de ensayo y de modesto ejemplo de orientación sobre el desarrollo de los tan mencionados análisis críticos. El interés de ellos es evidente, más que por los resultados que pueden deducirse, porque ello representa llamar la atención sobre trabajos de investigación y sobre estudios

que, si bien está en el ánimo de todas las colectividades aeronáuticas su necesidad y la conveniencia de realizarlos, a veces quedan sin definitiva y práctica cristalización.

### DIVERSAS REALIZACIONES ECONOMICAS EN LAS CONSTRUCCIONES DE ELEMENTOS MOTORISTICOS CON ACEROS ESPECIALES

En líneas generales, en la esfera de acción de las industrias aeronáuticas extranjeras que son afines con la nacional, y aun en otras de absoluta diferenciación en los elementos a producir, pero que tienen comunidad de dificultades de aprovisionamiento, se ha llegado, por las razones primeramente manifestadas, a la conveniencia en unos casos y a la necesidad en otros, de reducir el empleo o buscar la sustitución de los siguientes metales: níquel, tungsteno, molibdeno y cobalto; y concretando el problema se destacan en orden preferente el níquel y el molibdeno como metales a reducir, limitando su empleo al mínimo y lográndolo, bien por el empleo de aceros sin níquel, o bien por el de aceros en que entra en menor grado porcentual en relación a los aceros al níquel, actualmente utilizados clásicamente.

Es un hecho cierto que las excelentes condiciones de los aceros al Ni y al Cr-Ni (muy buena tenacidad en el sentido transversal de las fibras, temple y bonificado uniforme en toda la extensión de secciones grandes, poca sensibilidad en caso de tratamiento térmico poco preciso) ha sido razón poderosa y clásicamente aceptada para su empleo general en piezas de construcción aeronáutica, tales como cigüeñales, bielas, etcétera.

Pero señala la práctica, en confirmación de los resultados de la investigación, que los aceros al cromo, al cromo-manganeso, al cromo-molibdeno, al cromo-vanadio, al cromo-manganeso-molibdeno, entre otros, pueden considerarse como sustitutos y como materiales a utilizar al seguir orientaciones de carácter autárquico, **siempre que se haga de tales aceros una apropiada y correcta adaptación a las piezas a construir y siempre que sean cuidadosamente obtenidos y tratados.**

Señalan las informaciones recogidas al objeto que es preciso tener en cuenta que gran parte de los aceros de sustitución, en relación comparativa, por ejemplo, con los cromo-níquel de clásica utilización, son más sensibles a los efectos de elevadas temperaturas de forja o de temple; así como que en el proceso de cementación pueden más fácilmente resultar agrietados, por lo cual las capas cementadas resultan frágiles y las piezas quedan con los naturales peligros de rotura al rectificarlas, a causa de su dureza superficial extraordinariamente elevada, por cuya circunstancia se hace necesario aumentar la tenacidad mediante oportuno revenido.

La realidad de las sustituciones esbozadas es que son absolutamente eficaces cuando en su concepción se tiene en cuenta que la elección de tales materiales de sustitución debe ser objeto de razonado análisis y estudio de su finalidad, así como que es preciso una oportuna experimentación previa. Todo lo cual signi-

fica concretamente que para cada pieza es preciso determinar el nuevo acero a utilizar, basándose en la estructura, en las dimensiones de la pieza y en los esfuerzos a los cuales estará sometida posteriormente. El logro de las características adecuadas en las piezas construídas, tratadas térmica y mecánicamente, con estos aceros de sustitución, está íntimamente relacionado, como se ha manifestado, con el oportuno tratamiento estructural en caliente del material y con la realización de determinadas operaciones de mecanización de la pieza. Todo lo cual no constituye otra cosa sino la aplicación de una técnica metalúrgica de los nuevos aceros, por cuanto se refiere a las transformaciones estructurales y al logro de las características mecánicas de las piezas construídas.

Citando algunos simples ejemplos de sustituciones que pueden clasificarse de generalmente conocidas, y por cuanto se refiere a construcción aeronáutica, se ven los siguientes: aceros al carbono de cementación, sustituyendo a aceros aleados en su empleo para ruedas dentadas no sometidas a grandes esfuerzos; aceros al cromo-molibdeno, sustituyendo a aceros al cromo-níquel de cementación para ruedas dentadas con gran dureza y núcleo muy resistente; aceros al cromo-molibdeno-níquel, sustituyendo a aceros al cromo-níquel de cementación para cigüeñales de motor. Realizaciones que se encuentran, entre otras técnicas, en la alemana, presentándose asimismo a la consideración las realizadas, al parecer, en la técnica rusa, en la que se ha estudiado la sustitución de los aceros al níquel y al cromo-níquel por aceros al cromo; y así los aceros al níquel de un débil porcentaje (5 por 100), al parecer, han sido progresivamente eliminados, siendo sus sustitutos los aceros al cromo (0,8 al 0,9) en la fabricación de determinadas piezas. Se encuentra también en esta técnica el empleo de los aceros al cromo-manganeso-silicio, con objeto de sustituir los aceros al níquel-cromo-molibdeno y al cromo-molibdeno ante la escasez de níquel y molibdeno.

Para cigüeñales es interesante el empleo en motores rusos de aceros al níquel-cromo-molibdeno con determinados contenidos porcentuales y al cromo-níquel-tungsteno; y entre los aceros de nitruración empleados se encuentra el níquel-cromo-molibdeno-aluminio. Para válvulas se utilizan, al parecer, sustituyendo a los aceros al cromo-níquel de alto porcentaje, los aceros al cromo-tungsteno-vanadio y al cromo-vanadio.

### POSIBILIDADES Y NECESIDADES NACIONALES POR CUANTO SE REFIERE AL OBJETO DE ESTE ENSAYO

Desde el punto de vista nacional, los esfuerzos que se realizan para el aprovechamiento de minerales del subsuelo patrio hacen entrever la posibilidad de obtención de níquel, cromo y cobalto, no faltando la existencia de posibilidades de obtención de vanadio, molibdeno y titanio, existiendo ya la obtención industrial de ferromanganeso y tungsteno. Se presenta, no obstante, con el mismo carácter que en la industria motorística, a la que ha hecho referencia, la necesidad de la sustitución de los aceros al níquel y aceros al molibdeno, principalmente, o bien la disminución porcentual

de los contenidos de estos metales en los aceros empleados.

Utilizando datos suministrados por la industria nacional constructora de motores "E9-C29-750", puede considerarse en qué términos se plantea, por ejemplo, el problema de abastecimientos de materiales para la construcción de los motores de mediana potencia tipo radial, en la que se han utilizado los materiales adecuados sin tener en cuenta, en líneas generales, las posibles sustituciones a que se hace referencia (1). Estos datos, que se refieren a las cantidades de materias básicas principales que es preciso suministrar a los proveedores metalúrgicos, son los que a continuación se citan, incluyendo en dichas cantidades la proporción necesaria para tener en cuenta las pérdidas por fusión y oxidación, mazarotas, despunte de barras, bebederos y piezas fallidas de fundición, debiéndose entender que este cálculo es efectuado para la construcción de cien motores:

Chatarra de acero seleccionada, 100.000 kilogramos; lingote de hierro, 80.000; aluminio, 70.000; cobre, 14.000; estaño, 1.000; níquel, 2.500; cromita, 15.000; magnesio, 8.000; ferromolibdeno, 650; titanio, 125; silicio, 750; manganeso, 750 kilogramos.

Por las anteriores consideraciones, y en relación a la cuantía de determinados metales, en las actuales y futuras construcciones de motores, y debido a la tan mencionada dificultad de disposición de aceros al níquel, se ha llegado ya en la industria motorística a determinar la conveniencia de la sustitución de los aceros al níquel, pertenecientes al grupo A de la tabla normal española de aceros para usos de Aviación—aceros que realmente poseen características de carga de rotura y límite elástico elevado, sin que resulten disminuidas las características de alargamiento y resiliencia, necesarias para elementos vitales del motor—por aceros

del grupo E, que figuran en la misma tabla, con contenido de vanadio y de molibdeno, cuya carga de rotura, límites elásticos y durezas resultan en cierto modo aumentados, si bien quedan disminuidos los valores de la resiliencia. Es preciso hacer notar que la industria motorística siente muy principalmente también la dificultad de la disposición del cromo-níquel de cementación por las dificultades de obtención de ferrocromos bajos de carbono. Asimismo, respecto a los aceros del grupo D, especiales para cementaciones, se considera posible su sustitución efectiva por aceros de la categoría F, con contenido porcentual de 0,15 de carbono y 0,30 de níquel, en su consideración de aceros de cementación. Sustituciones que no hay inconveniente en admitirlas siempre que, como se ha hecho presente, se estudie detenidamente la sustitución del acero, teniendo en cuenta el trabajo, los esfuerzos y las características consiguientes que deben ofrecer las piezas a las que se refiere la sustitución.

Merece mencionarse el esfuerzo relacionado con el empleo de materiales de sustitución y efectuado durante nuestra guerra de liberación por la industria metalúrgica catalana, de la obtención de aceros al cromo-silicio con las adecuadas características para sustituir en ciertas construcciones a los aceros al cromo-níquel, encontrándose en esta solución la tendencia mencionada de la sustitución de los aceros al cromo-níquel por los aceros al cromo-silicio-manganeso.

**EXAMEN CRITICO DE LA CONSTRUCCION CON ACEROS ESPECIALES DE DETERMINADAS PIEZAS DE DIVERSOS MOTORES**

Como anteriormente se ha manifestado, es indudablemente de interés el examen en la composición de los materiales y de la concepción estructural de piezas vitales de motor, en las técnicas constructivas que utilizan materiales con ausencia o disminución porcentual

(1) Si bien se han conseguido valiosas nacionalizaciones.

TABLA I

Características de potencia de diversos motores.

CASA CONSTRUCTORA	TIPO	Núm. de cilindros	Cilindrada	PESO		POTENCIA AL DESPEGUE		POTENCIA EN ALTURA		
				Kgs.	CV.	CV.	Núm. R.	CV.	Núm. R.	Kms.
* Rolls-Royce.....	Merlin X.....	12	27,1	595	0,53	1.090	3.000	1.125	3.000	5,4
* Rolls-Royce.....	Merlin II.....	12	27,1	595	0,57	895	3.000	1.040	3.000	5,4
* Hispano Suiza.....	12 Yers I.....	12	36	471	0,52	835	3.400	900	2.400	1,9
Hispano Suiza.....	12 Z.....	12	36	600	0,46	1.200	2.600	1.300	2.600	4,25
* Bristol.....	Hércules II.....	14	38,7	750	0,55	1.300	2.800	1.375	2.750	1,2
* Gnome-Rhone.....	14 N 2/3.....	14	39	595	0,59	1.050	2.480	1.010	2.360	1,5
* Pratt-Whitney.....	Twin-Wasp.....	14	30	658	0,74	1.050	2.700	900	2.350	3,7
	SC 3-G.....									
* Armstrong Siddeley.....	Tiger VIII.....	14	32,7	586	0,68	900	2.375	860	2.450	4,4
* Gnome-Rhone.....	14 M 6.....	14	19	419	0,70	700	3.030	660	3.030	4,0
	Cyclone GR.....									
* Wright.....	182 C-G 102 A.....	9	29,9	572	0,64	1.100	2.350	900	2.300	2,0
* Bristol.....	Merling VIII.....	9	24,8	454	0,54	725	2.650	835	2.750	4,3
				510	0,82					
Bayerische Motoren Werke..	B. M. W. V. I.....	12	46,93	546	0,89	690	1.650	620	1.565	1,3
Elizalde.....	E9-C. 29-750.....	9	29,85	446	0,59	775	2.200	750	2.100	2,9
Ruso.....	M-25.....	9	29,85	438	0,63	635	1.950	700	1.950	2,0

NOTA IMPORTANTE: Los datos de los motores que figuran en ésta con asterisco, así como los que les corresponden en las siguientes tablas, son tomados de la "Rivista Aeronautica" italiana.

de los metales calificados por la dificultad de su obtención.

En este examen parece natural incluir las actuales construcciones motorísticas españolas, y en consecuencia, a continuación se hace un examen crítico, basándose en los datos de la citada revista y en los recogidos cerca de la industria motorística nacional, respecto a composición de piezas vitales de motor, haciendo resaltar con el objeto que tantas veces se ha manifestado las composiciones ahorrativas de materias, que puede considerarse de cierto modo como concepciones autárquicas.

Pero debe tenerse en cuenta asimismo que estas composiciones de materiales van relacionadas con la concepción de forma y de proyecto de las piezas, así como su disposición en el motor, y en general, con las definiciones de los motores y sus características de funcionamiento y de utilización. De todas formas, representan tendencias constructivas y enseñanzas muy dignas de tenerse en cuenta en los casos de dificultad de obtención de metales especiales.

Los motores objeto del examen son cuatro motores de 12 cilindros en línea, con enfriamiento por líquido; cinco de 14 cilindros, doble estrella, con refrigeración por aire, y cuatro de nueve cilindros, en estrella, y asimismo refrigerados por aire. Sus potencias varían, aproximadamente, entre 800 y 1.300 cv. para potencias de despegue, y entre 660 y 1.375 cv. para las potencias en altura, según el compresor (sus características están indicadas en la tabla I).

Los motores que en las correspondientes tablas van indicados con un asterisco son los que figuran en el estudio de las citadas revistas extranjeras. Se incluyen también en las tablas, aunque con carácter muy general, datos sobre motores, fruto de técnicas extranjeras, de los cuales no se ha dispuesto de datos exactos concretados en un determinado tipo del motor, sino que son datos recogidos como de utilización de carácter general para determinados elementos dentro de las directrices de dichas técnicas.

Con objeto de no alargar excesivamente el contenido de este trabajo, el examen crítico de la composición de materiales de los citados motores se reduce al de los aceros empleados en cigüeñales, bielas, cilindros, segmentos y válvulas de escape, constituyendo los resultados obtenidos cinco ejemplos de estudio de posible economía de metales especiales en la construcción motorística aeronáutica.

**Examen de cigüeñales (1).**—Por la tabla II puede verse que, sin excepción, los aceros utilizados para la fabricación de cigüeñales son todos aquellos del tipo cromo-níquel-molibdeno, con mayor o menor contenido porcentual de estos metales aleados.

Existe, no obstante, una excepción, señalada en una de las dos categorías utilizadas en motores rusos, en la

(1) En este examen, como en los siguientes, se exponen las consecuencias deducidas por la Sección Técnica de la Jefatura de la Zona Territorial de Industria número 4.

TABLA II

*Aceros utilizados en la fabricación de cigüeñales.*

TIPOS	COMPOSICION QUIMICA POR 100							Acero	△ Vickers	R.	OBSERVACIONES
	C.	Si.	Mn.	Cr.	Ni.	M.	W.				
Rolls-Royce:											
Merlin X.....	0,33	0,24	0,75	1,18	0,72	1,04	>	Nitrurado	662 ÷ 676	100 h.	Nitrurado 0,4 mm. aproximadamente
Merlin II.....	0,36	0,23	0,76	1,16	0,77	0,84	>	Nitrurado	548 ÷ 638	110 h.	Nitrurado 0,3 mm.
Hispano Suiza:											
12 Yers I.....	0,17	0,30	0,62	1,41	4,68	1,24	>	>	>	125	Bonificado
12 Z.....	0,15 ÷ 0,25	0,15 ÷ 0,30	0,4 ÷ 0,6	1,2 ÷ 1,5	3,4 ÷ 4,0	0,4 ÷ 0,6	>	>	>	>	Bonificado
Gnome-Rhone:											
14 M 6.....	0,22	>	>	1,42	4,67	0,51	>	>	>	125	Bonificado
Pratt & Whitney:											
Twin-Wasp.....	0,21	0,3	0,6	0,1	4,62	0,04	>	>	620	115	Cementado
Wright - Cyclone G-102 A:											
Parte anterior.....	0,43	0,25	0,81	0,72	< 0,1	< 0,1	>	>	>	105	Bonificado
Bristol - Mercury VIII:											
Parte anterior.....	0,30	>	0,71	1,24	0,66	< 0,1	>	Nitrurado	600 ÷ 700	90	Nitrurado 0,5 mm.
Parte trasera.....	0,35	>	0,65	0,68	3,38	< 0,1	>	>	>	100	Bonificado
E9-C. 29-750.....	0,15 ÷ 0,25	0,15 ÷ 0,30	0,4 ÷ 0,6	1,2 ÷ 1,5	3,4 ÷ 4	0,4 ÷ 0,6	>	>	>	>	
Motores rusos:											
M-25.....	0,30	>	>	0,42	1,64	0,40	>	>	>	>	
Otra composición.	?	>	>	?	?	?	?	>	>	>	

cual el molibdeno viene sustituido por el tungsteno. Sin embargo, de este tipo de acero ruso, utilizado al parecer en cigüeñales, no se especifican los porcentajes, por lo que únicamente se debe considerar como acero de posible utilización, siempre que los contenidos en cromo y níquel no resulten excesivos y las características del metal sean suficientes.

El acero, cuya composición resulta más destacada y más importante desde el punto de vista del ahorro de materiales especiales que perseguimos, es indudablemente el correspondiente al del cigüeñal del "Wright Cyclone G. 102-A", cuya resistencia en el núcleo ha alcanzado en la utilización americana a 105 Kg/mm<sup>2</sup> mediante su bonificación. Careciendo de datos sobre valores de resiliencia, el ver que este acero se halla carente prácticamente de Ni y de Mo, hace temer que esta característica pueda resultar baja; o que sea, por otra parte, el acero muy sensible a los tratamientos; pero el empleo de dicho acero en tal motor es argumento sólido para tratar de recurrir a su utilización como acero para cigüeñales en tipos parecidos de motores.

Otro de los aceros interesantes resulta ser también, aunque en menor grado que el anterior, el correspondiente a la parte anterior del cigüeñal del "Bristol-

Mercury VIII"; el contenido de Ni resulta en él bastante superior al del "Wright", alcanzando ya a 0,66 por 100 y conservando, como el "Wright", un porcentaje bajo de molibdeno.

El acero del "Bristol-Mercury VIII", utilizado al estado de nitrurado, alcanza características de resistencia en el núcleo de 90 Kg/mm<sup>2</sup>, algo inferior a la exigida en el acero del cigüeñal del motor nacional "E9-C. 29-750". Seguramente en aquel motor no se rebasa aquella cifra, para no dar lugar a una mayor fragilidad en el metal como consecuencia de la nitruración y del bajo contenido en molibdeno.

Los materiales de los motores "Hispano 12-Z" y "12-Y" resultan correspondientes a la categoría A-4 de la Tabla de normalización española utilizados con el mismo fin en el motor "E9-C. 29-750". Aun cuando por su forja y bonificación este acero se revela como buen material de construcción, ya que tanto su carga de rotura  $R = 100$  a 110 Kg/mm<sup>2</sup>, como su resiliencia  $\geq 10$  Kg/cm<sup>2</sup> resultan elevadas; sin embargo; el porcentaje de metales especiales que contiene hace a esta categoría menos interesante que el acero anteriormente citado.

La composición del cigüeñal del motor ruso "M-25" no resulta tan interesante, desde el punto de vista del

TABLA III

Materiales utilizados para la fabricación de bielas.

TIPOS	COMPOSICION QUIMICA POR 100						R.
	C.	Si.	Mn.	Cr.	Ni.	Mo.	
Merlin II:							
Biela principal.....	0,40	0,20	0,75	0,26	3,42	0,1	100
Medio broncina superior e inferior..	0,19	0,29	0,40	0,10	4,93	0,1	80
Bieleta.....	0,38	»	»	0,30	3,40	»	100
Hispano Suiza 12 Yers I:							
Biela principal.....	0,30	0,14	0,50	1,07	3,05	0,56	120
Bieleta.....	0,27	0,21	0,54	1,25	3,19	0,48	120
Hispano Suiza 12-Z:							
Biela principal.....	0,15 ÷ 0,25	0,15 ÷ 0,30	0,40 ÷ 0,60	1,20 ÷ 1,5	3,40 ÷ 4,0	0,40 ÷ 0,60	100 ÷ 110
Bieleta.....							
Gnome-Rhone:							
Biela principal.....	0,26	0,19	0,29	1,00	3,9	0,4	105
Bieleta.....	0,25	0,18	0,32	1,08	4,08	0,63	110
Pratt-Whitney.....	0,41	0,27	0,74	0,76	1,73	0,6	120
Wright-Cyclone:							
Biela maestra.....	0,44	0,30	0,71	0,76	1,73	0,6	120
Bieleta.....	0,40	0,28	0,58	0,76	1,85	0,28	130
Bristol-Mercury:							
Biela principal.....	0,29	»	0,53	1,23	4,28	0,1	170
Bieleta.....	0,30	0,10	0,46	1,34	4,33	0,15	170
Elizalde E9-C. 29-750:							
Biela maestra.....	0,15 ÷ 0,25	0,15 ÷ 0,30	0,40 ÷ 0,60	1,20 ÷ 1,5	3,40 ÷ 4,0	0,40 ÷ 0,60	100 ÷ 110
Bieleta.....							
Motor ruso: M-25:							
Biela maestra.....	0,42	»	»	0,42	1,64	0,4	»
Bieleta.....	0,39	»	»	0,73	1,68	0,35	»

ahorro de metales especiales, como la segunda composición citada, entre los aceros de cigüeñal utilizados por la técnica rusa.

No debe cerrarse este examen de materiales sin haber citado el acero alemán V C N 35 h, cuyas proporciones de metales aleados son  $Ni = 3,5 \pm 0,25$  y  $Cr = 0,75 \pm 0,2$ , ya que este acero carece de molibdeno y resulta alcanzar de 90 a 105 Kg/mm<sup>2</sup> de carga de rotura al estado de tratado. Este acero parece ser de aplicación para la fabricación de cigüeñales en Alemania.

**Examen de bielas.**—Los aceros utilizados para bielas, indicados en la tabla III, resultan ser en su totalidad aceros al Ni y al Cr-Ni, con adiciones más o menos importantes de Mo.

Como se ha hecho notar en el estudio de aceros para cigüeñales, el acero del motor americano "Wright" resulta ser el más bajo en metales especiales, sin que su carga de rotura desmerezca con relación a los demás.

Especialmente la composición de la bieleta Wright resulta de carácter preferente en la consideración económica de metales especiales, ya que con un contenido de  $Ni = 1,85$  y  $Mo = 0,28$  se han alcanzado 130 Kg/mm<sup>2</sup> de carga de rotura. Se desconocen los valores de la resiliencia, naturalmente ligados a la forja a que se somete el acero; así como se desconocen también los valores de los alargamientos, siendo, sin embargo, de presumir que éstos habrán sido suficientes, tratándose de un acero que ha constituido la biela de un motor ya sancionado por su larga experiencia en una práctica utilización.

Los dos tipos de acero utilizados en el motor ruso "M-25", bajo licencia de Wright-Cyclone, tiene,

como la del "Wright" americano original, indudable interés. Como se ve, los constructores rusos han seguido en este caso la tendencia americana; por lo que cuanto se ha dicho acerca del material de bielas del "Wright-Cyclone" americano es de aplicación en este caso.

Otro acero digno de tenerse en cuenta es el utilizado en la bieleta del "Merlin II" al cromo-níquel, ya que este acero, además de un contenido bajo de cromo, carece de molibdeno en su composición. Su utilización ha sido a 100 Kg/mm<sup>2</sup> de carga de rotura.

Se indica que los aceros alemanes de utilización para bielas son similares precisamente a estos tipos americanos.

**Examen de cilindros.**—En la construcción de cilindros parece diferenciarse claramente tres tendencias, tal como se deduce de la tabla IV:

1.º Cilindros en los cuales se obtienen condiciones de dureza elevadas por simple tratamiento. Cilindros utilizando aceros al carbono, como ocurre en los motores "Merlin II" y "X" y el "Tiger VIII".

2.º Cilindros con elevada dureza superficial obtenida por nitruración, como ocurre en los motores "Hispano 12 Yers I", "Hispano 12-Z", "Gnome-Rhône 14 N. 2-3", "Gnome-Rhône 14 N. 6", "Wright-Cyclone 102" y "Mercury III". Los aceros utilizados resultan ser aceros aleados, variando de unos a otros los contenidos en Mo, Al y Ni.

3.º Cilindros en los cuales, sin pretender una dureza tan elevada como en los anteriores, se consiguen buenas condiciones de resistencia al desgaste y de frotamiento con la utilización de acero al cromo-molibdeno. Así ocurre en el "Twin-Wasp" y "E9-C. 29-750".

TABLA IV

Materiales utilizados para la fabricación de cilindros.

TIPOS	COMPOSICION QUIMICA								OBSERVACIONES
	C.	Si.	Mn.	Cr.	Ni.	Mo.	V.	Al.	
Rolls-Royce:									
Merlin II y X.....	0,61	0,18	0,81	»	0,1	0,1	»	»	
Hispano Suiza:									
12 Yers I.....	0,42	0,22	0,56	1,64	0,31	0,20	»	0,58	Nitrurado
12-Z.....	0,34 ÷ 0,38	0,28 ÷ 0,37	0,47 ÷ 0,5	1,71 ÷ 2,11	»	0,17 ÷ 0,18	»	1,12 ÷ 1,15	Nitrurado
Gnome-Rhone 14 N. 2-3....	0,22	0,25	0,40	2,94	»	0,30	»	»	Nitrurado
Pratt-Whitney:									
Twin-Wasp.....	0,33	0,24	0,90	1,01	»	0,27	»	»	
Armstrong Siddeley Tiger VIII.....	0,53	0,29	0,73	0,03	0,08	»	»	»	
Gnome-Rhone 14 M-6.....	0,28	»	»	3,2	0,32	0,6	0,09	»	Nitrurado
Wright-Cyclone 102.....	0,58	0,28	0,59	1,63	»	0,43	»	1,05	Nitrurado
Bristol Mercury III.....	0,23	0,26	0,63	2,99	0,44	»	»	»	Nitrurado
Elizalde:									
E9-C. 29-750.....	0,25 ÷ 0,35	0,15 ÷ 0,30	0,4 ÷ 0,7	0,8 ÷ 1,1	≤ 0,3	0,15 ÷ 0,25	»	»	
Motor ruso M-25.....	0,45	»	»	0,92	0,06	0,23	»	»	

La primera tendencia, o sea la correspondiente a la utilización de aceros al carbono, parece, desde el punto de vista de economía, la más indicada; siempre que otras circunstancias no hagan desmerecer el empleo de estas calidades de aceros. El hecho de poderlo obtener con las mismas estructuras sorbíticas constituye probablemente un factor favorable en el frotamiento de las superficies del cilindro con los segmentos.

La bibliografía relativa a materiales utilizados en la fabricación de cilindros de motores rusos permite suponer que los empleados han sido aceros al carbono, los cuales son considerados por dicho país como de aplicación normal para este caso.

Por la composición del cilindro del "M-25" y lo anteriormente reseñado, se deduce que los aceros utilizados en Rusia para la fabricación de cilindros han sido muy diversos, como es lógico, ya que sus tipos de aviones han sido la reproducción de tipos franceses y americanos, si bien en ocasiones no coincidentes en la técnica de utilización de materiales.

En cuanto a la composición de aceros empleados en cilindros nitrurados, resultan dignos de tenerse en cuenta, en primer lugar, el acero utilizado en el "Mercury III", ya que éste, con un contenido de Ni de 0,44, carece de Mo, y en segundo lugar, el acero del motor "Gnome-Rhône 14 N. 2-3", ya que esta calidad carece de Ni, poseyendo un contenido en Mo de 0,30.

Las otras calidades de materiales, es decir, los aceros al cromo-molibdeno utilizados en el "Twin-Wasp" y "E9-C. 29-750", resultan prácticamente desprovistos de Ni, con contenidos en Mo inferiores a 0,3, por cuyo motivo, si es ello posible, deben ser preferidos por esta circunstancia a los aceros de nitruración en general.

La composición química del acero a utilizar en el motor "12-Z" se indica con reserva, ya que los datos que hasta ahora se poseen sólo tienen el carácter de aproximados. Por el contenido de Mo, dicho acero posee buenas condiciones en lo referente a dosificación, debiendo ser considerado como apto para ser utilizado como material de nitruración.

Existen, sin embargo, aceros de nitruración previstos para la fabricación de motores rusos, citándose entre ellos el "35 X H M A", al níquel-cromo-molibdeno-aluminio.

De estas últimas calidades, aun cuando no se cita su aplicación, cabe suponer habrán sido dedicadas también en algunos casos a la fabricación de cilindros, ya que para otras piezas susceptibles de nitruración, como son las válvulas, su fabricación está prevista con aceros sin nitruración.

Por tanto, debemos dejar subsistentes las consideraciones expuestas sobre el orden de preferencia establecido en la utilización de aceros para cilindros, siendo ésta el de los aceros al carbono, en primer lugar, siguiendo el acero cromo-molibdeno del motor "E9-C. 29-750", y finalmente, el acero del "Hispano 12-Z" como acero de nitruración.

**Examen de segmentos.**—De la observación de la tabla V referente a segmentos, se deduce que los motores ingleses "Mercury VIII" y "Tiger VIII" poseen en sus segmentos un contenido de níquel superior al resto de los segmentos estudiados.

En general se sigue en todos ellos la tendencia de alear la fundición con cantidades más o menos grandes de níquel.

El papel que posiblemente se atribuye al níquel en esta tendencia constructiva es el de uniformar las tensiones en el seno de la pieza obtenida por fundición; es decir, lo que en segmentos producidos sin este metal trata de conseguirse con tratamientos adecuados.

Del mismo modo los motores "Mercury VIII" y "Tiger VIII" poseen en su composición cantidades notables de molibdeno, empleado seguramente como elemento estabilizador de la fundición, además de mejorar las características mecánicas.

Posiblemente los contenidos en molibdeno guardan relación con los contenidos de níquel señalados.

Los contenidos en cromo de los segmentos de estos motores varía de uno a otro de 0,13 en el "Tiger VIII" a 0,34 en el "Mercury VIII".

En cambio, en el motor inglés "Rolls-Royce", los segmentos carecen de níquel y de molibdeno, poseyendo un contenido en cromo algo superior al de los anteriores motores.

En los motores franceses "Hispano Suiza 12 Yers I" y "Gnome-Rhône 14 M. 6", los contenidos, tanto en cromo como en níquel, son mucho más bajos que los anteriores; por otra parte, no contienen molibdeno. En cambio, los contenidos de Si son más elevados en los segmentos de estos motores, lo que indica que este elemento ha tenido una intervención mayor como elemento grafitante que en los empleados en los motores ingleses. Sin embargo, es posible que la grafitación en estos segmentos haya sido debida a elementos especiales, con adiciones pequeñas en cromo y en níquel como elementos destinados a estabilizar la fundición, repartir las tensiones y adquirir suficientes características mecánicas.

Esta solución presenta ventajas sobre la composición de los segmentos ingleses desde el punto de vista de ser más pobre en metales especiales.

En el motor americano "Wright-Cyclone", el contenido de metales especiales en sus segmentos es verdaderamente escaso, estableciendo una profunda diferencia con los segmentos ingleses del "Tiger VIII" y "Mercury VIII".

El cromo y el níquel se encuentran casi con el carácter de trazas, pareciendo que su influencia debe ser escasa.

La fundición de los segmentos empleados en el motor "B. M. W. VI" se halla desprovista de metales especiales, siendo elevado su contenido en Si. El porcentaje de P resulta también bastante elevado, probablemente para facilitar la colada de los segmentos.

La cantidad de Si contenida en esta fundición favorecerá indudablemente la grafitación de solidificación, según los datos recogidos para este trabajo, desconociendo las características mecánicas alcanzadas en estos segmentos de "B. M. W. VI", especialmente su elasticidad. El contenido en Si parece deba favorecer la grafitación de recocido.

Los segmentos del "E9-C. 29-750" se hallan carentes en absoluto de níquel, siendo así que en una mayor o menor cantidad este metal ha venido figurando en todos los motores ingleses, franceses y americanos, con excepción del "Rolls-Royce".

TABLA V

Material utilizado en la fabricación de segmentos de émbolo.

TIPOS	COMPOSICION QUÍMICA POR 100									Δ Brinell
	C. total	Grafito	Si.	Mn.	Cr.	Ni.	P.	S.	Mo.	
Rolls-Royce:										
Merlin II.....	3,5	»	2,16	1,2	0,42	»	0,45	»	»	225
Hispano Suiza.....	3,7	3,02	3,02	0,63	0,1	0,1	0,33	»	»	235
12 Yers I.....	2,9	2,2	2,22	0,9	0,1	0,1	0,24	»	»	»
Armstrong (Siddeley) Tiger III.....	3,44	2,57	2,08	0,95	0,13	0,68	0,54	0,016	0,5	280
Gnome-Rhone 14 M-6.....	2,78	2,02	2,63	0,8	0,09	0,11	0,35	0,062	»	220
Wright-Cyclone 102-A.....	3,8	3,03	2,76	0,67	0,02	0,06	0,53	0,04	»	225
Bristol-Mercury VIII.....	3,56	2,63	2,18	0,8	0,34	0,45	0,27	0,022	0,56	275
B. M. W.-VI.....	3,3 ÷ 3,5	2,9 ÷ 3	3 ÷ 3,2	0,5 ÷ 0,6	»	»	0,6 ÷ 0,9	»	»	»
Motor E9-C. 29-750:										
Segmentos de compresión.....	3 ÷ 3,3	»	2,5 ÷ 2,8	0,6 ÷ 0,9	»	»	0,15 ÷ 0,2	< 0,027	»	230 ÷ 270
Segmentos de compresión especiales.	3 ÷ 3,3	»	2,5 ÷ 2,8	0,6 ÷ 0,9	»	»	0,15 ÷ 0,2	< 0,027	0,5 ÷ 0,6	320 ÷ 250
Segmentos de compresión especiales..	3 ÷ 3,3	»	2,5 ÷ 2,8	0,6 ÷ 0,9	»	»	0,15 ÷ 0,2	< 0,027	0,5 ÷ 0,6	320 ÷ 350
Otro tipo.....	»	»	»	»	0,3	»	»	»	»	»

Estos segmentos del "E9-C. 29-750" presentan analogías con los segmentos del motor americano "Wright-Cyclone" por lo que se refiere a los contenidos de Si y Mn, aun cuando, como ya se dijo, no contiene otros que figuran en el americano.

Indudablemente, de cuantos segmentos se han estudiado, los españoles son los que ofrecen mayores ventajas desde el punto de vista de los reducidos porcentajes de metales especiales, aun cuando existan también segmentos previstos con 0,3 por 100 de cromo y 0,5 a 0,6 por 100 de molibdeno.

**Examen de válvulas de escape.**—Referente al material utilizado para la obtención de válvulas de escape, por la tabla VI se observa que la tendencia generalmente seguida ha sido la de utilizar aceros Cr-Ni con elevadas proporciones de estos metales. En estas categorías quedan comprendidos los motores ingleses "Merlin II", "Tiger VIII" y "Mercury VIII", así como los americanos "Twin-Wasp" y "Wright-Cyclone", francés "Gnome-Rhône" y español "E9-C. 29-750". En la composición de los mismos entran además otros elementos especiales, tales como el Mo, el W, y en casos reducidos, el Co.

Desde el punto de vista del ahorro de materiales, el acero utilizado en la válvula de escape del "B. M. W. VI", resulta muy interesante, ya que su análisis acusa carencia de Ni y Mo, siendo, en cambio, sus constituyentes más importantes el Cr y el W. Este tipo de acero es similar al acero recomendado para válvulas por Standard Methods, de American Society for testing Materials, ya que, a pesar de venir indicado en su especificación de un modo bastante impreciso

por lo que a su dosificación se refiere, sin embargo, los límites de contenidos de sus metales constituyentes así lo hacen presumir.

El acero de válvulas del motor "Hispano 12 Yers I" es quizá, entre todos los contenidos en la tabla, el que presentando un porcentaje relativamente bajo de elementos especiales, ofrece, sin duda, mayores garantías de utilización. Su ventaja es el muy bajo contenido de Ni, disminuída ésta en parte por el elevado contenido en Mo; siendo preciso tener en cuenta que en el motor "Hispano" la caña de la válvula va nitrurada, resultando justificado el contenido de Mo previsto. Ahora bien: cabría investigar la posible disminución del contenido en este elemento cuando el estado de utilización del acero fuera simplemente el de bonificado. A su vez, el "Hispano 12-Z" prevé como material de válvulas el acero C-4 de nuestra tabla normal, utilizado en el "E9-C. 29-750".

Los aceros rusos cromo-molibdeno y cromo-tungsteno-vanadio resultan también dignos de tenerse en cuenta, de ser posible, el obtener más datos sobre sus composiciones.

El material utilizado en el "M-25" ruso queda comprendido exactamente, dentro de la tercera categoría citada, para válvulas de escape de motores rusos, resultando ser un acero similar al alemán W. F. 100-Krupp.

Los elevados contenidos de Ni y Mo hace que no deba ser considerado este acero con carácter preferente en consideración económica para construcción de válvulas.

TABLA VI

Aceros utilizados en la fabricación de válvulas de escape.

TIPOS	C.	Si.	Mn.	Cr.	Ni.	Mo.	W.	Co.	OBSERVACIONES
Rolls-Royce:									
Merlin II.....	0,41	1,44	0,72	16,3	14,3	0,10	2,95	0,20	Caña hueca
Hispano Suiza:									
12 Yers I.....	0,40	2,51	0,59	10,35	0,1	1,08	»	»	Tulipa hueca
12-Z.....	0,4 ÷ 0,5	1,0 ÷ 1,2	0,5 ÷ 0,8	12 ÷ 13	12 ÷ 13	2 ÷ 2,5	2 ÷ 2,5	»	»
Gnome-Rhone 14 N. 2-3.....	0,13	0,81	»	17,99	22,94	0,20	»	»	Caña hueca
Pratt & Witney:									
Twin-Wasp.....	0,49	0,51	0,50	13,76	13,84	0,29	2,11	»	Tulipa hueca
Armstrong (Siddeley) Tiger VIII.....	0,48	1,54	»	13,60	11,70	»	1,84	»	
Gnome-Rhone 14 M-6.....	0,18	»	»	17,0	24,1	»	»	»	Caña hueca
Wright-Cyclone G. 102-A.....	0,47	1,34	»	12,45	14,77	»	2,47	»	Tulipa hueca
Bristol-Mercury VIII.....	0,50	1,65	0,70	13,66	13,55	»	2,74	0,59	Tulipa hueca
B. M. W.-VI.....	»	0,408	0,28	2,78	»	»	6,47	»	
Recomendado por Standard Methods American Society for testing Materials.....	0,5 ÷ 0,7	»	0,3	0,5 ÷ 4,0	»	»	1,5 ÷ 15	»	

TABLA VI

(Continuación.)

TIPOS	C.	Si.	Mn.	Cr.	Ni.	Mo.	W.	Co.	V.	OBSERVACIONES
Tabla de normalización:										
Categoría C-5.....	0,35 ÷ 0,45	2 ÷ 2,5	0,4 ÷ 0,6	9 ÷ 10	»	0,8 ÷ 1,0	»	»	»	De utilización para válvulas de admisión y escape.
Rusos:										
Primera categoría.....	»	»	»	?	»	»	?	»	?	
Segunda categoría.....	»	»	»	?	»	»	»	»	»	
Tercera categoría.....	0,4 ÷ 0,5	1 ÷ 1,20	0,5 ÷ 0,8	12 ÷ 13	12 ÷ 13	2 ÷ 2,5	2 ÷ 2,5	»	»	WF 100 Krupp.
M-25.....	0,46	1,15	0,57	13	12,37	2,13	2,18	»	»	
E9-C. 29-750:										
Primero.....	0,35 ÷ 0,45	2 ÷ 2,5	0,4 ÷ 0,6	9 ÷ 10	»	0,8 ÷ 1	»	»	»	
Segundo.....	0,4 ÷ 0,5	1 ÷ 1,20	0,5 ÷ 0,8	12 ÷ 13	12 ÷ 13	2 ÷ 2,5	2 ÷ 2,5	»	»	

RESUMEN DEL ENSAYO

Realmente los motores examinados no representan el estado actual del progreso motorístico aeronáutico; pero muy probablemente las tendencias en el empleo en ellos de aceros especiales significados son aún de entera actualidad. Señala la información recogida en este ensayo respecto a motores ingleses, americanos y franceses en relación a los motores fruto de la técnica alemana, que en la composición de los aceros utilizados en las construcciones se encuentra mayor contenido de metales, como son níquel, cromo, tungsteno, si bien en el motor americano "Wright" señalado se observa también menor contenido porcentual de los metales calificados como de difícil adquisición.

La tendencia ahorrativa de la técnica alemana y de la Wright, así como en algunos aspectos las de las otras técnicas, de las que son fruto los motores examinados, se encuentra ya en lo que se refiere a la construcción de algunos elementos de motor recogidos por nuestra técnica motorística, y aun puede decirse que se señala en nuestra nueva tabla normal de aceros; pero es una realidad la necesidad de investigar y experimentar ampliamente el aprovechamiento de aceros económicos para nuestras futuras construcciones.

No debe olvidarse asimismo que en las conclusiones que pueden deducirse de este ensayo es preciso tener en cuenta el sistema de construcción y las características de los motores a que corresponden las piezas examinadas.