

Energía nuclear para aviones

Por ANDREW KALITINSKY

Ingeniero Jefe de la Sección de Energía Nuclear para la propulsión de aviones de la Fairchild Co.

(De *Air Affairs*.)

La aplicación de la energía atómica a la propulsión de aviones no constituye empresa fácil; no hemos fabricado aún un grupo motopropulsor nuclear; pero podemos decir ya que nos estamos acercando rápidamente al punto en el cual el aprovechamiento de la energía atómica como fuente de energía exige no tantos nuevos descubrimientos como una gran cantidad de experimentación.

El aprovechamiento de la energía atómica como fuente de potencia para aviones promete poder conseguir características de actuación inalcanzables con los combustibles químicos de hoy día; es decir, aviones en los que se combine una velocidad en extremo elevada con un radio de acción casi ilimitado. Una aplicación tal de la energía atómica puede con el tiempo hacer posible la construcción de un bombardero de gran velocidad capaz de volar alrededor del mundo sin necesidad de repostar.

Si los físicos, los ingenieros y la industria toman parte activa y creciente en su desarrollo, el empleo práctico de la energía atómica puede convertirse en una realidad.

El peso bruto requerido impone ciertas limitaciones definidas a la actuación posible de los aviones que utilizan combustible normal, ya que dicho peso bruto del avión aumenta con el radio de acción y con la velocidad. Para una velocidad dada, el peso bruto necesario aumenta rápidamente con los esfuerzos para incrementar el radio de acción cuando crece la cantidad de combustible necesaria, hasta que la curva que representa esta actuación se hace prácticamente vertical. Más allá de este punto, si intentamos proyectar un avión de mayor radio de acción a esta velocidad dada, no podemos hacerlo, cualesquiera que sean las dimensiones del avión que elijamos. Inversamente, cuando la

velocidad del avión se aumenta, el peso bruto para cualquier radio de acción elegido aumenta también. Y lo que es aún más importante, el radio de acción máximo que puede obtenerse, bajo cualesquiera condiciones, decrece a medida que la velocidad aumenta.

A causa de esta limitación de la velocidad y del radio de acción en los aviones que utilizan combustibles normales (incluidos los aviones de reacción), nos enfrentamos con la necesidad de encontrar un nuevo combustible. Si es que vamos a ampliar el radio de acción, haciendo que supere al de los aviones actuales o en proyecto que emplean combustibles «normales», la energía nuclear parece constituir una solución atractiva en extremo. Nuestros actuales aviones supersónicos se quedan sin combustible en cuestión de unos pocos minutos. Con la energía atómica podría concebirse que volaran por tiempo indefinido, ya que su aprovisionamiento de combustible se mantendría casi constante.

Sabemos que existen varios tipos fundamentales de grupos motopropulsores que pueden ser adaptados para utilizar esta clase de energía en la propulsión de aviones. Todos ellos son grupos motopropulsores térmicos, ya que la energía procedente de la desintegración nuclear se produce principalmente en forma de calor.

Muchos de los problemas que surgen en el camino de la realización práctica de grupos motopropulsores atómicos para aviones están relacionados con el empleo de altas temperaturas. A diferencia de lo que ocurre en los motores que utilizan combustibles normales, la razón principal que exige altas temperaturas en un motor nuclear no la constituye un rendimiento térmico elevado. El consumo específico de combustible es de vital importancia, tratándose de un motor que utiliza com-

bustibles químicos. Sin embargo, tratándose de un combustible como el uranio, con un poder calorífico de 40.000 millones de B. T. U. (unidades térmicas británicas) por libra, el consumo específico de combustible es tan reducido que puede decirse que no existe, mientras que el rendimiento térmico, por sí mismo, no constituye un objetivo de primer orden (1). No obstante, se trata de conseguir características elevadas, y esto exige altas temperaturas de trabajo.

Sobre el papel, el «ramjet» es el tipo más sencillo de grupo motopropulsor que puede idearse. El aire penetra en el difusor por el extremo delantero del motor y resulta comprimido por la velocidad de avance del avión. Luego pasa a través del reactor nuclear, en donde se calienta, alcanzando una elevada temperatura, y pasa a la tobera de escape, en donde se expande y adquiere la gran velocidad que proporciona el impulso o tracción. El «ramjet» exige una velocidad de vuelo muy elevada para funcionar debidamente y sólo llega a resultar realmente eficaz a velocidades muy dentro del campo supersónico. Las temperaturas del aire que exige el «ramjet» son muy elevadas, considerablemente más altas que las que necesita el turborreactor. Al mismo tiempo el «ramjet» es muy sensible a los descensos de presión provocados por la resistencia interna al paso del aire a través del reactor o de la cámara de combustión. El lograr buenas condiciones de conductibilidad térmica tiene que pagarse siempre con considerables descensos de presión. El «ramjet», por tanto, no constituye un problema tan sencillo como parece a primera vista.

Otra aplicación de la energía nuclear la constituye su empleo en el turborreactor. En este caso, lo que se hace es sencillamente sustituir la cámara de combustión del turborreactor normal por un reactor nuclear. Se comprime el aire y se le hace pasar por el reactor, en donde se calienta por convección, en lugar de por combustión del combustible. Luego se expande en parte en la turbina, lo bastante para accionar el compresor, y, finalmente, en la tobera del reactor, en donde su expansión

crea la fuerza propulsora. Este tipo de grupo motopropulsor parece muy adecuado para su empleo en los aviones actuales que desarrollan grandes velocidades.

Otro ejemplo de grupo motopropulsor térmico que podría utilizar combustible atómico es la turbina de ciclo cerrado, bien de mercurio o bien de vapor. El vapor se genera en el reactor nuclear mediante el calor producido en su seno. El reactor, por tanto, viene a sustituir a la caldera utilizada en un grupo motopropulsor normal de vapor. El vapor se expande a través de la turbina, la cual, a su vez, acciona la hélice. El vapor se condensa luego en un condensador de refrigeración por aire y se ve forzado a regresar al reactor-caldera mediante una bomba de alimentación. Este tipo de grupo motopropulsor exige el empleo simultáneo de un condensador de refrigeración por aire y una hélice, cosa que limitará evidentemente la velocidad del avión en que pueda utilizarse eficazmente.

En la aplicación de la energía nuclear a un cohete, un agente propulsor (hidrógeno líquido, por ejemplo) se extrae del depósito en que va almacenado y pasa a través del reactor, en donde se vaporiza y calienta a gran temperatura. Luego escapa a gran velocidad por la tobera de salida. El cohete resulta accionado por la rápida expansión de los gases de escape por la tobera, y de esta forma no depende del aire atmosférico para su funcionamiento. Por tanto, podría actuar fuera de la atmósfera de la Tierra.

Puede ahora formularse la pregunta de en dónde está la ventaja de utilizar la energía nuclear en los cohetes, puesto que su «duración» es limitada, y solamente pueden actuar hasta que se agota el combustible, independientemente del hecho de que el aprovisionamiento de energía del reactor sea prácticamente ilimitado. La energía nuclear presenta una ventaja bien definida tratándose de cohetes, porque el impulso máximo, o sea el número de libras de tracción que pueden obtenerse por cada libra de combustible empleado por segundo, resulta de una combinación de la temperatura más elevada posible con el peso molecular más bajo posible del combustible.

En un cohete que aprovecha un proceso químico, esta elevada temperatura se obtiene

(1) 40 000 millones de B. T. U. \times 0,252 = 1.028 millones de kilo-calorías = 1.028.000 millones de calorías-gramo.

generalmente mediante la combinación del combustible y de un oxidante; los productos resultantes de esta combustión se emplean entonces como agente propulsor. Como éste es el resultado de la combinación de al menos dos átomos, su peso molecular será correspondientemente elevado. Si, por ejemplo, se emplean oxígeno e hidrógeno, el agente propulsor resultante es vapor de agua, el cual tiene un peso molecular de 18. Si la energía nuclear es la utilizada para obtener altas temperaturas, no hay necesidad del proceso de combustión, y puede emplearse un agente propulsor muy ligero, como el hidrógeno (peso molecular, 2). El impulso específico del hidrógeno puro a una temperatura dada es tres veces el del vapor de agua.

El problema de la temperatura se agrava con el problema de conductibilidad térmica. En realidad estamos dando un gran paso atrás en el camino del desarrollo del motor ligero. El gran avance realizado en el campo de la proyección de motores ligeros y que hizo posible el automóvil y el avión, se logró cuando se supo cómo evitar la conductibilidad térmica a través de paredes, como en una caldera. O dicho de otra forma, con el advenimiento de la combustión interna.

En un motor atómico el calor se genera dentro de las partes sólidas del reactor, y ha de ser transferido al fluido operante a través de superficies conductoras. Afortunadamente, hemos aprendido mucho en los últimos cincuenta años acerca de la conductibilidad térmica, y, por tanto, no hemos tenido que volver a empezar desde el motor de gasolina.

Sin embargo, queda en pie un hecho fundamental, y es que las superficies internas

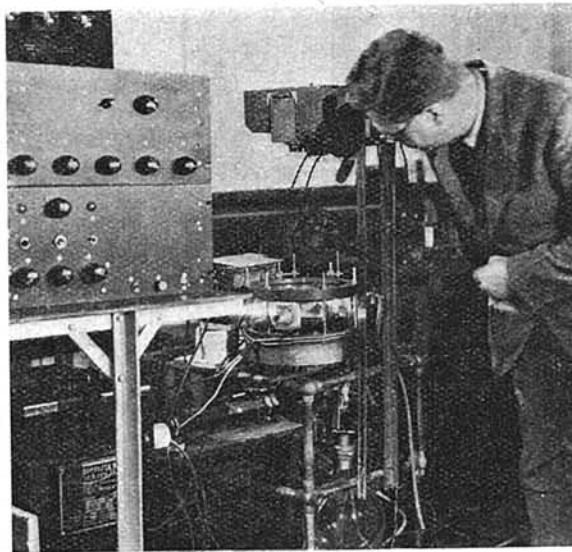
del reactor tienen que permanecer a una temperatura más elevada que la máxima temperatura alcanzada por el fluido operante, ya que el calor ha de pasar del reactor a dicho fluido. Esto es muy distinto de lo que ocurre con el motor de combustión interna, en el cual, como en el caso del automóvil, las temperaturas del ciclo llegan a los 4.000', en tanto que las alcanzadas por las superficies internas pueden mantenerse en torno a los 500' solamente mediante una refrigeración exterior. Por el contrario, en el reactor no hay piezas móviles, y los elementos del reactor no están sujetos a la fatiga dinámica que pesa

sobre piezas tales como pistones, válvulas y palas de turbina. Puede decirse, a grandes rasgos, que las temperaturas que se necesitan para la realización práctica de un motor nuclear no son descabelladas desde el punto de vista metalúrgico, pero sí que plantean, sin embargo, cierto número de problemas de difícil resolución.

Uno de estos importantes problemas lo constituye la protección del uranio en el reactor contra la contaminación por el fluido operante,

e inversamente, el evitar que escapen a éste productos de la desintegración radiactiva. Es un problema éste de difusión, y sabido es que la proporción de difusión aumenta al aumentar la temperatura. El desarrollo del aislamiento adecuado de los elementos que integran el reactor y que están sometidos a altas temperaturas es, por tanto, de importancia esencial para el éxito de la empresa.

Otro problema crucial, como ocurre con cualquier avión, es el del peso. En un motor atómico es necesario utilizar grandes cantidades de masa para detener las irradiaciones



Una moderna cámara de vapores—derivada de la cámara de Wilson—empleada en investigaciones atómicas en el laboratorio Cavendish, de Cambridge.

producidas en el curso del proceso de desintegración. Una comparación con un avión normal puede ayudar a forjarnos una imagen de la magnitud de los pesos que pueden asignarse al blindaje protector. El peso de una instalación motriz está constituido por tres elementos principales: el grupo motopropulsor propiamente dicho, el combustible y los depósitos de combustible. En una instalación nuclear, estos elementos se corresponden con el «motor» (conjunto compresor-turbina en un turborreactor), el reactor y el blindaje protector.

El «motor», en una instalación nuclear, puede esperarse que pese aproximadamente lo mismo que un grupo motopropulsor normal que desarrolle la misma potencia o tracción. El peso del blindaje, por tanto, equivale al peso del combustible y de los depósitos del mismo en un avión movido por combustibles que empleen la reacción química.

El porcentaje del peso bruto del avión que puede asignarse al combustible y depósitos del mismo, o al reactor y blindaje protector, depende principalmente del refinamiento estructural del avión de que se trate. En los actuales aviones de gran radio de acción representa un porcentaje muy elevado del peso bruto y en algunos casos rebasa con mucho las cincuenta toneladas. Es obvio, por tanto, que el problema de un avión de propulsión atómica es de categoría completamente distinta que el que plantea un automóvil o un barco también de propulsión atómica, por más que frecuentemente se les mencione conjuntamente en las discusiones sobre la energía atómica.

El avión dotado de motor atómico tiene que proyectarse con vistas a desarrollar velocidades muy elevadas para que aproveche plenamente las características especiales de la energía nuclear. Ciertamente, tendrá que ser un avión de gran tamaño. Habrá de ser proyectado contando con un gran peso de aterrizaje, ya que su consumo de combustible será prácticamente cero en comparación con los aviones que utilizan combustibles en reacción química (los cuales, durante un vuelo largo, consumen gran parte del mismo). Para evitar lo más posible la radiación deberá colocarse la tripulación lo más lejos posible del motor, lo que permitiría ahorrar algo de peso en el blindaje.

Las exigencias estructurales serán un tanto distintas de las de los aviones normales, ya que la carga de combustible se concentrará en un punto, en el reactor, en lugar de ir ampliamente distribuida. A este respecto, sin embargo, el avión de propulsión atómica es posible que no difiera mucho de algunos de los aviones de gran velocidad y alas finas que actualmentē están en período de desarrollo y que no llevan depósitos alares de combustible.

Y no sólo el peso del blindaje del reactor es importante, sino también su peso específico o peso por unidad de tracción. El peso del blindaje del reactor está ligado al peso bruto del avión por la eficiencia estructural. La eficiencia o rendimiento aerodinámico del avión o la relación entre poder ascensional y resistencia al avance, está ligada al peso bruto del avión en la tracción necesaria del grupo motopropulsor. El poder ascensional necesario es igual al peso bruto, en tanto que la resistencia al avance resultante tiene que ser superada por la tracción del grupo motopropulsor. Combinando estas relaciones, llegamos a una fórmula que liga las características del grupo motopropulsor con las características aerodinámicas y estructurales del avión: el peso específico del reactor tiene que ser menor o igual al rendimiento aerodinámico (poder ascensional-resistencia al avance) multiplicado por la relación entre el peso admisible del reactor y el peso bruto del avión. El radio de acción de un avión de propulsión atómica es prácticamente ilimitado (si vuela un kilómetro puede volar alrededor del mundo) y no constituye una variable en los cálculos de proyección.

El peso del blindaje resulta influido por dos variables completamente independientes y en cuantía aproximadamente igual. Una de ellas es el tamaño del núcleo del reactor, en torno al cual ha de disponerse el blindaje protector. La otra es el espesor del blindaje mismo, o, con más exactitud, el espesor de masa necesario para detener los neutrones y rayos gamma emitidos durante el proceso de desintegración.

Un procedimiento evidente para reducir el peso del blindaje es construir el reactor de pequeñas dimensiones. Un paso tal, sin embargo, exige producir una elevada proporción

de energía dentro de un volumen reducido. Aunque un reactor nuclear es capaz de generar, en potencia, un calor en proporción prácticamente ilimitada, este calor ha de ser llevado desde el interior de la vena de combustible («fuel rod») a la superficie de la misma. Luego tiene que ser transferido desde esta superficie al fluido operante, lo que significa grandes diferencias de temperatura, considerables descensos de presión, grandes superficies internas y otras dificultades. Es más, cuanto menor es el reactor, mayor es la proporción de su superficie a su volumen y más fácil resulta para los neutrones el escapar sin provocar nuevas desintegraciones. Un reactor de menores dimensiones puede, por tanto, exigir un mayor recubrimiento de uranio al objeto de sostener la reacción en cadena, y esto pudiera resultar poco conveniente desde el punto de vista económico.

Por lo que se refiere al espesor de masa del blindaje, los mejores materiales para detener un determinado tipo de irradiación de una energía dada son relativamente bien conocidos. Sin embargo, las irradiaciones emitidas por un reactor nuclear son de dos tipos principales, neutrones y rayos gamma, cada una de las cuales cubre una amplia gama del espectro. Cuando pasan a través del blindaje, estas radiaciones cambian gradualmente de carácter. Los rápidos neutrones disminuyen su velocidad tras las sucesivas colisiones con núcleos del material protector o blindaje; los rayos gamma resultan absorbidos, y, a su vez, nacen rayos X, más blandos o menos penetrantes. Un material que resulta bueno para detener a los rayos gamma, puede no ser el mejor cuando se consideran conjuntamente ambas irradiaciones de rayos gamma y neutrones, y un material idóneo para la parte más interna del blindaje puede no ser la más adecuada para las capas más externas. Hay, por tanto, margen considerable para reducir el peso mediante una hábil labor de proyección.

Ya que tratamos de un blindaje relativamente espeso en torno a un reactor relativamente pequeño, resulta cierta la aparente paradoja de que para un espesor de masa dado, cuanto mayor sea la densidad del material de blindaje, más ligero resulta éste. Si la densidad del material protector se duplica y el

espesor del blindaje se reduce a la mitad, el volumen del blindaje queda dividido por un coeficiente considerablemente superior a 2 y el peso total se reduce proporcionalmente.

Desde el punto de vista de la experiencia en grupos motopropulsores normales, el blindaje puede utilizarse como un buen ejemplo de algunos de los aspectos desusados de la mecánica nuclear aplicada. Si dos pulgadas de plomo reducen algunas irradiaciones a una décima de su intensidad original, cuatro pulgadas de plomo las reducirán a una centésima y seis a una milésima de su intensidad primitiva. La intensidad de las irradiaciones que se presentan en los reactores nucleares tiene que dividirse por coeficientes de muchos millones antes de que resulten inocuas para el hombre.

Algún alivio puede lograrse empleando un «blindaje reflector» que devuelva una parte importante de los neutrones que normalmente escaparían a través de las paredes del reactor. Un buen «reflector» puede devolver hasta un 90 por 100 de los neutrones que escapan de éste: Sería equivocado, sin embargo, suponer que esto resolvería en sus nueve décimas partes el problema del blindaje contra los neutrones. Más probablemente representa solamente un 10 por 100 de la tarea. Además, tiene la mayor importancia el evitar el escape de cantidades aparentemente pequeñas de irradiación a través de las juntas y conexiones del blindaje en torno al reactor.

La elección de materiales para el blindaje protector presenta también problemas insólitos. Los reactores fijos que hoy en día existen, utilizan en su mayor parte grandes cantidades de hormigón a este fin, pero el hormigón mal puede constituir un material adecuado para aviones. El efecto de la irradiación intensa sobre las propiedades de los materiales ha de tenerse también muy en cuenta. Se ha encontrado que la resistencia eléctrica, la elasticidad y la conductibilidad térmica del grafito, cambian con la exposición a una intensa irradiación de neutrones.

Estos son algunos de los problemas asociados al desarrollo del grupo motopropulsor nuclear. No constituyen problemas insolubles, pero dicho desarrollo no es tarea fácil en modo alguno.