

Los orígenes del motor a reacción axial

**JAVIER SÁNCHEZ-HORNEROS
PÉREZ**
*Ingeniero en programa
NGWS&FCAS*

El motor a reacción axial es la tecnología de motores a reacción más utilizada, prácticamente estándar desde aproximadamente los años 50, gracias a una serie de factores en los que destacan: el menor diámetro de su compresor frente a su equivalente centrífugo, capacidad de desarrollo tecnológico, y un aumento de rendimiento y de empuje con relativa facilidad mediante la incorporación de escalones o etapas. Y por último, por su rapidez y flexibilidad de respuesta ante cambios bruscos en el mando de gases, fundamental en el pasado, dada la ausencia de unidades de control de combustible que garantizaran una ausencia de un *compressor stall* o un *flame out* durante la ejecución de maniobras de combate.

Como vimos en la Revista de Aeronáutica y Astronáutica (n.º 916), Frank Whittle demostró en su tesis «Future Developments in Aircraft Design» (1928) la dificultad de realizar vuelos a gran altura y velocidad (por encima de las 500 millas por hora) con un motor de hélice convencional, proponiendo el uso de un motorjet: motor de pistón convencional para proporcionar aire comprimido a una cámara de combustión, utilizando los gases de escape para generar empuje, demostrando una eficiencia superior a grandes altitudes. Poco después, sus estudios se encaminaron hacia el empleo de compresores centrífugos, bastante conocidos gracias a la industria del automóvil, desechando los de tipo axial, en tanto en la década de los 20, habían sido tachados de bajo rendimiento, al emplear álabes planos. Así, como descubrió A. A. Griffith, ingeniero mecánico, prácticamente, comprimían en pérdida, sugiriendo emplear álabes basados en perfiles alares.

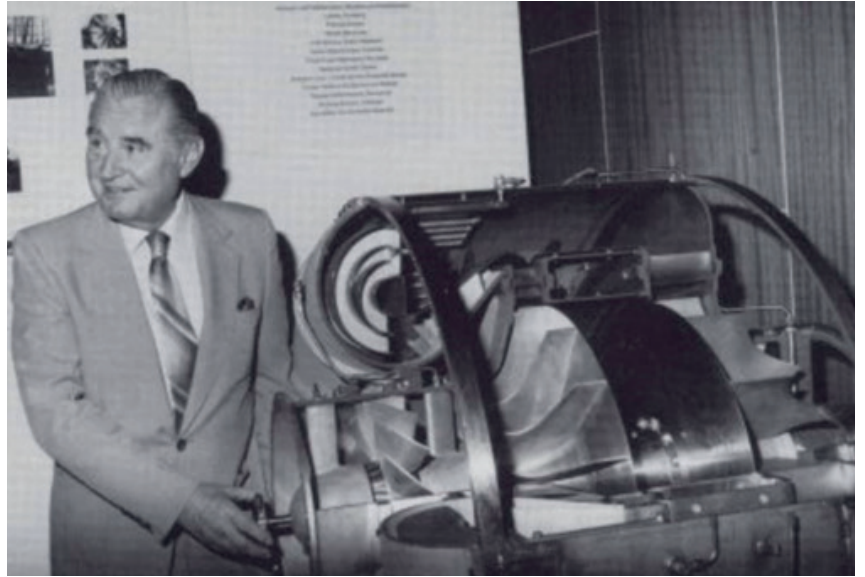
Whittle continuó con su idea de compresor centrífugo, encontrando por parte de las autoridades dificultades, un escaso interés, y escepticismo.



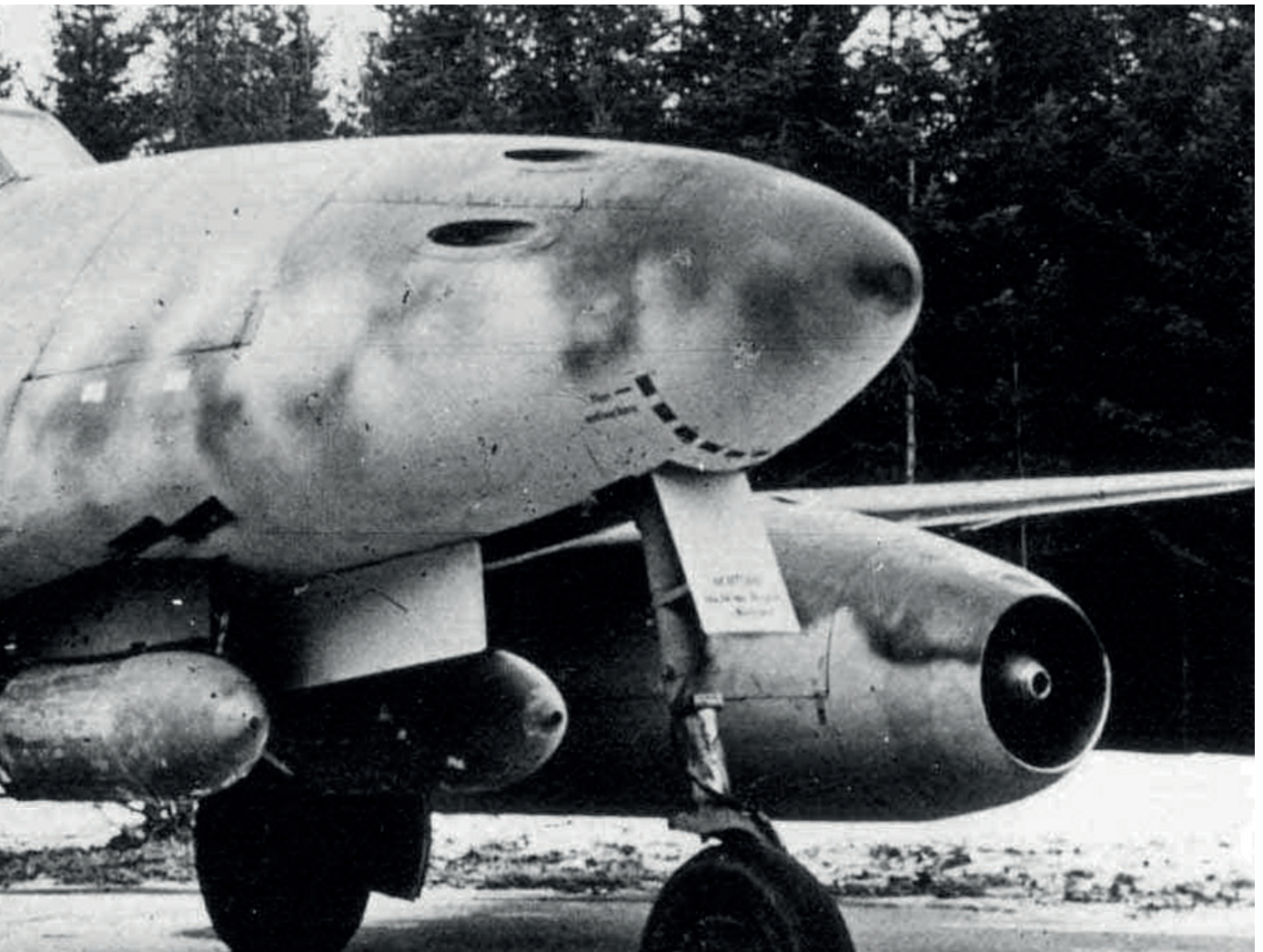
Me-262

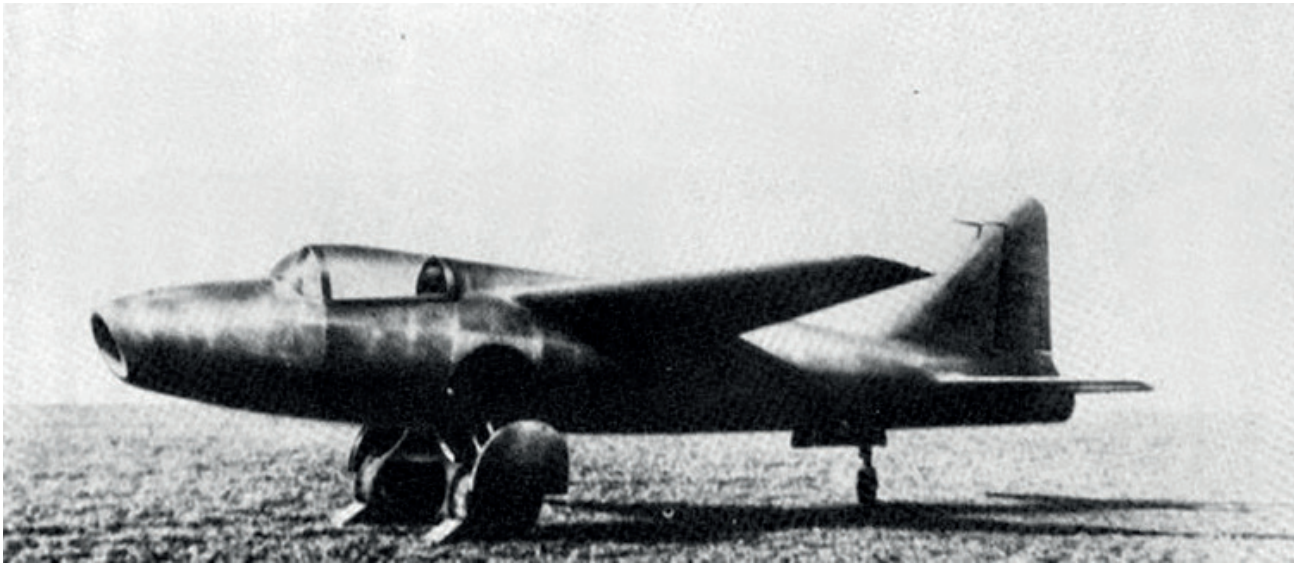
LOS PRIMEROS DISEÑOS ALEMANES

En Alemania la situación era muy similar, con la diferencia fundamental del interés del RLM (Ministerio del Aire alemán), especialmente durante la Segunda Guerra Mundial. El doctor Hans-Joachim Pabst Von Ohain ya había realizado algunos estudios previos, proponiendo, el HeS-1, que empleaba hidrógeno como combustible, demostrándose durante los tests un rendimiento reducido respecto al combustible líquido. Fue necesaria una nueva aproximación, el HeS 3B, de empuje de 4,4 kN, que combinaba un compresor axial de un escalón, y un centrífugo. El motor se integró



Von Ohain durante una exposición en el Air Force Museum en 1978, mostrando su creación. (Imagen: USAF)





He-178, en una imagen recogida en la publicación «An Encounter Between the Jet Engine Inventors» (1978)

en un He-178, convirtiéndose en 1939, en el primer avión a reacción de la historia.

Los diseños continuaron evolucionando hasta el HeS-011, de compresor axial de tres etapas y un compresor centrífugo de una, accionados por una turbina de dos etapas. Generaba un empuje de 12 kN, integrando como unidad de arranque el motor de combustión interna Riedel de 7,5 kW montado en un conduc-

El Jumo se diseñó para operar con tres tipos de combustible: J-2 (un tipo de combustible sintético que se convertiría en el combustible principal del motor), diésel y gasolina de avión, esta última con un problema del alto consumo

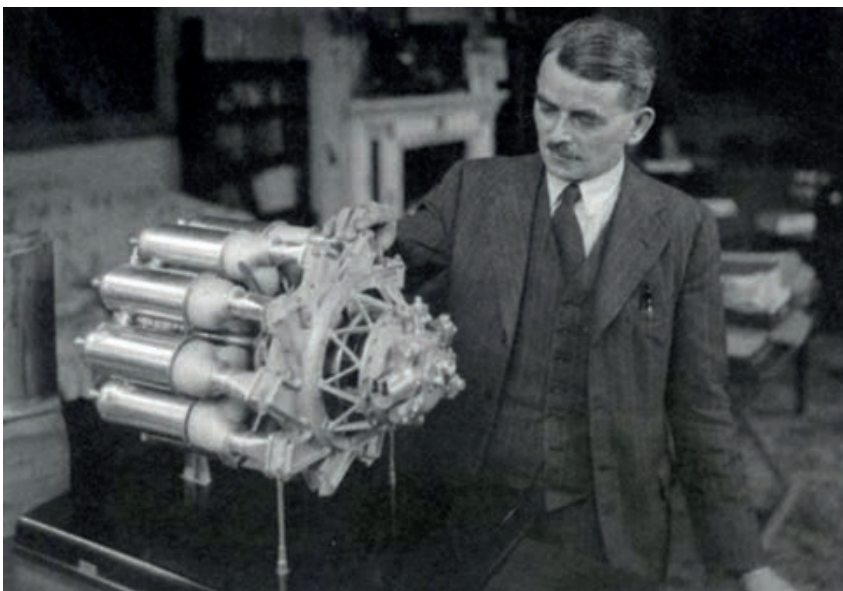
to especial a la entrada. Disponía de capacidad de variación de la sección de salida (mecanismo Zwiebel).

Pese al prometedor diseño, no llegó a entrar en producción.

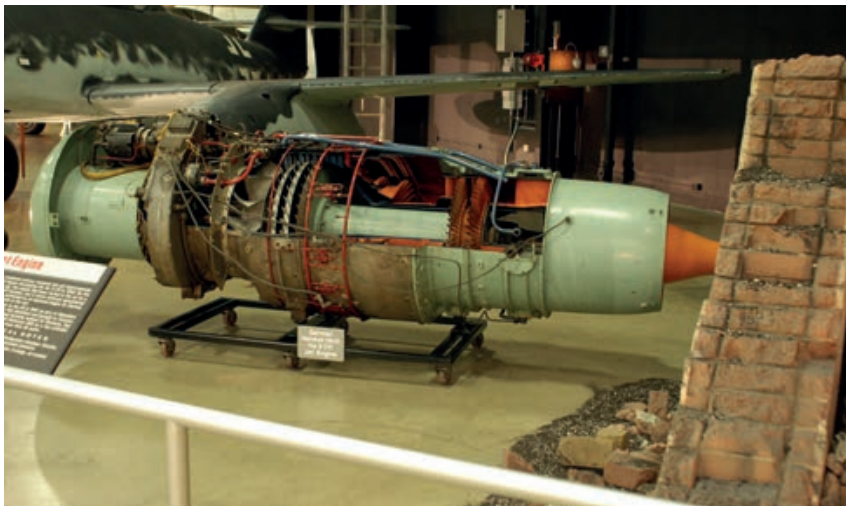
Y NACE EL JUMO

A su vez, el doctor Anselm Franz, a cargo del desarrollo de turbocompresores y sobrealimentadores en Junkers, optó por un diseño íntegro de turbocompresor axial para el Junkers Jumo 004, el motor de, entre otros, el Me-262. Este tipo de compresor había sido desarrollado y estudiado por la AVA (Aerodynamische Versuchsanstalt), alcanzando una eficiencia de alrededor del 78% en condiciones reales con una sección transversal menor que la de un motor centrífugo. Empleaba seis cámaras de combustión, en vez de una única de tipo anular como las actuales, simplificando la producción. El desarrollo de la turbina corrió a cargo de AEG.

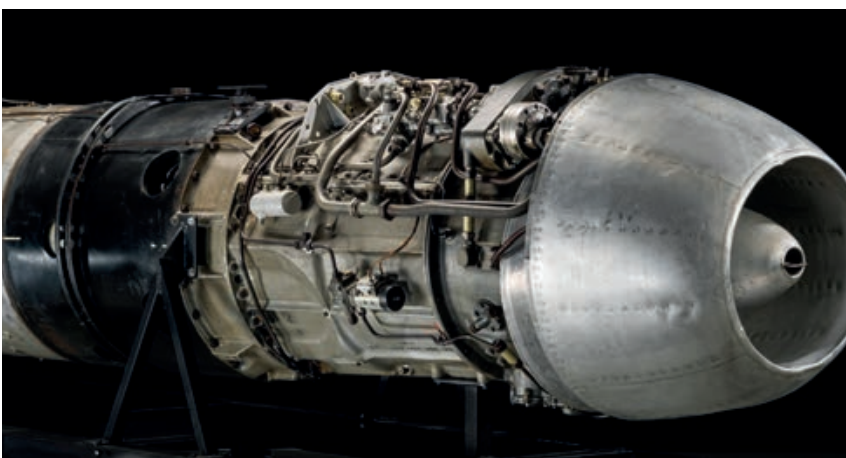
Curiosamente el primer prototipo (004A) empleaba diésel como combustible, probándose en 1940. Numerosas mejoras introducidas trajeron consigo el incremento de empuje inicial, de 4,2 kN a 5,9 kN, solventando, gracias a un nuevo diseño



Sir Frank Whittle y una maqueta de su prototipo. (Imagen: Royal Air Force)



El HeS-011 en el Museo de la USAF. (Imagen: USAF)



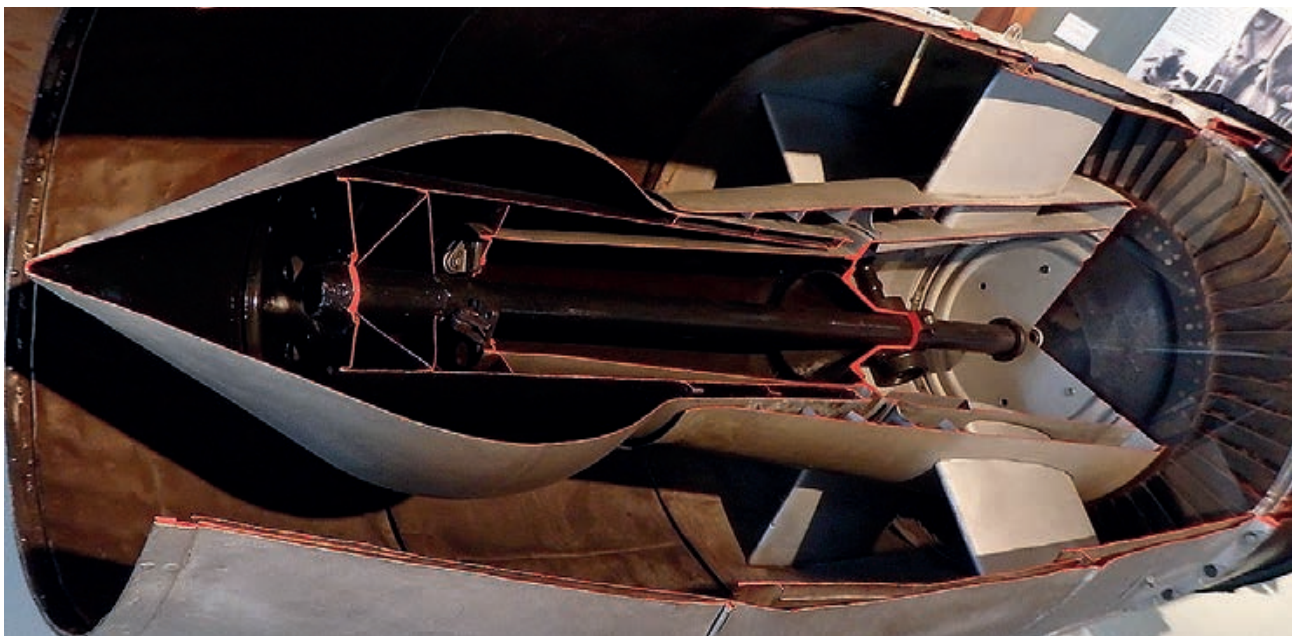
Jumo 004. (Imagen: National Air and Space Museum, Smithsonian)



Vista frontal del Jumo 004, en donde se aprecia el tirador de la unidad de arranque, un motor de motocicleta Riedel, en la admisión (Imagen: Distractreact)

del estator por parte de Max Bentele, los problemas de vibraciones que surgían en los álabes del compresor. Al sustituir el material de estos por aleación a acero, logró superar un test de resistencia de 10 horas de funcionamiento continuo a 9,8 kN. El Jumo se diseñó para operar con tres tipos de combustible: J-2 (un tipo de combustible sintético que se convertiría en el combustible principal del motor), diésel y gasolina de avión, esta última con un problema del alto consumo.

Un Messerschmidt Bf-110 fue el encargado de probar el motor en vuelo, el 15 de marzo de 1942. Las pruebas siguientes se ejecutaron en prototipos del Me-262 (que disponían de un motor de hélice en el morro), apareciendo problemas relativos a la escasez de materiales necesarios en tiempos de guerra que debían emplearse en proporciones generosas: níquel, cobalto y molibdeno. La situación conllevó un rediseño del motor (al 004B), reduciendo su vida operativa: todas las zonas de metal predispuestas a sufrir calentamiento, incluyendo la cámara de combustión, se fabricaron de acero de fundición, recubiertas con aluminio. Los álabes de la turbina se fabricaron de cromadur (aleación con un 12% de cromo, un 18% de manganeso y un 70% de hierro), refrigerándose mediante el sangrado del motor. A finales de 1943 volvieron a surgir problemas de vibraciones, solventados incrementando la frecuencia de vibración natural de los álabes, reduciendo su longitud un milímetro, aumentando su conicidad y reduciendo la velocidad operativa del motor de 9000 a 8700 revoluciones por minuto, disminuyendo el empuje máximo a 8,8 kN, en un compresor de ocho etapas. El resultado global fue la disminución de la vida útil del motor a una media de 10-25 horas, posiblemente el doble en manos de un piloto experto.



Mecanismo Zwiebel con capacidad de movimiento longitudinal (Imagen: autor)

EL BMW 003

La aproximación más tradicional del Jumo 004 demostró ser válida cuando el motor entró en producción antes que su competidor directo, el BMW 003. Diseñado inicialmente por la Brandenburgische Motorenwerke o BRAMO como 109-003 (el prefijo 109 era común para todos los proyectos de motores a reacción y cohete) hasta su compra por parte de BMW en 1939 BRAMO había diseñado también el 109-002, con un compresor contrarrotatorio muy sofisticado, pensado para eliminar el par de rotación. Pronto este

concepto se eliminó en tanto un motor de diseño más simple ya planteaba suficientes problemas a resolver, continuando con su desarrollo.

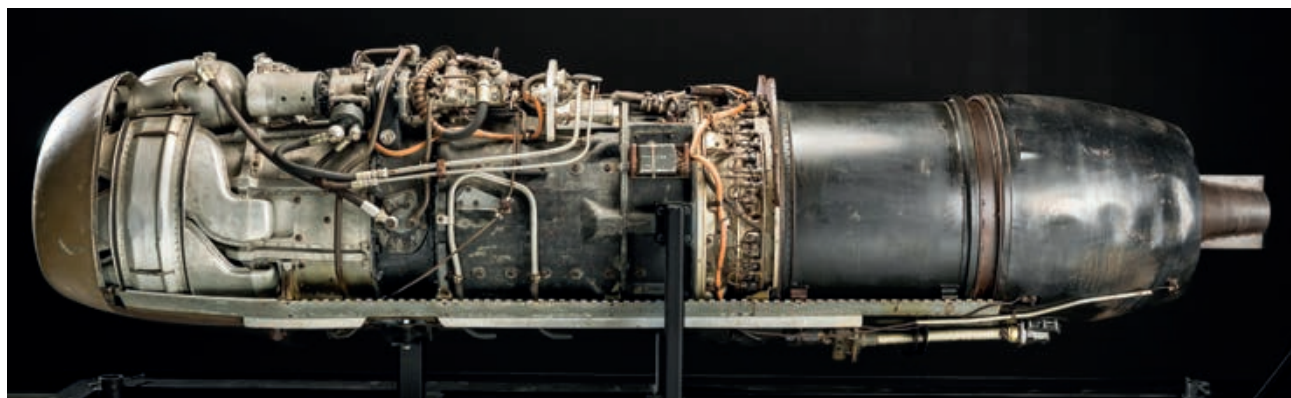
LOS PROBLEMAS A LOS QUE SE ENFRENTARON

En todos los casos, algunos de los desafíos a los que se enfrentaron todos los prototipos fueron:

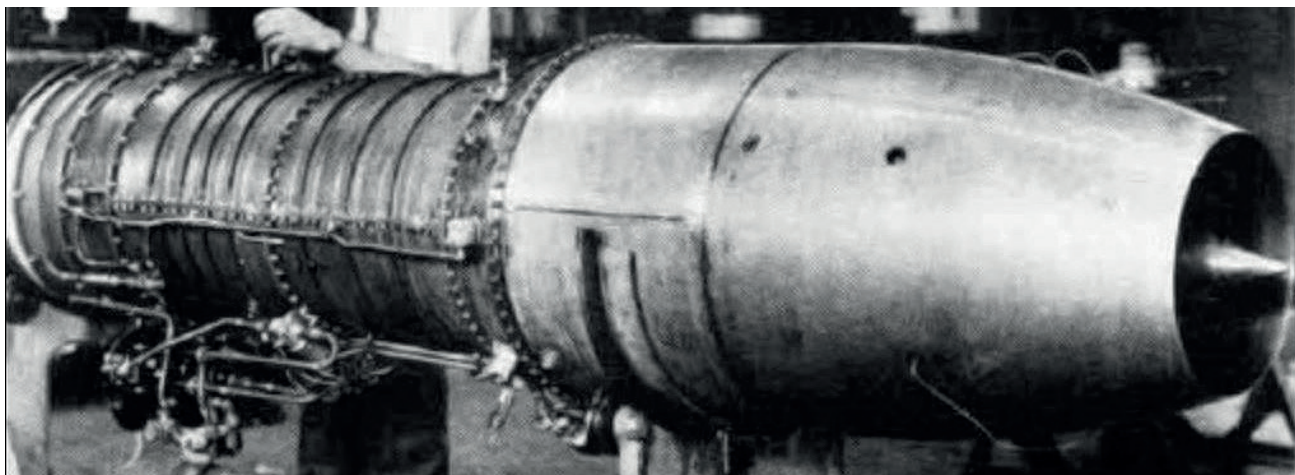
- Tecnología metalúrgica de la época, que originaba problemas en cuanto a temperaturas alcanzadas (sobrecalentamiento), especialmente en la cámara de combustión y en la turbina, y sus efectos estructurales.

- Frecuencia de vibración de los álabes: las altas revoluciones que desarrollan por minuto crean una fuerza centrípeta -o de escape- de tal magnitud que, si estuvieran fijos, se resquebrajarían por la base, factor acentuado por las temperaturas alcanzadas, especialmente en la turbina.

- La actitud del avión y maniobras ejecutadas (actitud, ángulo de ataque, y factor de carga entre otros), incompatibles con el normal funcionamiento del motor. Este factor se acentuaba con movimientos bruscos del mando de gases a baja



BMW 003. (Imagen: National Air and Space Museum, Smithsonian)



El J30, que se integraría en el McDonnell FH-1 Phantom. (Imagen: US Navy)

velocidad, pudiendo generar un compresor stall.

- Formación de hielo en la zona de admisión e ingesta del mismo por el motor en forma de cristales, afectando al rendimiento del motor.

EL LEGADO

Tras la Segunda Guerra Mundial, los aliados analizaron los desarrollos tecnológicos alemanes, adaptándolos a sus nuevos proyectos avanzados. Por parte británica, el consorcio Metropolitan-Vickers (MetroVick), había diseñado el F.2 (1941), extremadamente avanzado para la época y considerado poco fiable, evolucionando al F.9 Sapphire una vez que MetroVick dejó el negocio, en 1947.

Por parte americana, estaban inmersos Lockheed, General Electric y Westinghouse, quien en 1942, había diseñado el J30 (5,34-6,23 kN según desarrollo), el único con éxito de entre todos. Finalmente, la Unión Soviética con Lyulka (integrado actualmente en NPO Saturn) como máximo exponente, siguió un camino propio, obviando cualquier adaptación del equipo alemán capturado, creando los S-18/VDR-3 y la familia TR, que culminarían en el AL-7 de 1954.

El Jumo 004 se convirtió en un referente de diseño de los motores a reacción estadounidenses, des-

El Jumo 004 se convirtió en un referente de diseño de los motores a reacción estadounidenses, destacando el J-35 y especialmente, el J-47, uno de los más utilizados y con más variantes de la Guerra Fría

tacando el J-35 y especialmente, el J-47, uno de los más utilizados y con más variantes de la Guerra Fría. El

BMW 003 tomaría un rol parecido en el caso francés, siendo la base de los motores SNECMA ATAR.

Tanto el J-47 como el ATAR en su variante 9C (Mirage III) pueden contemplarse en el Museo de Aeronáutica y Astronáutica. ■

BIBLIOGRAFÍA

- «An Encounter between the Jet Engine Inventors». Whittle, Frank; Von Ohain, Hans. Mayo 1978.
- «Desde el T-33 al Eurofighter. Los Aviones de Combate a Reacción en el Ejército del Aire». Sánchez-Horneros Pérez, Javier. Ministerio de Defensa (Publicaciones de Defensa). Segunda Edición. Septiembre 2018.
«Motores de Reacción». Cuesta Álvarez, Martín. Editorial Paraninfo. 1997.



Metropolitan-Vickers F.2. (Imagen: Barmaglot)