

# Aerotecnia

## Algunos aspectos de técnica aplicada, en la producción de motores

Por TOMÁS MOYANO

Teniente Coronel Ingeniero Aeronáutico, Capitán de Corbeta honorario

### ESTADO ACTUAL DE LA TÉCNICA MOTORÍSTICA

El estado actual de la técnica motorística y la satisfacción que a sus exigencias presta la industria especializada, así como las de manufacturación y transformación de materiales, las de accesorios y elementos auxiliares, plantean paralelamente nuevos problemas, que pudieran denominarse de técnica aplicada y cuya resolución es de todo punto necesaria para que los avances de la ciencia aeronáutica puedan ser hechos realidad, comprobados y utilizados en la construcción aeronáutica.

El progreso conseguido en las características de los motores de Aviación, tanto en cuanto se refiere a la potencia, al peso, a los consumos, a la utilización en diversos regímenes y a diferentes y elevadas cotas, como a la seguridad y regularidad de su funcionamiento, aun entre largos períodos de revisión, es fruto de un permanente y costoso trabajo de investigación experimental-metalúrgica, constructiva y motorística, propiamente dicha.

Los actuales motores de Aviación, concebidos y realizados en razón de las exigencias que impone su utilización, ofrecen las siguientes cualidades características: *seguridad de funcionamiento; elevada potencia máscica; reducido consumo de combustible y lubricante; funcionamiento regular en las condiciones normales de empleo en su amplio margen de regímenes; mínima sección frontal resistente al avance; entretenimiento relativamente sencillo; posibilidad de funcionar con los tipos de combustible considerados como normales; posibilidad de puesta en marcha en reducido tiempo y en toda estación; facilidad de instalación a bordo y de adaptación del propulsor; posibilidad de construcción en serie, con tiempo y coste de producción relativamente bajo, y finalmente, facilidad de reparación y revisión de los elementos principales.*

Y si se hace un ligero examen de los resultados de la técnica motorística y constructiva, así como de las tendencias actuales, se observa: el crecimiento de las potencias, duplicadas y aun triplicadas en relación a las desarrolladas por los motores que pueden considerarse similares en cierto modo a los existentes en el anterior período (períodos que en la técnica motorística pueden considerarse como separados por intervalos de tiempo de cinco a siete años), con tendencia a conseguirse como potencias normales las de 2.000 cv.; la existencia de cilindradas totales de 54,3 litros y límite de 3,5

litros de cilindrada unitaria; el aumento de régimen hasta 2.000 y 2.600 r. p. m. (si bien este aumento del régimen es opuesto al de cilindrada unitaria); la proporción de 30 cv./litro para cilindros de más de dos litros de cilindrada, y de 35 cv./litro para menores dimensiones de cilindro (y como valores máximos—haciendo referencia a la potencia de despegue—de 37 cv./litro para grandes motores estelares, 37 cv./litro para los motores en línea refrigerados por aire y 34 a 36 cv./litro los de enfriamiento por líquido); presiones medias efectivas de 7 kgs. cm<sup>2</sup>; potencias máscicas definidas por la proporción de 0,5 kgs./cv.; elevados valores de la potencia por dm<sup>2</sup> de sección frontal resistente, que puede valuarse en el valor de 1,20 metros  $\Phi$  en motores radiales de potencia superior a 1.000 cv.; límites de vida superiores a cinco mil horas de funcionamiento; regularidad de funcionamiento tal que permite espaciar las revisiones de quinientas a seiscientas horas, y finalmente, la utilización de los motores con su potencia normal restablecida a alturas de 4.000 a 6.000 metros y superiores.

Estas características y aquellas cualidades están logradas, efectivamente, mediante el concurso de los siguientes factores:

1) *A la seguridad de funcionamiento y a la elevada potencia máscica, contribuyen:*

La estructura de los órganos principales, cuyas secciones y dimensiones son proyectadas según un seguro conocimiento del trabajo y esfuerzos a que estará sometida la pieza; y realizado su cálculo, según métodos que permiten reducir las secciones resistentes a límites inferiores, con la consiguiente disminución de peso. La disposición racional de los varios elementos, que haga compatible el máximo de robustez y rigidez con la mínima sección frontal. Los materiales de elevadas características mecánicas, tanto en aceros como en aleaciones de aluminio y magnesio—que permiten, consecuentemente, el aligeramiento de los elementos u órganos menos solicitados a los esfuerzos—, y el empleo adecuado de cada material en el elemento o parte del elemento. El proceso de fabricación determinado por los tratamientos mecánicos y térmicos, que convenientemente estudiados para que la distribución racional de las fibras y la estructura del material sean las aptas para el trabajo de la pieza, así como mediante la función y mecanización apropiada para que la pieza tenga secciones, espesores, estado superficial, etc., de acuerdo con el proyecto del motor (debe recordarse que cuanto más elevados son los valores de las relaciones  $\frac{\text{resistencias}}{\text{pesos}}$

de las partes que constituyen los motores, tanto menor será el valor del peso por cv.).

2) *Contribuyen a la seguridad* asimismo: La puesta a punto rigurosa y minuciosa de sus conjuntos y elementos y accesorios. La duplicidad de algunos órganos. El empleo de combustibles y lubricantes adecuados. Y finalmente, la observancia estricta de las pruebas de homologación y recepción a que deben ser sometidos según las Normas de los Servicios Técnicos.

3) *Los factores que contribuyen al logro de las otras características indicadas* son, entre otros: La utilización del motor a los regímenes indicados según su tiempo de empleo. El mantenimiento de las temperaturas recomendadas, sin pasar de los límites fijados en las de trabajo de cada uno de los elementos que contribuyen al normal funcionamiento. El sistema de carburación o inyección que permita un consumo específico relativamente bajo. La adopción de relaciones de compresión y sobrealimentadores que permitan la utilización del motor en zonas elevadas (cuanto menor sea el valor de la cilindrada tanto mayor es el valor de la potencia por litro de cilindrada). La accesibilidad de los órganos que precisen revisión o sustitución. El empleo de amortiguadores. La concepción del equilibrado, que defienda al motor de las vibraciones peligrosas. El adecuado montaje sobre el avión. El acertado carenado y canalizadores del aire de refrigeración. El mínimo diámetro de sección frontal (cuanto menor es el valor de la superficie frontal mayor es el valor de la potencia por decímetro cuadrado), etc.

## MEJORAMIENTO DE LA TECNICA APLICADA CONSTRUCTIVA

Todo ello impone, y a la vez se deduce del mejoramiento de una técnica proyectista y de una técnica aplicada constructiva, bien sea en la obtención de aleaciones de más elevadas características (menor peso, mayor resistencia) de aceros binarios y ternarios, en los que la aleación de los metales componentes hace aptas a las piezas con ellos construídas para el trabajo que han de sufrir; en los aceros austeníticos y nitrurados empleados; en los tratamientos térmicos y mecánicos de aceros, aluminios y bronce; en la amortiguación o reducción de las vibraciones propias y de las inducidas; en la reducción al máximo de masas con movimiento alternativo; en la concepción del conjunto; en el trazado y dibujo de los órganos y piezas principales, estudiando el complejo de esfuerzos a que están sometidos y calculándolos mediante el empleo de mejorados procedimientos de cálculo, que permiten ahorrar material y simplificar las secciones resistentes; en el conocimiento más completo de las temperaturas de los diversos elementos y puntos o zonas del motor que es preciso refrigerar; en el mejoramiento del rendimiento de los compresores; en la puesta a punto del sistema de inyección; en la perfección de los órganos de encendido; en la refrigeración de las válvulas; en la adaptación de hélices de paso automático; en la utilización de combustibles de elevado índice de octano y de adecuados aceites lubricantes; en el perfeccionamiento e implantación de nuevos sistemas de alimentación y regulación; en el perfeccionamiento de los órganos de encendido; en el estudio de cojinetes; en la refrigeración general del motor; en la suspensión elástica, etc., como en otros varios perfeccionamientos que establecidos por las diversas técnicas constructivas, más o menos internacionalmente adaptadas—y que

se encuentran en las descripciones y documentación que acompaña a los motores utilizados y que saltan a la vista a poco que se examinen con un cierto sentido crítico—, ha permitido llegar a la construcción de los motores de potencias superiores a 2.000 cv., a la utilización de las aeronaves en alturas de 8.000 a 10.000 metros, al levantamiento de cargas de 35 a 50 toneladas, utilizando aviones trimotores o tetramotores, y a la posibilidad de los radios de acción de aeronaves pesadas con cargas relativamente elevadas, hasta de 10.000 kilogramos, así como otras posibilidades que aun hoy día pueden considerarse como asombrosas.

La técnica motorística, ante las crecientes exigencias de los utilizadores, ha debido subordinar sus concepciones y sus realizaciones a los fines utilitarios principales, concretándose así la existencia de varias grandes agrupaciones de motores: motores de gran y mediana potencia—subdividida en motores normales y motores de altura—; motores militares y motores comerciales; motores de pequeña potencia y motores de fines especiales. Destaca en esta clasificación la división de motores para fines militares y para fines comerciales. Los primeros, especialmente concebidos y construídos para que sean utilizadas sus máximas potencias en regímenes de sobrecarga y a repetidas aceleraciones con el más reducido peso; subordinando al logro de estas cualidades la vida del motor, así como en cierto modo el consumo, y muy marcadamente, la posibilidad de funcionamiento regular entre espaciadas revisiones. Los segundos, concebidos y construídos para asegurar con su robustez la seguridad de funcionamiento y su larga vida al régimen de utilización.

Y asimismo, la técnica motorística ha debido prever que en las realizaciones de los motores quede asegurada la protección y seguridad contra incendios, la adaptación del armamento y de los mandos de determinadas instalaciones del avión, la posibilidad de una fabricación de serie dentro de la precisión exigible, etc., etc.

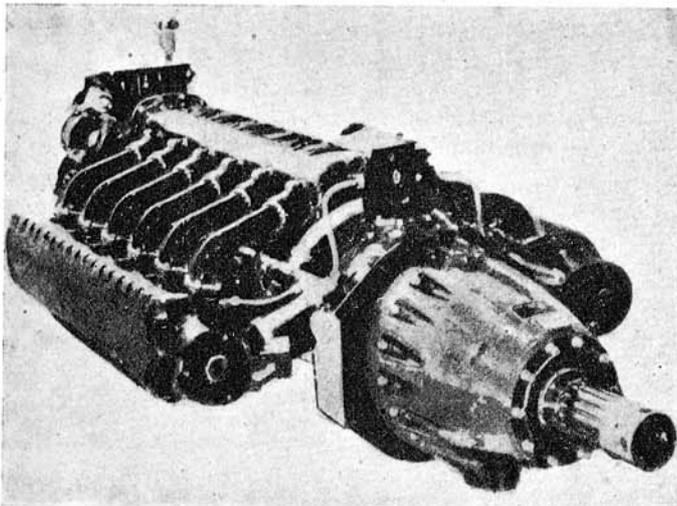
## PRUEBAS A REALIZAR EN LA PRODUCCION DE MOTORES

El logro de las elevadas características que en las anteriores líneas se han esbozado impone la realización de pruebas, tanto de comprobación de características como de calidad de la fabricación propiamente dicha, los cuales permitan determinar: *Potencias y consumos en función del régimen, de la presión de admisión y de otras variables atmosféricas; la regularidad del funcionamiento; el rendimiento termodinámico y mecánico; el comportamiento a diversos regímenes; los resultados tecnológicos de los materiales empleados en la construcción del motor y sus conjuntos; la verificación dimensional de las piezas sometidas a trabajo y esfuerzos dinámicos que puedan determinar desgaste, y la comprobación de los pesos parciales de los elementos y las totales de los conjuntos.*

Entre todo este complejo de pruebas y verificaciones, resaltan por su importancia las que se refieren a la determinación de características de potencia y utilización y de regularidad de funcionamiento en tierra y en vuelo, y las mencionadas como tecnológicas, tenida cuenta de las consideraciones anteriormente hechas sobre el estado actual de la técnica motorística y de las posibilidades constructivas con que se cuenta para la realización.

## PRUEBAS DE CARACTERISTICAS DE POTENCIA Y FORMULAS DE CORRECCION

Una de las preocupaciones actuales de la Técnica aplicada, por cuanto se refiere a la interpretación de los resultados obtenidos, es el estudio de la variación de la potencia, o mejor dicho, el desarrollo de potencia en altura con los motores sobrealimentados y sobrecomprimidos y su determinación partiendo de pruebas y medidas que sean posible realizar en las correspondientes instalaciones. Salvo en el caso de contar con instalaciones costosísimas y especiales que reproducen exactamente las condiciones en que ha de funcionar el motor en sus zonas de adaptación, *es preciso, para determinar la potencia desarrollada realmente, la aplicación de fórmulas de corrección* (si se trata de motores de potencias medianas o elevadas y si su desarrollo de potencia normal es a altura relativamente reducida) *y la aplicación de procedimientos especiales de determinación de la verdadera potencia desarrollada* (si los motores probados son de alta cota y de potencias elevadas).



Motor plano Lycoming.

Entre los varios procedimientos de prueba y determinación de potencia figuran los siguientes:

a) Determinación de la potencia realmente desarrollada en tierra con mariposa completamente abierta, medida directamente; y cálculo de la potencia desarrollada en la altura, aplicando a la potencia determinada en tierra una fórmula de disminución de la potencia. Este procedimiento puede considerarse que tiene únicamente aplicación en aquellos motores que, aunque sobrealimentados, están concebidos con relaciones de compresión reducida.

b) Determinación de la potencia desarrollada en la altura, haciendo uso de instalaciones de prueba o provistas de cámara de depresión en el circuito de alimentación; aplicando a la potencia medida las correspondientes fórmulas de corrección por las diferentes condiciones que en relación al funcionamiento del motor en altura se encuentra en la prueba sobre la instalación de tierra.

c) Determinación de la potencia desarrollada en la al-

tura, instalado el motor en cámara estanca, formando parte de la instalación que permite el funcionamiento del motor en condiciones absolutamente o casi absolutamente similares a como ha de funcionar en altura o en las condiciones de atmósfera tipo o atmósfera "standard" (condiciones normales de presión, temperatura y humedad). En la prueba de los motores de refrigeración por aire, la instalación de prueba reproduce el viento que incide sobre el motor en las condiciones reales de funcionamiento sobre el avión a utilizar. Esta instalación de pruebas comprende esencialmente: la cámara estanca, la instalación de refrigeración, la instalación de depresión, la instalación soplante, la instalación de humidificación, el banco de pruebas propiamente dicho y el cuadro de mandos.

d) Determinación de la potencia realmente desarrollada a la altura de restablecimiento, con la instalación simple de cámara de depresión en el circuito de alimentación, y determinación de la potencia realmente desarrollada a alturas superiores a la de restablecimiento mediante el empleo de fórmulas de corrección basadas en la ley de decrecimiento de la potencia con la altura.

Las fórmulas de corrección utilizadas para determinar la potencia que realmente desarrolla el motor a la altura cuya presión se reproduce con la depresión creada por la acción de la cámara, se basan en la aplicación de coeficientes que traducen matemáticamente el efecto del aumento de la relación de sobrealimentación en el compresor, el efecto de la temperatura del aire aspirado, el efecto de la contrapresión sobre el escape; todo ello en relación a las diferentes condiciones que existen en el funcionamiento real del motor a la altura de que se trata y aquellas en que se realiza la prueba.

La fórmula aceptada en diversas técnicas, que da el coeficiente de corrección, es:

$$C = f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 = [1 + 0,00063 a^2 (t - tz)]$$

$$\left( \frac{529 + t}{529 + tz} \right) \cdot \left( 1 + \frac{1}{100} \cdot \frac{760 - pz}{35} \right),$$

en la cual  $\rho = \frac{Pa}{pz}$  es relación de presiones, después ( $pa$ )

y antes del compresor ( $pz$ ), ( $pa$  observada en los conductos de alimentación y  $pz$  en el interior del cajón o cámara de depresión);  $t$ , la temperatura en grados centígrados del aire aspirado, observada en el interior de la cámara de la cual el motor aspira el aire, y  $tz$ , la temperatura en grados centígrados del aire tipo a la altura  $z$ , considerada, y a la cual corresponde la presión  $pz$  del interior del cajón.

Las distintas condiciones indicadas implican que:

a) La temperatura del aire admitido es realmente la del ambiente en el suelo, y no la que corresponde o se encuentra a la altura de utilización que se trata de reproducir.

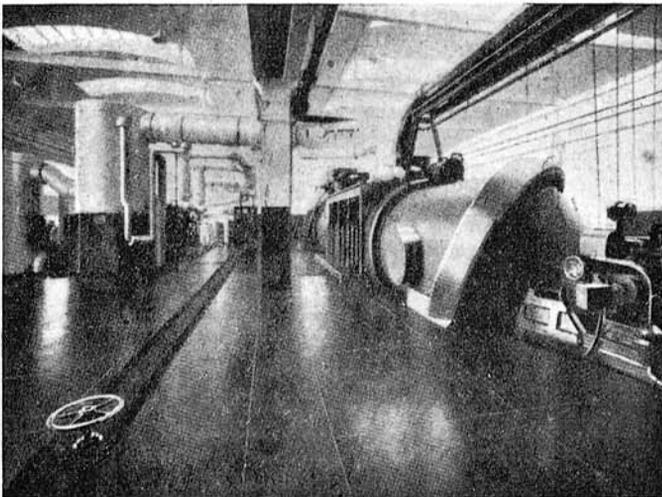
b) Que la presión o contrapresión en el escape, que es la del ambiente, difiere de la que se tendría a la altura de utilización que se trata de reproducir.

c) Que la temperatura de aire que entra en el compresor es mayor que la que se tendría a la altura de utilización que se trata de reproducir; una disminución de temperatura del aire de entrada se traduce en un aumento de presión del compresor para la misma presión inicial y para el mismo régimen de funcionamiento del motor.

La diferencia de condiciones citada significa finalmente que *la potencia medida en la instalación con cámara de depresión es menor que la que realmente desarrollará el motor en altura*, y, por tanto, para obtener el valor de ella es preciso la aplicación de las fórmulas de corrección empleadas.

## RESULTADO DE LAS INVESTIGACIONES REALIZADAS SOBRE LA EXACTITUD DE LOS PROCEDIMIENTOS Y FORMULAS DE CORRECCION

La veracidad de los resultados obtenidos mediante la aplicación de las citadas correcciones ha sido objeto en estos últimos años de múltiples y laboriosas investigaciones, comparándose los resultados de las fórmulas con los obtenidos en las instalaciones completas de pruebas en altura, así como en las medidas realizadas en vuelo; y analizando experimentalmente y comprobando aisladamente los efectos de los diferentes valores de cada factor influyente en el desarrollo de la potencia.



Instalación de la Casa Fiat para pruebas de motores en cota.

De esta investigación se ha deducido que las fórmulas dadas en las diferentes Normas vigentes para corrección de las potencias no son adecuadas para su utilización en los actuales motores de alta cota, de potencias elevadas; y muy especialmente resultan absolutamente inadecuadas para los motores de esta clase que se prevén para un próximo futuro (1).

Las siguientes conclusiones, obtenidas en varias investigaciones, plantean como sigue el problema de determinación de la potencia, utilizando el sistema de prueba con cámara de depresión, que es el generalmente utilizado hoy día:

a) El coeficiente para corregir el efecto de la diferencia de presión en el escape solamente puede considerarse de aplicación para alturas hasta de 6.000 metros y para presiones de alimentación próximas a 760 mm. de Hg., por en-

(1) Datos y conclusiones deducidos de informaciones publicadas sobre experiencias realizadas por la Fiat.

cima de las cuales no representa el verdadero efecto de la variación de la presión de alimentación. Asimismo, el valor del coeficiente es función además del tipo de compresor.

b) El coeficiente para corregir el efecto de la diferencia de temperatura del aire de aspiración es susceptible de dar resultados aproximados con presiones de alimentación de 700 hasta 760 mm. de Hg. y sobre pequeñas variaciones de temperatura. Conduce, por el contrario, a grandes errores si los valores de la presión de alimentación son sensiblemente diferentes a los indicados y si las variaciones de temperatura son muy grandes. La inexactitud de la fórmula varía además según las características y tipo del compresor y según la temperatura ambiente.

c) El coeficiente para corregir el efecto de la relación de compresión del compresor da resultados suficientemente exactos hasta 4.000/5.000 metros de altura. A alturas superiores varía el valor del factor numérico que entra en la fórmula, el cual puede depender del tipo del compresor utilizado y de la relación de sobrealimentación.

Estas son las conclusiones deducidas de pruebas comparativas, realizadas haciendo funcionar el motor en una instalación de alta cota en las mismas condiciones de funcionamiento que la prueba realizada en una instalación con cámara de depresión en condiciones normales, es decir, con una contrapresión en el escape de 760 mm. de Hg. y con aire de alimentación y refrigeración a 15°.

Con las fórmulas de corrección se calcularon la presión de alimentación y la potencia a plena admisión hasta las alturas en que se consideran válidas las fórmulas (de 7.000 a 8.000 metros); midiendo en cámara de alta cota y en las mismas condiciones la potencia efectiva y la presión de alimentación bajo las condiciones reales de funcionamiento en altura.

De las curvas levantadas consecuentemente de la "variación de la potencia con la altura y de la presión de alimentación" a plena admisión, en las dos diferentes condiciones de prueba, así como del estudio de la influencia en la potencia desarrollada, de la disminución de la contrapresión en el escape, de la variación de la presión de alimentación en función de la depresión en el escape, de la variación de la potencia en función de la contrapresión en el escape, de la influencia de la temperatura del aire aspirado por el compresor sobre la potencia desarrollada en el motor, y considerando en cada uno constantes las demás variables y con distintos valores la que titula cada uno de ellos, se ha llegado a los resultados que anteriormente se han expresado.

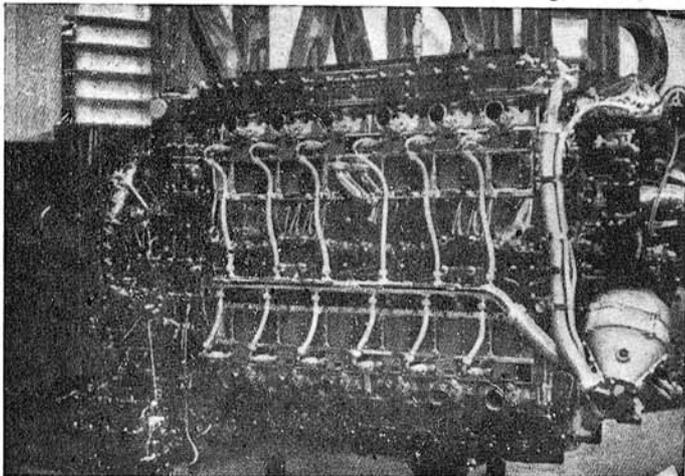
## NUEVOS PROCEDIMIENTOS Y FORMULAS DE CORRECCION

De las investigaciones llevadas a cabo se han deducido asimismo nuevas fórmulas y coeficientes y procedimientos de corrección para las pruebas realizadas con cámara de depresión, que dan con suficiente aproximación la potencia desarrollada.

Se ha demostrado asimismo que los dichos coeficientes de corrección varían notablemente según las características constructivas de los diversos motores; señalándose la conveniencia de agrupar los diversos tipos en grupos semejantes a los que se indican seguidamente: motores de 12 cilindros refrigerados por líquido, motores de 18 cilindros refri-

gerados por aire con compresor del tipo X, los mismos motores con compresor tipo Y; ensayando cada tipo característico en la cámara de alta cota y deduciendo en consecuencia para cada grupo las debidas fórmulas de corrección.

Pero es preciso advertir que si bien estas fórmulas darían resultados más precisos y exactos que las fórmulas actualmente especificadas en Normas, no responden al funcionamiento del motor en todas las condiciones ambientales y de funcionamiento posibles, no representando, por tanto, fórmulas generales de absoluta precisión.



Motor Napier "Dagger" de 24 cilindros en H.

Se acaba de mencionar la existencia de nuevas fórmulas obtenidas experimentalmente en las cámaras de alta cota y aplicables posteriormente a las medidas efectuadas en instalaciones normales de cámara de depresión, y asimismo se ha mencionado la determinación de procedimientos adecuados de corrección y obtención de los datos empleados en las fórmulas. De tales modalidades de cálculo de corrección puede considerarse como representativo el utilizado por la Fiat, tal como se consigna en la información en que se basan principalmente las consideraciones que en este trabajo se hacen. La corrección de la relación de sobrealimentación se aplica a la presión de alimentación y no a la potencia tal como se especifica en Normas; además, se tiene en cuenta la variación de la presión de alimentación debida a la depresión no influye la variación de alimentación por la depresión mas, es solamente necesaria cuando las características del compresor utilizado son tales que en la relación de compresión en el escape. Esta última corrección, no señalada en Normas del escape.

El procedimiento utilizado por la Fiat en la corrección de potencias medidas en cámaras de depresión es el siguiente:

a) Con el motor funcionando en la cámara de depresión a la cota de aspiración  $z$ , se mide la presión de alimentación.

b) Se corrige el valor de esta presión de alimentación medida, por la fórmula:

$$\text{Coeficiente de corrección} \left[ 1 - \frac{2}{100} \cdot \frac{250 + P_0}{250 \cdot p_0} \right]$$

( $p_0$  — presión de alimentación a la altura cero),

que expresa la variación de la presión de alimentación en función de la depresión del escape, y se obtiene así el valor de la presión de alimentación corregida por la influencia de este factor.

c) Se calcula la relación de sobrealimentación y se corrige por la influencia de la temperatura, según la fórmula expresada en Normas, aplicando el coeficiente numérico apropiado, obteniéndose la presión de alimentación real a la altura  $z$ .

d) Se determina por la curva de calibración (curvas determinando la potencia en función de la altura y presión de alimentación, a temperatura de aspiración constante) la potencia desarrollada por el motor en tierra con la presión real de alimentación a la altura  $z$ , tal como se ha determinado en el apartado b).

e) Se corrige este valor de la potencia por el coeficiente de corrección:

$$C_e = 1 + \frac{760 - Pz}{2295 + 7,55 (Pa - 650) + 1,52 (pa - 650)} 0,92$$

( $Pa$  es la presión de alimentación).

Se obtiene así el valor de la potencia corregida por la falta de depresión al escape.

f) Se corrige esta potencia, según la influencia de la temperatura de la mezcla, partiendo de los diagramas levantados, que expresan la variación del coeficiente de corrección de la potencia en función de la temperatura de la mezcla, o bien de los que expresan la variación del coeficiente de corrección en función de la temperatura del aire admitido a la altura de restablecimiento. Se obtiene así la potencia efectiva a la altura  $z$ .

Este procedimiento tiene especial aplicación y utilidad en las pruebas normales y de serie, puesto que, efectuada la prueba con molinete y haciendo uso de las curvas de calibrado, se puede hacer el cálculo de la potencia desarrollada en altura sin necesidad de medir en instalación dinamométrica la potencia desarrollada en la cámara de depresión. Cuando la prueba se efectúa sobre banco que permita medir potencia, en vez de deducir la potencia de las curvas de calibrado como se indica en el apartado d), se mide al freno la potencia en tierra con presión de alimentación igual a la de la cota  $z$ , procediendo a continuación como se indica en los apartados e) y f).

Es, pues, evidente la necesidad de contar con instalaciones de alta cota en la que puedan hacerse efectivas las condiciones de funcionamiento del motor en altura. Los resultados erróneos obtenidos al no efectuar las pruebas en las mismas condiciones atmosféricas y de refrigeración del motor no permitirán obtener las verdaderas características ni comprobar su calidad, consumos, etc. En general, los errores cometidos en la determinación de las potencias desarrolladas son mayores al tratarse de motores en los que, por ejemplo, el compresor está más expuesto a la temperatura exterior, contrariamente a lo que sucede con los motores radiales, en los que la temperatura de las paredes del compresor está mantenida más o menos constante por el aceite de circulación del motor y por efecto del carenado. Las instalaciones de alta cota para motores de refrigeración por líquido son menos costosas que las adecuadas para motores radiales o de enfriamiento por aire por razón de los principios de funcionamiento (evacuación de calorías desarrolladas y necesarias de evacuar por la corriente de refrigeración).

Las instalaciones de prueba en que puedan ser reproducidas las condiciones de presión reales en la admisión y en el escape, no obstante permiten determinar resultados de relativa exactitud, especialmente si se combinan con los resultados obtenidos con carácter experimental en instalaciones de alta cota completas. Y destacan finalmente en importancia sobre todas otras consideraciones el empleo de las curvas de calibrado deducidas de los datos experimentales, de eficaz empleo para la determinación de datos utilitarios y de rendimiento del motor.

**CORRECCION DE SOBREALIMENTACION DINAMICA**

Como es conocido, en los motores montados sobre avión es preciso considerar el llamado aumento de potencia debido a la sobrealimentación dinámica.

La elevación de potencia es atribuible a una mayor presión del aire de alimentación, debida al hecho de que gran parte de la energía cinética poseída por el aire que penetra en la toma dinámica se transforma en presión. En vuelo, la presión del aire aspirada por el motor es la suma de la presión atmosférica a la altura considerada y la sobrepresión correspondiente a la velocidad efectiva de la aeronave. La sobrepresión en la toma de aire crece para una altura proporcionalmente al cuadrado de la velocidad de la aeronave, y, por tanto, cuanto mayor es la velocidad de desplazamiento, tanto mayor resulta la altura para la cual puede ser mantenida la presión de alimentación máxima. *El efecto de la toma dinámica es, finalmente, elevar la altura a la cual conserva el motor su potencia normal, debiendo ser corregida la altura normal de funcionamiento del motor para la velocidad a la cual se ha de utilizar el avión que monta el motor.*

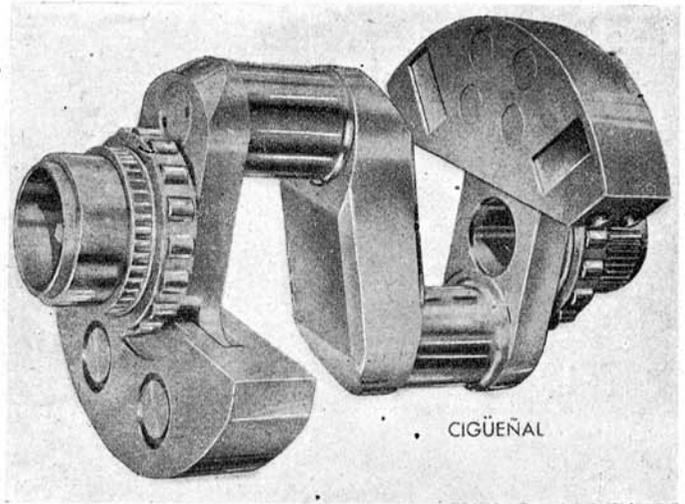
**RESUMEN DE ENSAYOS DE HOMOLOGACION EN LOS DISTINTOS PAISES**

NACIONES	Total de horas y minutos	HORAS A LA POTENCIA DE DESPEGUE	Potencia de homologación	Velocidad	70-90 % de homologación
			H. M.	H. M.	H. M.
(1) Alemania..	167,30	2,55 h. efectivas, incluidas en pruebas de despegue de 5 h. y duración de 150 h.....	15,20	0,30	148,45
(1) Italia. ...	155,20	50 m. efectivos, incluidos en las pruebas de despegue de 3 h.....	4	0,30	150
(1) Francia..	165,10	3,20 h. efectivas, incluidas en pruebas de 10 h. de despegue y duración de 150 h.....	13,50	0,30	147,30
(2) E. Unidos.	150	10 h. ....	50	5	85
(2) Inglaterra.	153	9 h. ....	42	1	101
(2) Rusia....	100		96		4

(1) Datos tomados directamente de las Normas.  
 (2) Datos tomados de la revista «L'Aerotecnica».

**CARACTER DE LAS PRUEBAS DE HOMOLOGACION**

Las pruebas de homologación en banco y en vuelo de los actuales motores representan una completa experimentación de ellos en todas las circunstancias en que ha de desarrollarse su funcionamiento. Y sus resultados, tenida en cuenta la dureza de las pruebas, tanto por la intensidad como por la duración, representan un último contraste en que concurren con su verdadera importancia todos los factores influyentes en la seguridad y vida del motor. En este conjun-



Cigüeñal de motor radial Hispano-Suiza, provisto de amortiguadores de vibraciones de torsión y de flexión.

to de pruebas figuran las que son propiamente de definición de características, realizadas en las instalaciones dinamométricas a las que se acaba de hacer referencia, y las que se realizan con molinete, con objeto de asegurarse de la resistencia del motor para un desarrollo de potencia superior, o en todo caso similar a la que desarrollará en condiciones de utilización. Y si bien estas pruebas en banco dinamométrico y banco-flotante intentan reproducir y reflejar como se ha manifestado las circunstancias de funcionamiento, carga, régimen, aceleraciones, inclinaciones, etc., no es menos cierto que las condiciones no podrán considerarse como idénticas a las de su real funcionamiento montado sobre avión en vuelo; en estas circunstancias, por ejemplo, las temperaturas de culatas y de cilindros, las aceleraciones al despegue, las condiciones de suspensión y fijación, la interacción de la estructura del avión sobre la refrigeración, las instalaciones, la adaptación del propulsor, las distintas condiciones de carburación, los cambios de régimen, el régimen crítico, etc., etc., serán bastante diferentes a las de las condiciones de prueba en tierra, y el comportamiento del motor para el fin que ha sido concebido no será exactamente definido si no se verifican las mencionadas pruebas en vuelo, que además determinarán, con perfecta veracidad, la altura normal, los consumos, el régimen de crucero, la recuperación, etc.

Las pruebas de tierra, es decir, las de homologación, si bien se ejecutan con modalidades en cierto modo diferen-

tes, ajustándose a normas en vigor en diferentes países, obedecen, no obstante, a las directrices de una técnica aplicada universal. En el adjunto cuadro puede observarse la esencia, en cargas y en tiempo, de las pruebas que marcan las diversas Normas:

Como puede observarse, la duración de pruebas a diversas cargas y régimen en todas ellas tienen exigencias proporcionadas a la utilización a dar los motores.

Ahora bien: los sistemas de prueba de homologación tienen modalidades diferentes que pueden apreciarse en los siguientes ejemplos:

a) Prueba, comprobación y determinación de la potencia al nivel del mar, siendo esta potencia la de homologación del motor en cota, en tanto ésta no sea muy elevada. Estas condiciones de prueba son realmente severas.

b) Prueba a la potencia de homologación a la altura de adaptación y a una potencia inferior al nivel del mar sobre la base de presión de admisión normal.

Comparativamente, y considerando las potencias homologadas al nivel del mar y las resultantes de crucero (por ejemplo, 90 por 100), la primera prueba de homologación determina potencias evidentemente superiores y las pruebas de duración resultan consecuentemente más duras.

En las prescripciones de las diversas Normas puede observarse la proporción de la duración de las pruebas a la potencia de homologación y a la de crucero. Evidentemente, las Normas, que exigen una mayor proporción de la prueba a la potencia de homologación, determinan en cierto modo la existencia de motores robustos y resistentes a expensas de las características que determinan cifras, límites de potencia, sobrecarga, aceleración, tiempo de empleo de las potencias máximas, etc., que caracterizan a los motores destinados a fines militares, aun en detrimento de las características de vida, frecuencia de revisiones, sustitución de elementos, etc.

### GRADO DE CALIDAD DE LA INSTALACION DE REFRIGERACION

Destaca también entre las cualidades a determinar en las pruebas la bondad de la instalación o sistema de refrigeración, y se especifican en algunas Normas los medios de interpretación de los resultados obtenidos al objeto. Las fórmulas que se recomiendan permiten determinar si una instalación motopropulsora en circunstancias especiales responderá dentro de límites de regular funcionamiento a las elevadas temperaturas exteriores atmosféricas en las zonas en las cuales se ve obligada a funcionar, partiendo de los resultados obtenidos en las mediciones efectuadas bajo condiciones de temperatura normales e incluso más bajas. Las fórmulas que se dan a continuación, así como el procedimiento de corrección, tienen aplicación tanto para motores de aire como de líquido, así como tienen utilidad para determinar el grado de calidad de la instalación de refrigeración de la lubricación. La fórmula de calidad, por ejemplo, para motores de aire, es la siguiente:

$$G = \frac{A - (t_p + 15)}{B - t_L}$$

Siendo:

G = Grado de calidad.

A = Temperatura máxima admisible de los cilindros en °C.

(Los valores límites son determinados por el fabricante del motor.)

$t_p$  = Temperatura CINA en °C, en la altura en la cual se realizan las mediciones.

B = Temperatura en °C, de los cilindros medida en la altura en la cual se realizan las mediciones.

$t_L$  = Temperatura del aire ambiente en °C, en la altura en la cual se realizan las mediciones.

### PRUEBAS TECNOLOGICAS Y VERIFICACIONES DIMENSIONALES

El conjunto de las pruebas tecnológicas y verificaciones dimensionales y de funcionamiento de los conjuntos complementan las pruebas de determinación de las potencias y las de resistencia de funcionamiento o duración, tanto en instalación de pruebas como en vuelo.

Todo este conjunto asegura, finalmente, la calidad constructiva y el regular funcionamiento, y asegura también que la vida del motor será la prevista, resistiendo los repetidos esfuerzos a que estará sometido en condiciones normales de funcionamiento, así como en aquellas circunstancias en que deba soportar cargas instantáneas consideradas como anormales o sobrecargas.

El progreso de los motores que anteriormente se ha reseñado, la obtención de potencias elevadas específicas, exige la alta calidad de los materiales empleados en la estructura del motor, especialmente por cuanto se refiere a aceros, bronce, aleaciones ligeras y ultraligeras, y en los procesos de fabricación de los diversos elementos, así como en la formación de los asientos—juegos y aprietes—de los elementos, constituyendo piezas y conjuntos.

Los resultados consignados que representan el estado actual de la técnica motorística y de la industria exigen para su logro que la verificación de la calidad de los materiales, la estructura interna, la homogeneidad de las piezas construídas, las superficies y las dimensiones estén dentro del grado de precisión que asegure la resistencia de todas las piezas componentes del motor a los esfuerzos a que están sometidas. Para ello, no solamente es necesario que se comprueben las composiciones y las características mecánicas de los materiales y que se verifiquen los procesos de fabricación en aquellas fases en que la materia puede ser transformada, sino que es preciso comprobar y garantizar, mediante pruebas no destructivas y exámenes críticos de los resultados, la ausencia de defectos internos de origen físico y físico-químico, susceptibles de provocar roturas o anomalías en funcionamiento del motor.

Responde a las exigencias actuales de la Aviación contar con un conjunto de verificaciones que aseguren en la construcción todo lo que ha sido previsto en el proyecto y cálculo para lograr la calidad. En esta cadena de verificaciones debe hacerse uso de todos aquellos medios y procedimientos que han creado la investigación científica y la práctica industrial. A los procedimientos clásicos, por llamarlos así, de los ensayos mecánicos, estáticos, dinámicos y de fatiga (tracción, compresión, resiliencia, dureza, fatiga, flexión, torsión, cizallamiento, viscosidad, plegado o doblado), a los análisis químicos y a los exámenes macrográficos y micrográficos que permiten determinar la estructura cristalina de la pieza y el

resultado de su tratamiento mecánico; a los análisis térmicos por medio del dilatómetro, que permiten conocer la eficacia del tratamiento térmico, y a las verificaciones mediante los colores y la observación pirométrica, han sucedido, sustituyendo en algunos casos a los procedimientos clásicos y en otros complementándolos, los procedimientos de análisis espectroscópico, el examen mediante rayos X, así como la verificación de defectos por medio del Metaloscopio.

Los procedimientos de medición y los medios para realizarla deben asimismo ser peculiares de esta clase de construcción, en que la tolerancia admitida es del orden de la centésima e incluso de la milésima. A los útiles de medida y calibres más generalmente conocidos se añaden en la construcción motorística los bancos micrométricos, los amplificadores, los comparadores ópticos, los pasímetros y optímetros, etc., así como juegos de calibres fijos y útiles de comprobación y ajuste peculiares de cada motor. En una palabra, todo un complejo instrumental de medidas que requiere una técnica de la medición para su empleo y para la determinación de sus tolerancias de trabajo y de desgaste, etc.

Los conjuntos y los accesorios requieren asimismo, para asegurar la bondad de su funcionamiento, utillajes y bancos de prueba, tanto para la comprobación del estricto funcionamiento de cada órgano o de sus elementos, como para determinar en ellos ciertas características. Tales son los dispositivos para determinar la carga de cierre de segmentos, su indeformabilidad, su desgaste, el comportamiento y deformación de los muelles bajo carga, el funcionamiento y taraje de los limitadores de presión, el equilibrio dinámico de piñones y rodets de compresor (éstos giran con velocidades del orden de 20.000/30.000 r. p. m. y superiores), el de sistema de embielaje, el de bombas, bujías, etc., etc. Todo ello constituyendo un costoso y complicado sistema de instalaciones de pruebas de elementos, cuya interpretación requiere similarmente una técnica de ejecución y de examen de los resultados, así como un método de relacionar efectos con causas.

### PROCEDIMIENTOS MEJORADOS DE VERIFICACION

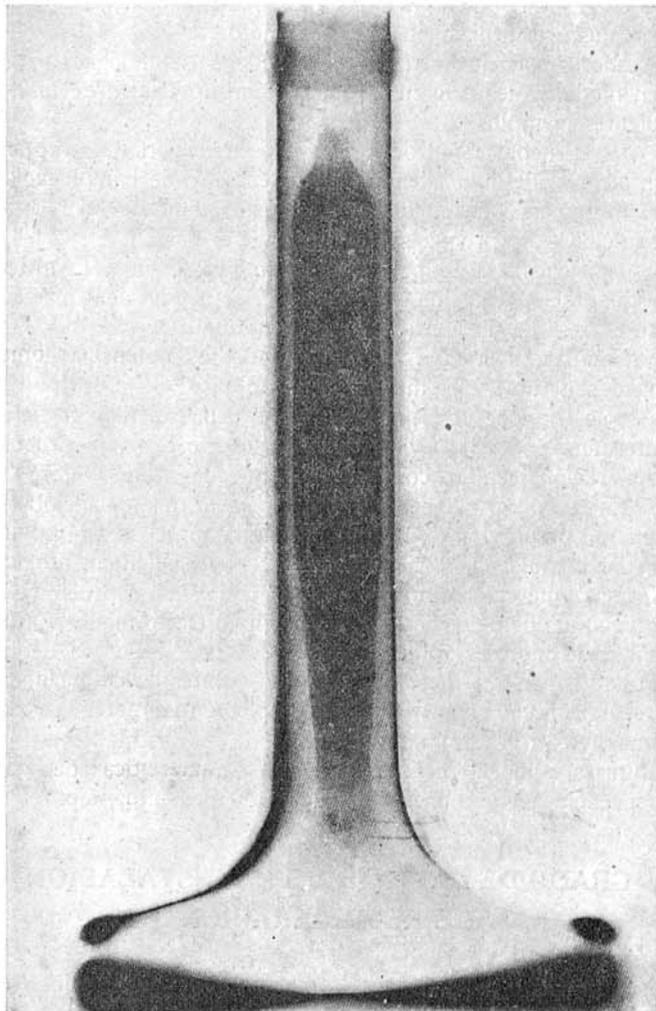
Las industrias motorísticas, cuya capacidad de producción es elevada y que evidentemente unen a ella la calidad, fruto de su técnica aplicada, luchan incesantemente por mejorar sus métodos de verificación, tomando como base las consideraciones axiomáticas de que para resultar eficaces deben ser:

*Seguros y concretos, sencillos en su aplicación, rápidos en su ejecución, claros y comprensibles en su interpretación;* tendiendo, entre otros fines, a no entorpecer la marcha de la fabricación y a descubrir defectos internos o no perceptibles en el simple examen de las piezas y materias.

Consecuencia de la aplicación de estos principios en la marcha industrial es la puesta a punto de los procedimientos citados de análisis espectroscópico, del examen estructural por Rayos X y de la investigación metaloscópica.

El análisis espectroscópico cuantitativo y cualitativo complementa y sustituye, con ventajas de rapidez y de examen unitario, a los análisis químicos y de dosificación hasta ahora utilizados para el conocimiento de la composición de materias y de piezas. Este procedimiento práctico, de fácil manejo, de rápida aplicación, de sencilla interpretación, tiene

utilidad en la industria motorística para la identificación rápida del tipo de aleación, para la verificación de la pureza de los metales y del resultado de los procedimientos de fusión y fundición.



Radiografía de una válvula hueca de motor refrigerado por aire.

Si se observan las líneas de espectros de una serie de aleaciones metálicas con proporciones diversas de componentes, puede observarse que las líneas espectrales correspondientes a un elemento son tanto más intensas y numerosas cuanto mayor es el tanto por ciento en que entra en la aleación considerada. El análisis espectral cuantitativo se basa en estos principios fundamentales. La apreciación de la intensidad de las rayas, siendo un método delicado, proporciona buenos resultados para componentes en elevado tanto por ciento; la desaparición de algunas rayas debe relacionarse con la disminución muy pronunciada del tanto por ciento de elemento componente. La determinación de los resultados está basada en la comparación de intensidades de las rayas, partiendo de aleaciones tipo o minerales tipo.

El empleo del examen espectrográfico y su aplicación queda concretado en el siguiente ejemplo de aplicación: Todos los constituyentes e impurezas que entran en la aleación,

con la que se funden piezas principales, son analizados mediante las correspondientes puntas de espectrógrafo en el banco espectrográfico. Los patrones han sido previamente estudiados por medio de análisis químicos repetidos tres o cuatro veces, y por comparación con ellos de las rayas del espectro se determina la composición de la aleación y la proporción de los componentes, así como el contenido de impurezas mediante el examen en banco fotométrico, que permite medir las por las intensidades de luz correspondientes a las leyes espectrales y en examen comparativo con muestras patrón.

El empleo del espectrógrafo requiere una técnica de empleo delicada; pero sus resultados permiten abreviar de modo comparativamente muy elevado el tiempo empleado en la determinación de componentes.

El empleo de los Rayos X, es decir, el examen radioscópico y el radiográfico, permite conocer defectos de dimensiones geométricas de un 7 por 100 con relación al espesor para espesores máximos de 50 mm. para el aluminio, 10 mm. para el hierro y 7 mm. para el cobre, si se trata del examen radioscópico; y apreciar defectos de 1,5 a 2 por 100 del espesor del metal en examen para límites de espesor de 300 mm. para el aluminio, 100 mm. para el hierro, 80 mm. para el cobre, con el examen radiográfico, cuando se cuenta con gran experiencia y práctica.

Con estos exámenes pueden ponerse de manifiesto diversos defectos de fabricación, bien sean de fundición, como de forja, tratamiento, etc., etc.

Así, por ejemplo, en el examen de pistones forjados, de culatas y "cárteres" fundidos, de válvulas forjadas y refrigeradas, de carburadores, de cojinetes de bronce al plomo, etcétera, etc., pueden determinarse rápidamente y con prueba individual todos los defectos que tales piezas pueden presentar y que incluso podían pasar inadvertidos en otros pro-

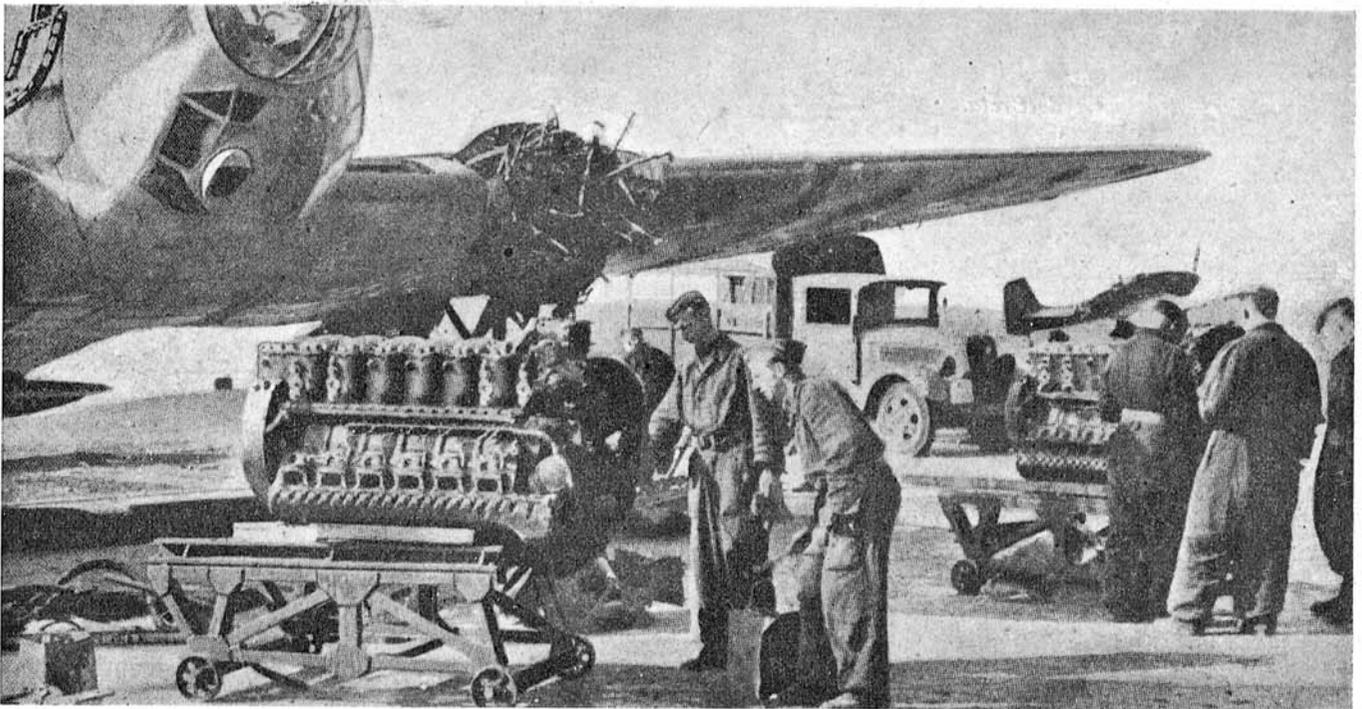
cedimientos de verificación; así, la falta de homogeneidad físico-química, las segregaciones de plomo, los correctos espesores, las grietas, etc.

La aplicación del examen por Rayos X en las verificaciones de construcciones en serie se lleva a cabo con el examen minucioso de una pieza en todas sus secciones, investigando si, por ejemplo, la pieza es un cárter, la homogeneidad, las inclusiones, las venteaduras, etc., y determinando consecuentemente las secciones probablemente peligrosas; en el resto de las piezas que forman el lote correspondiente se limita el examen a las secciones así localizadas.

El fundamento del examen metaloscópico es la utilización del Metaloscopio para la investigación de defectos en los elementos y materiales procedentes de fabricación o manufacturación por colado, laminado, etc. Se basa en el hecho de que si un material magnetizable es atravesado por una corriente magnética, la intensidad del campo será tanto mayor cuanto mayor sea la saturación magnética. El Metaloscopio pone rápidamente en evidencia defectos, tales como líneas de rotura superficiales, heterogeneidad de material en diversas secciones como consecuencia de soldaduras incompletas, rajos, oclusiones, etc., así como diferencias estructurales o cambios de estructura interna.

Mediante el examen metaloscópico es posible conocer los defectos de productos semimanufacturados, lingotes, barras, etcétera, así como aquellos elementos como bielas, cigüeñales, válvulas, balancines, ejes de émbolo, discos de levas, piñonajes, rodetes, etc., sin necesidad de destruir las piezas.

El empleo del Metaloscopio exige una técnica de la interpretación del campo creado y de la orientación y distribución de las líneas de fuerza, denunciándose rápidamente al contar con alguna práctica los defectos superficiales o internos, así como las anomalías o cambios de estructura.



Sustitución, en un aeródromo de campaña, de un motor Jumo 211, de un bimotor alemán, y que había sido averiado por un proyectil antiaéreo enemigo.