

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 311 461**

51 Int. Cl.:

F02K 1/34

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA MODIFICADA
TRAS OPOSICIÓN

T5

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **08.06.2000 PCT/US2000/15787**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **21.12.2000 WO0077380**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.06.2000 E 00939696 (1)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea modificada tras oposición: **07.09.2016 EP 1185779**

54 Título: **Aparatos y métodos que permiten el control activo del flujo de columnas de humo de escape de toberas**

30 Prioridad:

11.06.1999 US 332268

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente modificada:

26.04.2017

73 Titular/es:

**THE BOEING COMPANY (100.0%)
100 North Riverside Plaza
Chicago, IL 60606-1596, US**

72 Inventor/es:

**KIBENS, VALDIS;
DORIS, JOHN, III;
SMITH, DAVID M. y
PAREKH, DAVID E.**

74 Agente/Representante:

UNGRÍA LÓPEZ, Javier

DESCRIPCION

Aparatos y métodos que permiten el control activo del flujo de columnas de humo de escape de toberas

5 Campo de la invención

La invención se refiere al control activo del flujo de columnas de humo de escape de toberas y, más particularmente, a métodos y aparatos para controlar activamente el comportamiento de una columna de humo de escape desde una tobera subsónica con el fin de mejorar la mezcla dentro de la columna de humo y/o controlar la forma de la sección transversal de la columna de humo.

Antecedentes de la invención

Los escapes de motores de turborreactor y turboventilador son muy calientes y ruidosos. La columna de humo de escape caliente que procede de una tobera de motor puede crear un número de problemas. Donde el motor está colocado con relación al fuselaje de tal manera que la columna de humo de escape incide sobre partes del fuselaje, el humo de escape caliente puede provocar efectos no deseables inducidos por la temperatura sobre las propiedades del material de las partes atacadas. Como resultado, las partes atacadas pueden tener que ser construidas de un material capaz de tolerar altas temperaturas, tales como titanio, que pueden conducir a un incremento del coste del fuselaje. En algunos casos, incluso tales materiales resistentes a altas temperaturas pueden no ser adecuados para asegurar una resistencia estructural suficiente a las temperaturas elevadas causadas por el ataque de los gases de escape y, por lo tanto, deben tomarse medidas para prevenir la incidencia o para mitigar el efecto de la incidencia.

Se han utilizado una pluralidad de métodos diferentes en aviones impulsados con turboventiladores en un intento por prevenir la incidencia o de mitigar el efecto de la incidencia de los gases de escape de núcleo caliente sobre las superficies del fuselaje. Una solución intentada ha consistido en mezclar por la fuerza el gas de escape de núcleo caliente de la tobera con aire de desviación del ventilador de temperatura relativamente baja antes de dejar escapar la corriente mezclada de gases de escape por el extremo trasero del motor, de manera que la corriente de escape resultante tiene una temperatura más baja. Este método requiere una configuración de la góndola larga, costosa y pesada del conducto de derivación con el fin de alojar la estructura de la mezcla que combina y mezcla la corriente del núcleo con la corriente de derivación. Otro inconveniente de este método es que se producen pérdidas sustanciales de eficiencia en el curso de la mezcla de las dos corrientes y debido a que las corrientes se mezclan siempre antes de ser expulsadas, estas pérdidas se producen durante todas las partes de un ciclo de misión del motor, aunque los problemas inducidos por la temperatura de los gases de escape que se trata de resolver se pueden plantear solamente durante algunas partes de un ciclo de misión, tales como durante operaciones en tierra u operaciones de despegue. Otro inconveniente de este método es que durante la activación de la reversa del ventilador del motor, el humo de escapa de núcleo caliente no se mezcla con el aire de derivación del ventilador y, por lo tanto, no se pueden resolver los problemas inducidos por la temperatura durante la operación de la reversa del ventilador.

Otro intento de solución del problema de la temperatura de la columna de humo de escape ha sido intentado para prevenir la incidencia por medio del uso de una reversa de empuje de escape de núcleo que se puede desplegar cuando se desee para redirigir la columna de humo de escape de núcleo hacia fuera y hacia delante. Este método ha sido utilizado, por ejemplo, en casos en los que el humo de escape de núcleo caliente provoca sus problemas más graves durante la activación de la reverse de empuje del ventilador del motor. El hardware de la reversa de núcleo y pesado y requiere frecuente inspección y mantenimiento. Otro inconveniente de este método es que la reversa de núcleo se activa solamente durante la operación de empuje de la reversa y, por lo tanto, no se resuelven los problemas inducidos por la temperatura de escape durante las operaciones de empuje hacia delante. Adicionalmente, el humo de escape de núcleo in vertido puede incidir todavía sobre superficies del fuselaje y provocar sus propios problemas inducidos por la temperatura. Además, como con todos los dispositivos de reversa de geometría variable, la reversa de empuje de escape de núcleo plantea cuestiones de seguridad y de fiabilidad en términos de despliegue accidental, fallo de despliegue, y/o fallo de recogida después del despliegue.

La técnica anterior relacionada se describe en el documento US-A-3 420 060.

60 Resumen de la invención

Las necesidades anteriores se satisfacen y se consiguen otras ventajas por la presente invención, que proporciona métodos y aparatos para inducir y mejorar la mezcla de una columna de humo de escape y/o para controlar la forma de la columna de humo, donde el mecanismo responsable de la mezcla y/o configuración se puede activar fácilmente cuando se necesita y se puede desactivar cuando no se necesita. El aparato no requiere componentes costosos y pesados. La mezcla de la columna de humo de escape se produce en el exterior y aguas abajo de la tobera de escape y, por lo tanto, no depende del

hardware de la mezcladora para mezclar internamente las corrientes de núcleo y de derivación. Por lo tanto, la invención soluciona el problema de la degradación continua de la eficiencia causada por la mezcla forzada convencional de las corrientes de núcleo y de derivación, y elimina sustancialmente los inconvenientes significativos de coste y de peso asociados con góndolas de conducción largas, dispositivos de mezcla de corrientes de núcleo y de derivación y reversas de núcleo. Otra ventaja de la invención es que si el aparato es activado accidentalmente o falla en la desactivación, la única consecuencia no deseable es una pequeña degradación de la eficiencia del motor y, por lo tanto, la invención facilita la mejora de la seguridad y la fiabilidad del sistema del motor.

Con estos fines, la invención proporciona en una forma de realización un método para inducir la mezcla de una columna de humo de escape desde una tobera, que comprende dirigir periódicamente chorros impulsados recurrentes de fluido hacia dentro de la columna de humo de escape desde al menos dos lugares que están espaciados circunferencialmente alrededor de la columna de humo, con impulsos dirigidos desde uno de los lugares que está desfasado con respecto a los impulsos dirigidos desde el otro lugar. Los chorros impulsados provocan excitación de la capa de cizallamiento de la columna de humo de escape, que da como resultado una inestabilidad del flujo que se produce alrededor de uno a tres diámetros de la tobera aguas abajo del plano de salida de la tobera. Esta inestabilidad del flujo provoca que la columna de humo sea "agitada" hacia delante y hacia atrás, creando de esta manera la mezcla de fluido en la columna de humo con fluido fuera de la columna de humo. El comportamiento de la columna de humo se puede controlar también por medio de la localización adecuada de los chorros impulsados para controlar la forma de la sección transversal de la columna de humo. La mezcla de la columna de humo da como resultado una reducción de las temperaturas media y punta en la columna de humo aguas abajo de la salida de la tobera. Sobre la base de predicciones del modelo CFD y de ensayos experimentales con dos configuraciones diferentes de las toberas del motor, la invención permite reducir las temperaturas de escape aguas abajo de la tobera hasta un 50 % o más.

Los chorros impulsados están dispuestos, en una forma de realización preferida de la invención, de tal manera que se dirigen dentro de la columna de humo de escape desde lugares diametralmente opuestos, es decir, circunferencialmente espaciados aproximadamente 180°, y sincronizados de tal manera que los impulsos que proceden desde un lado de la columna de humo están desfasados aproximadamente 180° con respecto a los impulsos que proceden desde el lado opuesto. Los chorros impulsados pueden estar colocados en o aguas arriba o aguas abajo del plano de salida de la tobera. En una forma de realización preferida de la invención, cada uno de los chorros impulsados está alargado en una dirección circunferencial de la tobera. Por ejemplo, cada uno de los chorros impulsados cubre ventajosamente aproximadamente el 90° del arco circunferencial.

Como se ha indicado anteriormente, la invención puede permitir también el control de la forma de la columna de humo de escape. Más particularmente, los chorros impulsados provocan una alteración en la forma de la sección transversal de la columna de humo de escape, teniendo a "dispersar" o alargar la columna de humo a lo largo de un eje, cuya orientación está dictada por la localización circunferencial de los chorros impulsados. Por lo tanto, la orientación de la dispersión de la columna de humo se puede controlar por medio de la localización adecuada de los chorros impulsados. Por ejemplo, donde los chorros impulsados están localizados en posiciones circunferenciales que corresponden a las 6 y a las 12 horas del reloj, la columna de humo aguas abajo de la salida de la tobera tiende a dispersarse a lo largo de un eje horizontal que pasa a través de las posiciones que corresponden a las 3 y a las 9 horas del reloj. Esta dispersión de la columna de humo puede ser ventajosa en algunas aplicaciones. Por ejemplo, para la operación de "elevación potenciada", donde los gases de escape de las toberas fluyen sobre los flaps de las alas para mejorar la actuación de elevación de las alas, la dispersión de la columna de humo de escape puede dar como resultado un incremento del área de flaps humedecida por la columna de humo, mejorando de esta manera la actuación de elevación potenciada". Además, puesto que la mezcla de la columna de humo da como resultado una reducción de la temperatura del flujo sobre los flaps, los flaps se pueden diseñar potencialmente de materiales de menor coste y de peso más ligero que los que son requeridos para tolerar los gases de escape de temperatura más elevada que proceden de una tobera que no emplea la presente invención.

En otra forma de realización preferida de la invención. Se puede inducir un movimiento de rotación de la columna de humo localizando los chorros impulsados en al menos tres lugares espaciados circunferencialmente alrededor de la columna de humo, e impulsando posteriormente los chorros. El movimiento de rotación de la columna de humo puede ser ventajoso en términos de mejora de la mezcla y puede producir también una columna de humo efectivamente más ancha que puede ser beneficiosa para la elevación potenciada u otras finalidades.

De acuerdo con otro aspecto de la invención, un aparato activo de control del flujo para mejorar la mezcla de una columna de humo de escape de tobera en una forma de realización comprende al menos una primera y una segunda toberas de chorros impulsados que están adaptadas para estar dispuestas en la proximidad de un plano de salida de la tobera primaria y espaciadas circunferencialmente unas de las otras en la proximidad de un límite radialmente exterior de la columna de humo de escape, estando

diseñadas y dispuestas las toberas de chorros impulsados para dirigir chorros impulsados de fluido hacia el interior de la columna de humo de escape. El aparato incluye, además, un suministro de fluido para suministrar fluido a las toberas de chorros impulsados y un generador de impulsos conectado entre el
 5 suministrar primeros impulsos periódicos de fluido a la primera tobera de chorros impulsados y segundos impulsos periódicos de fluido a la segunda tobera de chorros impulsados, de tal manera que el primero y segundo impulsos están desfasados uno con respecto al otro.

Las toberas de chorros impulsados se pueden localizar dentro de la tobera primera en o aguas arriba del
 10 plano de salida de la tobera. De una manera alternativa, las toberas de chorros impulsados se pueden localizar fuera de la tobera primaria aguas abajo del plano de salida de la tobera.

El generador de impulsos es accionable de una manera ventajosa para impulsar el fluido a una frecuencia que produce un índice de Strouhal de aproximadamente 0,1-0,5 y de una manera más preferida
 15 aproximadamente 0,2-0,4, sobre la base de la frecuencia de impulsos y el diámetro y la velocidad de la columna de humo en el plano de salida de la tobera. Los chorros impulsados tienen con preferencia un flujo de masa total que representa aproximadamente 0,1-10 por ciento del flujo de masa de la columna de humo de escape, y de una manera más preferida aproximadamente 0,1-3 por ciento. El generador de impulsos puede ser cualquier dispositivo capaz de crear impulsos de fluido de la frecuencia y flujo
 20 deseados. Por ejemplo, se puede utilizar una válvula de sirena o válvula de fluido giratoria. En función de la aplicación, puede ser ventajoso emplear un generador de impulsos de frecuencia variable que permite la selección de la frecuencia del impulso, de manera que se puede variar de una manera selectiva el grado de excitación y de mezcla.

En un motor de turboventilador o turborreactor, el suministro de fluido para los chorros impulsados se puede obtener de una manera ventajosa tomando aire de purga desde el ventilador o núcleo. Con
 25 preferencia, se interpone una válvula de cierre entre el suministro de fluido y el generador de impulsos para permitir la conexión o desconexión selectiva de los chorros impulsados.

La invención proporciona, por lo tanto, un aparato mejorado de control del flujo para una tobera que puede ser de peso ligero y de coste relativamente bajo con relación a mezcladoras y dispositivos de reversa de
 30 núcleo convencionales, que se puede activar durante cualquier fase de funcionamiento del motor y se puede desconectar cuando no se necesita, no representa ninguna amenaza para el motor o la seguridad del avión si fallase el aparato, y cuya función se puede adaptar al motor particular o a la condición de flujo
 35 para optimizar la mezcla y/o la configuración de la columna de humo de escape.

Breve descripción de los dibujos

Los objetos anteriores y otros objetos, características y ventajas de la invención serán más evidentes a
 40 partir de la siguiente descripción de ciertas formas de realización de la misma, tomada en combinación con los dibujos que se acompañan, en los que:

La figura 1 es una representación esquemática de un motor de turboventilador que tiene un aparato de control activo del flujo de chorro impulsado, de acuerdo con una forma de realización preferida de la
 45 invención.

La figura 2 es una vista en alzado en sección fragmentaria ampliada de una porción de labio de salida de una pared de tobera que incorpora una tobera de chorro impulsado de acuerdo con una forma de
 50 realización preferida de la invención.

La figura 3 es una vista en alzado extrema en sección de una porción de labio de salida de una pared de tobera que incorpora una pareja de toberas de chorros impulsados alargadas circunferencialmente de
 acuerdo con una forma de realización preferida de la invención.

La figura 4 es un grafo que compara temperaturas en el centro de la columna de humo promediadas en el tiempo (totales y estáticas) con y sin excitación de chorro impulsado de la columna de humo para un
 55 motor turborreactor a sub-escala, que muestra los resultados calculados con modelos y experimentales.

La figura 5 es un grafo que muestra el flujo de masas de chorro impulsado que corresponde a los
 60 resultados de la figura 4.

La figura 6 es un grafo que compara temperaturas en el centro de la columna de humo promediadas en el tiempo (totales y estáticas) con y sin excitación de chorro impulsado de la columna de humo para un
 65 motor turboventilador a escala completa, que muestra los resultados calculados con modelos y experimentales.

La figura 7 es un grafo que muestra el flujo de masas de chorro impulsado que corresponde a los

resultados de figura 6.

5 La figura 8 es una vista lateral de una columna de humo desde el motor JT8D tomada en un instante de tiempo con un sistema de formación de imágenes térmicas, que muestra contornos de temperatura estática cuando se ha desconectado el aparato de control activo de flujo de la invención.

La figura 9 es una vista lateral similar a la figura 8, pero con el aparato de control activo de flujo de la invención conectado.

10 La figura 10 es una vista de la sección transversal de una columna de humo desde el motor JT8D, tomada en un instante de tiempo con un sistema de formación de imágenes térmicas, que muestra contornos de temperatura estática cuando se ha conectado el aparato de control activo de flujo de la invención.

15 La figura 11 es una vista de la sección transversal similar a la figura 10, pero con el aparato de control activo de flujo conectado.

Descripción detallada de los dibujos

20 A continuación se describirá la presente invención más completamente con referencia a los dibujos que se acompañan, en los que se muestran formas de realización preferidas de la invención. Sin embargo, esta invención se puede incorporar en muchas formas diferentes y no deberían interpretarse como limitación a la forma de realización mostrada aquí; en su lugar, se proporcionan las formas de realización para que se comprenda este descubrimiento más completamente y para transmitir a los técnicos en la materia el alcance de la invención. Los mismos números se refieren a los mismos elementos a través de toda la descripción.

30 Con referencia a la figura 1, se ilustra un motor turboventilador 20 de una manera esquemática, que incorpora un aparato de control activo 22 del flujo e la tobera de acuerdo con una forma de realización preferida de la invención, y las figuras 2 y 3 ilustran con mayor detalle una porción de labio de tobera de la tobera de escape de núcleo del motor. El motor 20, a excepción de la inclusión del aparato de control del flujo de la tobera 22, es por lo demás un motor turboventilador convencional que tiene una entrada 24, un ventilador 26 para comprimir aire introducido a través de la entrada 24, un motor de núcleo 28 a través del cual pasa una porción del aire comprimido por el ventilador, un conducto de derivación 30 a través del cual pasa el resto del aire comprimido por el ventilador, de tal manera que el aire desviado del motor de núcleo, y una tobera de ventilador 32 para dejar escapar el aire de desviación del ventilador. El motor de núcleo 28 incluye al menos un compresor 34 para comprimir adicionalmente aire recibido desde el ventilador 26, una sección de combustión 36 para mezclar aire comprimido desde el compresor con combustible y para quemar la mezcla resultante para crear gases de combustión, una sección de turbina 38 para expandir los gases de la combustión calientes ara extraer potencia desde la corriente de gases calientes para accionar el compresor 34 y el ventilador 26, y una tobera de escape de núcleo 40 para dejar escapar los gases calientes desde el extremo trasero del motor para crear una columna de humo de escape. Los componentes compresivos del motor, incluyendo el ventilador 26 y el compresor 34, son referenciados colectivamente aquí como la sección compresiva. Se apreciará que los componentes del motor 20 ilustrados en la figura 1 son meramente para fines ilustrativos, y que la presente invención es aplicable a cualquier tipo de motor reactor que expulse los gases de escape desde una tobera, incluyendo los motores de turboventilador y de turboreactor.

50 La columna de humo de escape desde la tobera de un motor reactor, tal como la tobera de núcleo 40, tiende a ser caliente y ruidosa. Como se ha indicado anteriormente, la alta temperatura de los gases en la columna de humo de escape puede dar lugar a varios problemas, incluyendo cambios no deseables inducidos térmicamente en estructuras de avión que son atacadas por la columna de humo. El personal de tierra que carga y descarga mercancías desde el avión detrás del motor puede verse afectado también por la columna de humo de escape. De acuerdo con ello, por éstas y otras razones, es deseable reducir la temperatura de la columna de humo de escape.

55 De acuerdo con la presente invención, la mezcla de la columna de humo de escape con el fluido fuera de la columna de humo de escape es inducida y mejorada por un aparato y método exclusivos de control activo del flujo y esta mezcla puede dar lugar a reducciones sustanciales de la temperatura de la columna de humo. Se ha descubierto que se puede causar una inestabilidad de la capa de cizallamiento de una columna de humo de escape inyectando chorros impulsados de fluido dentro de la columna de humo de escape en dos o más lugares espaciados circunferencialmente alrededor de la columna de humo, y sincronizando los chorros impulsados de tal forma que los impulsos están desfasados en varios lugares. La inestabilidad resultante de esta capa de cizallamiento provoca que la columna de humo "sea agitada" es lugar de seguir recta y en paralelo a la línea central de la tobera, y este movimiento de agitación de la columna de humo provoca la mezcla de fluido en el interior de la columna de humo así como la mezcla de fluido dentro de la columna de humo con el fluido fuera de la columna de humo.

Como un ejemplo ilustrativo de un aparato de control activo del flujo de acuerdo con la presente invención, se hace referencia a las figuras 1 a 3, que ilustran un aparato de control del flujo 22 que puede ser accionado para crear un movimiento de agitación hacia delante y atrás de la columna de humo de escape desde la tobera de núcleo 40 del motor. El aparato de control de flujo 22 comprende una pareja de toberas de chorro impulsado 42 colocadas ligeramente aguas arriba del plano de salida P de la tobera y accionable para inyectar fluido dentro de la columna de humo de escape, un generador de impulsos 44 accionable para suministrar impulsos periódicos de fluido a las toberas de chorro impulsado 42, de tal manera que los impulsos están desfasados unos con relación a los otros, y un conducto de purga 46 que está acoplado con el conducto de derivación del ventilador 30 para purgar una porción del aire de derivación del ventilados desde el conducto 30 y para suministrar el aire de purga al generador de impulsos 44. De una manera alternativa, como se muestra por la línea de trazos en la figura 1, se puede acoplar un conducto de purga 46' con el compresor de núcleo 34 para purgar una porción del aire del compresor de núcleo y para suministrar este aire de purga al generador de impulsos 44. El aparato de control de flujo 22 incluye también con preferencia una válvula de cierre 48 dispuesta en o acoplada con el conducto de purga 46 ó 46', de tal manera que se puede detener el flujo de purga al generador de impulsos 44 cuando se desea desconectar el control de flujo activo del flujo de tobera de núcleo.

En la forma de realización de la invención ilustrada en las figuras 1 a 3, las toberas de chorros impulsados 42 están formadas como ranuras circunferencialmente alargadas (como se ve mejor en la figura 3) en la pared lateral 50 de la tobera de núcleo 40. Las toberas de ranuras 42 se abren en la trayectoria de flujo principal de la tobera 40 justo aguas arriba del plano de salida P, y se suministran con aire por pasos 52 formados en la pared lateral de la tobera 50. Las dos toberas 42 están localizadas en lados diametralmente opuestos de la tobera 40, y cada tobera 42 se extiende circunferencialmente sobre un arco de 90° aproximadamente. Donde las toberas de chorros impulsados están localizadas aguas arriba del plano de salida de la tobera, es preferible colocarlas lo más cerca posible del plano de salida de la tobera. Se pueden obtener resultados satisfactorios con las toberas de chorros impulsados localizadas a una décima del diámetro de la tobera aguas arriba del plano de salida de la tobera.

Se utilizó un modelo de dinámica de fluidos por cálculo (CFD) describe en "A Three Dimensional Zonal Navier-Stokes Code for Subsonic Through Hypersonic Propulsion Flowfields", AIAA Paper N° 88-2830 (1988), que se incorpora aquí por referencia, para calcular el campo de flujo desde una tobera de escape tanto con como sin excitación de chorro impulsado de la columna de humo de escape, para dos configuraciones diferentes del motor. Adicionalmente, ambos motores sin accionados en un banco de pruebas en condiciones similares a las modeladas por el CFD y se realizaron mediciones de las condiciones de los humos de escape para comparación con los resultados previstos por el modelo.

Uno de los motores modelados y ensayados fue un motor turboreactor a sub-escala J402-CA-700 con un diámetro de la tobera de aproximadamente 0,152 m (6 pulgadas). Se montó un anillo anular que aloja toberas de chorro superior e inferior impulsadas justo aguas abajo del plano de salida de la tobera del J402. Cada una de las toberas de chorros impulsados tenía una anchura axial de 1,6 mm (0,063 pulgadas) y una extensión circunferencial de 90° de arco. Las toberas superior e inferior de chorros impulsados fueron suministradas con aire de una manera generalmente armónica desfasada 180° entre sí. La figura 5 muestra los flujos de masas de chorros impulsados para las toberas superior e inferior de chorros impulsados sobre un ciclo de acuerdo con la modelación del modelo CFD. El flujo de masas combinado para ambas toberas de chorros impulsados era 0,095 kg/h (0,21 lb_m/seg.), que representa aproximadamente el 3 % del flujo de la tobera del motor. A partir de las mediciones experimentales realizadas, no fue posible deducir el número Mach de salida variable con el tiempo para los chorros impulsados, pero suponiendo una presión estática constante en la salida de la tobera de chorro impulsado, se calculó un número Mach de salida medio de aproximadamente 0,66. Los chorros impulsados fueron impulsados a una frecuencia de 343 Hz, produciendo un número de Strouhal de 0,13 sobre la base del diámetro de la tobera y la velocidad del chorro primario.

El otro motor modelado y ensayado fue un motor de turboventilador Pratt & Whitney JT8D-15 con un diámetro de la tobera de núcleo de aproximadamente 0,76 m (30 pulgadas). Las toberas superior e inferior del chorro impulsado estaban localizadas en la pared interior de la tobera de núcleo de aproximadamente 50,8 mm (2 pulgadas) aguas arriba del plano de salida de la tobera. Cada una de las toberas de chorros impulsados tenía una anchura axial de 240 mm (0,925 pulgadas) y una extensión circunferencial de 90° de arco. Las toberas superior e inferior de chorros impulsados se suministraron con aire de una manera armónica general desfasadas 180° entre sí. La figura 7 muestra los flujos de masa de chorros impulsados para toberas superior e inferior de chorros impulsados de acuerdo con el modelo CFD. El flujo de masa combinado para ambas toberas de chorros impulsados tenía 2,96 kg/s (6,35 lb_m/seg.), que representa aproximadamente el 3 por ciento del flujo de tobera de núcleo del motor. De nuevo, no era posible deducir un número Mach de salida variable con el tiempo para los chorros impulsados sobre la base de los resultados experimentales, pero suponiendo una presión estática constante en la salida de tobera de chorro impulsado, se calculó un número Mach de salida medio de aproximadamente 0,58. Los chorros impulsados fueron impulsados a una frecuencia de 120 Hz, produciendo un número de Strouhal de 0,33 sobre la base del diámetro de tobera y la velocidad del chorro primario.

La figura 4 es un grafo que compara temperaturas de la línea central de la columna de humo promediadas con el tiempo (total y estática) con y sin excitación de chorros de impulsos para el motor J402, mostrando tanto resultados calculados con el modelo como también resultados experimentales. Comenzando aproximadamente a dos diámetros de toberas aguas abajo de la salida de la tobera, los resultados de cálculo predicen una reducción sustancial de la temperatura a lo largo de la línea central de la columna de humo. A tres diámetros de toberas aguas abajo de la salida de la tobera, el modelo CFD predice que los chorros impulsados producen una reducción de la temperatura total de aproximadamente 287,8°C (550°F) y una reducción de la temperatura estática casi de 260,0°C (500°F). Los resultados experimentales a tres diámetros de toberas aguas abajo muestran una reducción de la temperatura ligeramente mayor de 93,3°C (200°F). A diez diámetros de toberas aguas abajo, el modelo CFD predice una reducción de la temperatura de aproximadamente 204,4°C (400°F) y las mediciones muestran una reducción de aproximadamente 65,6 °C (150°F). Es previsible que el modelo CFD sobre-prediga la reducción de la temperatura debido a la simplificación de la geometría y de las condiciones de flujo, particularmente las de los chorros impulsados.

La figura 6 muestra resultados similares de temperaturas de la línea central de la columna de humo promediadas en el tiempo para el motor JT8D. Hay que indicar que desde la salida hasta aproximadamente una vez y media el diámetro de la tobera aguas abajo de la misma, se prevé que la temperatura total y estática se incrementen cuando se emplea excitación de chorro impulsado. Este efecto es debido al aire para los chorros impulsados que es purgado desde el motor de núcleo. Sin embargo, comenzando aproximadamente a dos diámetros de toberas aguas abajo de la salida de la tobera, los resultados del cálculo predicen una reducción sustancial de la temperatura a lo largo de la línea central de la columna de humo. A cinco diámetros de toberas aguas abajo, el modelo predice una reducción de la temperatura estática de aproximadamente 204,4°C (400°F), a diez diámetros de toberas aguas abajo, el modelo predice una reducción de la temperatura estática de aproximadamente 93,3°C (200°F). Los resultados experimentales a diez diámetros de toberas aguas abajo muestran una reducción de la temperatura casi de 37,8°C (100°F).

Los efectos de la excitación e la columna de humo por los chorros impulsados en el ensayo del motor JT8D se pueden ver todavía más claramente examinando los grafos de contornos de la temperatura estática de la columna de humo medidos por un sistema de formación de imágenes térmicas. La figura 8 es una vista lateral de una columna de humo desde el motor JT8D tomada en un instante de tiempo, que muestra contornos de temperatura estática cuando se desconectó el aparato de control activo del flujo de la invención. La figura 9 es un grafo similar tomado con el aparato de control activo de flujo conectado. En las figuras 8 y 9, la columna de humo se ve a lo largo de una dirección perpendicular a un plano de "agitación" F (figura 3) que biseciona cada una de las toberas superior e inferior de chorros impulsados en dos segmentos de 45°. Se puede ver que la excitación de la columna de humo por los chorros impulsados provoca que la columna de humo sea "agitada" hacia delante y hacia atrás a lo largo de la dirección del plano de agitación.

Las figuras 10 y 11 muestran grafos de la sección transversal de temperaturas estáticas para la columna de humo de escape del motor JT8D con y sin excitación de chorros impulsados. La figura 11 muestra que la excitación de la columna de humo por los chorros impulsados provoca que la columna de humo sea dispersada a lo largo de la dirección de un plano transversal T (figura 3) que está perpendicular al plano de agitación. Por lo tanto, la forma de la columna de humo de escape se puede controlar por excitación del chorro impulsado. Por ejemplo, la dirección a lo largo de la cual se dispersa la columna de humo se puede controlar por medio de la localización adecuada de las toberas de chorros impulsados.

Se ha encontrado también a través de ensayos y simulaciones CFD adicionales que las toberas de chorros impulsados no tienen que estar diametralmente opuestas entre sí y no tienen que ser impulsadas con un desfase total de 180° con el fin de conseguir una mezcla mejorada y una reducción de la temperatura de la columna de humo de escape. Por ejemplo, el espaciado circunferencial de centro a centro entre toberas de chorros impulsados puede ser cualquiera desde aproximadamente 90° hasta aproximadamente 180°. Adicionalmente, se pueden espaciar más de dos toberas de chorros de impulsos alrededor de la circunferencia de la columna de humo para con seguir otros efectos. Por ejemplo, se pueden espaciar circunferencialmente tres o más toberas de chorros impulsados alrededor de la columna de humo y las toberas se pueden impulsar secuencialmente de una manera de rotación para inducir un movimiento de rotación de la columna de humo. Alternativamente, cuatro toberas de chorros impulsados se pueden espaciar 90°. Parejas espaciadas de chorros se pueden impulsar al unísono, siendo impulsadas las dos parejas desfasadas aproximadamente 180° entre sí. Tal disposición puede mejorar la mezcla de la columna de humo, preservando al mismo tiempo la forma redonda de la columna de humo.

El generador de impulsos 44 para crear el impulso de fluido periódico puede ser cualquier dispositivo que sea capaz de crear impulsos en el flujo y frecuencia de masas deseados. Ejemplos de generadores de impulsos deseados incluyen dispositivo de tipo de sirena giratoria y dispositivos de tipo de válvula de fluido. En algunas aplicaciones, puede ser ventajoso poder variar de una manera selectiva la frecuencia

de la pulsación de fluido, tal como variando la velocidad de rotación del generador de impulsos del tipo de sirena. Por ejemplo, se pueden producir varios grados de excitación y de mezcla variando la frecuencia de los impulsos, como puede ser deseable variar la frecuencia de los impulsos con el fin de producir una cantidad óptima de mezcla en cualquier condición de flujo dada. Además, ensayos de laboratorio han indicado que se puede reducir el ruido de escape a través de la selección adecuada de la frecuencia de impulsos y del flujo de masa.

Muchas modificaciones y otras formas de realización serán evidentes para un técnico en la materia a la que pertenece esta invención que tiene la ventaja de las enseñanzas presentadas en la descripción precedente y en los dibujos asociados. Por ejemplo, aunque las formas de realización ilustradas de la invención emplean toberas de chorros impulsados, cada una de las cuales está formada como una tobera continua individual, de una manera alternativa se puede formar una tobera de chorros impulsados como una pluralidad de toberas individuales localizadas lado a lado en la dirección circunferencial con todas las toberas individuales impulsadas juntas. Otras variaciones de las formas de realización descritas se pueden realizar dentro del alcance de la invención. Por lo tanto, se entiende que la invención no está limitada a las formas de realización específicas descritas y que se pretende las modificaciones y otras formas de realización sean incluidas dentro del alcance de las reivindicaciones anexas. Aunque se emplean aquí términos específicos, se utilizan solamente en un sentido genérico y descriptivo y no para fines de limitación.

REIVINDICACIONES

- 5 1.- Un método para mejorar la mezcla de una columna de humo de escape desde una tobera de motor de avión, cuya tobera es convergente e incluye un plano de salida de la tobera, que comprende dirigir chorros impulsados recurrentes periódicamente de fluido hacia el interior de la columna de humo de escape desde al menos dos lugares espaciados circunferencialmente alrededor de la columna de humo de escape, con impulsos dirigidos desde dichos lugares desfasados unos con relación a los otros, siendo impulsados los chorros a una frecuencia seleccionada sobre la base de las condiciones de flujo de la columna de humo para provocar inestabilidad de una capa de cizallamiento de la columna de humo aguas abajo de un plano de salida de la tobera y para provocar de esta manera que la columna de humo sea sometida a un movimiento de agitación hacia delante y hacia atrás que mejora la mezcla.
- 10 2.- El método de la reivindicación 1, en el que se localizan dos chorros impulsados sobre lados diametralmente opuestos de la columna de humo y se impulsan desfasados aproximadamente 180° con respecto al otro.
- 15 3.- El método de la reivindicación 1 ó 2, en el que los chorros impulsados son dirigidos dentro de la columna de humo desde lugares próximos a un plano de salida de la tobera.
- 20 4.- El método de la reivindicación 1, 2 ó 3, en el que cada uno de los chorros impulsados está alargado en una dirección circunferencial de la tobera.
- 25 5.- El método de la reivindicación 4, en el que cada uno de los chorros impulsados cubre aproximadamente 90° de arco circunferencial.
- 30 6.- El método de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en el que los chorros impulsados tienen una velocidad transónica.
- 35 7.- El método de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en el que los chorros impulsados son impulsados con un número de Strouhal de aproximadamente 0,1 – 0,5.
- 40 8.- El método de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en el que los chorros impulsados tienen un flujo de masas medio total que representa aproximadamente 0,1-10 por ciento del flujo de masas de la columna de humo de escape.
- 45 9.- El método de la reivindicación 1, en el que dos chorros impulsados están espaciados circunferencialmente aproximadamente de 90 a 180° sobre el centro y son impulsados desfasados uno con respecto al otro.
- 50 10.- Un aparato de control de flujo activo (22) para mejorar la mezcla dentro de una columna de humo de escape de tobera aguas abajo de un plano de salida de una tobera primaria (40) de un motor de avión, siendo convergente dicha tobera, que comprende:
- 55 al menos primera y segunda toberas de chorros impulsados (42) espaciadas circunferencialmente en la proximidad de un límite radialmente más externo de la columna de humo de escape, estando diseñadas y dispuestas las toberas de chorros impulsados para dirigir chorros impulsados de fluido hacia dentro de la columna de humo de escape;
- un suministro de fluido de chorro impulsado (46) para suministrar fluido a las toberas de chorros impulsados; y
- un generador de impulsos (44) conectado entre el suministro de fluido de chorro impulsado y las toberas de chorros impulsados, siendo accionable el generador de impulsos para suministrar primeros impulsos periódicos de fluido a la tobera de chorro impulsado y segundos impulsos periódicos de fluido a la segunda tobera de chorro impulsado, de tal manera que el primero y segundo impulsos están desfasados uno con respecto al otro.
- 60 11.- El aparato de control activo de flujo de la reivindicación 10, en el que las toberas de chorros impulsados están adaptadas para ser localizadas dentro de la tobera primaria en o aguas arriba del plano de salida de la tobera.
- 65 12.- El aparato de control activo de flujo de la reivindicación 11, en el que la primera y segunda toberas de chorros impulsados están espaciadas circunferencialmente desde 90 hasta 180° aproximadamente sobre el centro.
- 13.- El aparato de control activo de flujo de la reivindicación 10, 11 ó 12, en el que la primera y segunda toberas de chorros impulsados están alargadas en la dirección circunferencial.
- 14.- El aparato de control activo de flujo de la reivindicación 13, en el que cada una de la primera y

ES 2 311 461 T5

segunda toberas de chorros impulsados tiene una extensión circunferencial de aproximadamente 90° de arco.

5 15. El aparato de control activo de flujo de la reivindicación 13, en el que cada una de las toberas de chorros impulsados comprende una ranura formada a través de una pared de la tobera primaria y se abre en el flujo de gas principal aguas arriba del plano de salida de la tobera.

10 16.- El aparato de control activo de flujo de una cualquiera de las reivindicaciones 10 a 15, en el que el generador de impulsos puede ser accionado para crear primero y segundo impulsos que están desfasados 180° aproximadamente.

15 17.- El aparato de control activo de flujo de una cualquiera de las reivindicaciones 10 a 16, en el que el generador de impulsos comprende un generador de impulsos de frecuencia variable que permite variar de forma selectiva la frecuencia de los impulsos.

18.- El aparato de control activo de flujo de una cualquiera de las reivindicaciones 10 a 17, que comprende una válvula de cierre acoplada entre el suministro de fluido y el generador de impulsos.

20 19.- Un motor de avión reactor que tiene una tobera controlada activamente, que comprende: una sección compresiva que puede ser accionada para comprimir aire aspirado por el motor, una sección de combustión que puede ser accionada para mezclar al menos parte del aire comprimido con combustible y quemar la mezcla para producir gases de combustión calientes, y una sección de turbina que puede ser accionada para expandir los gases de combustión calientes y para accionar la sección compresiva;

25 una tobera de escape dispuesta para recibir gases de combustión calientes expandidos desde la sección de turbina y que puede ser accionada para dejar escapar los gases de la combustión calientes expandidos en un extremo trasero del motor para crear una columna de humo de escape, siendo dicha tobera convergente e incluyendo un plano de salida de la tobera; y un aparato de control activo del flujo de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 10 a 18.

30 20.- El motor de avión de acuerdo con la reivindicación 19, en el que la sección compresiva incluye un compresor de núcleo dispuesto para suministrar aire comprimido a la sección de combustión, un ventilador que se puede accionar para comprimir aire, y un conducto de derivación dispuesto para dejar pasar al menos una porción de aire comprimido por el ventilador para desviar las secciones de la combustión y de la turbina, y en el que el conducto de purga está acoplado con uno del compresor de núcleo y el ventilador para purgar aire comprimido desde allí.

35 21.- El método de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, en el que la tobera es una tobera subsónica y el fluido es aire ambiental.

40

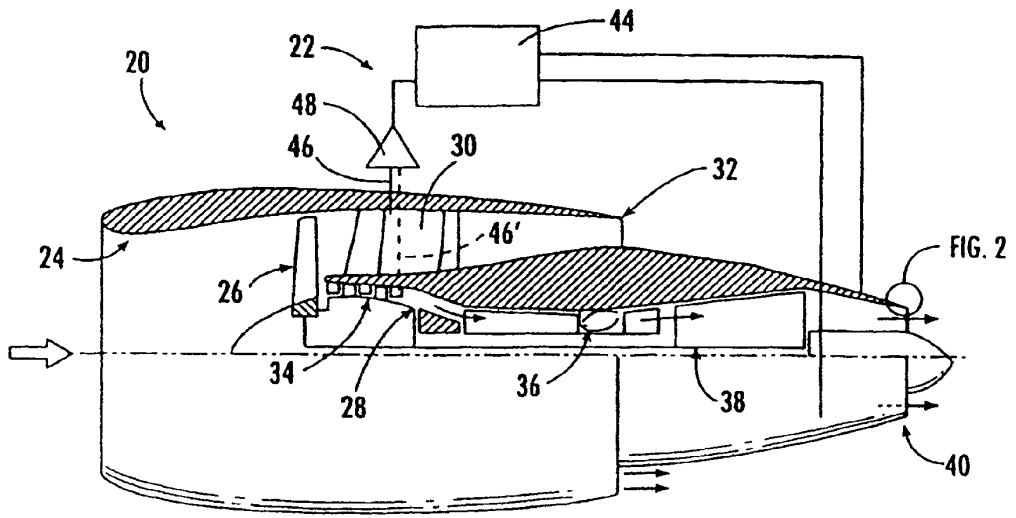


FIG. 1.

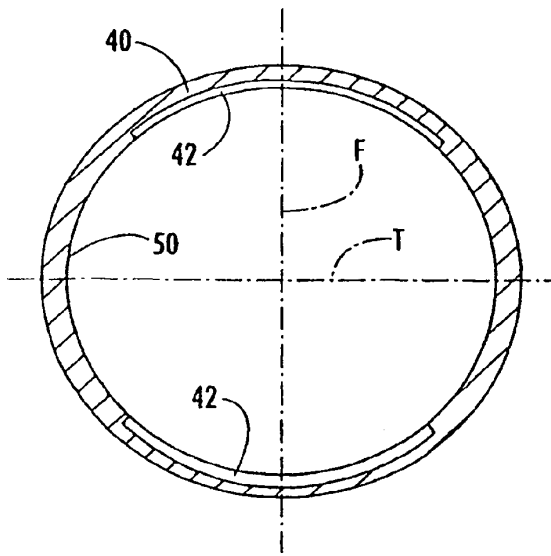


FIG. 3.

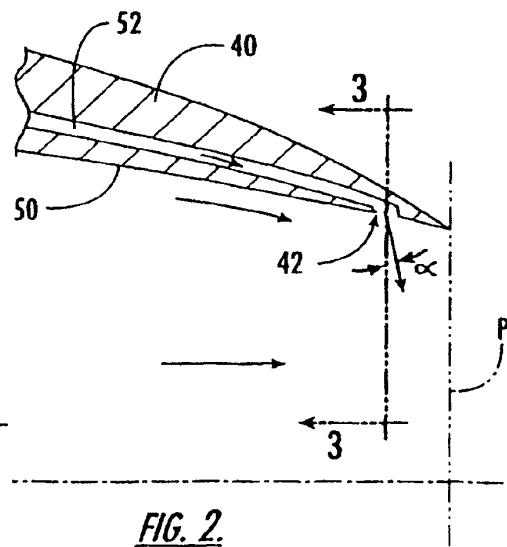
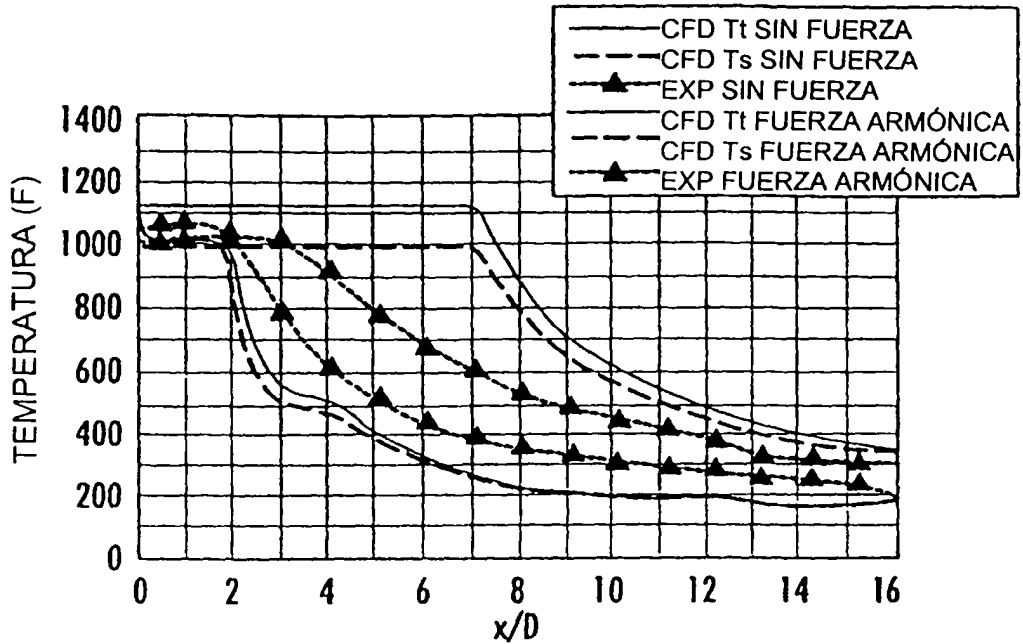
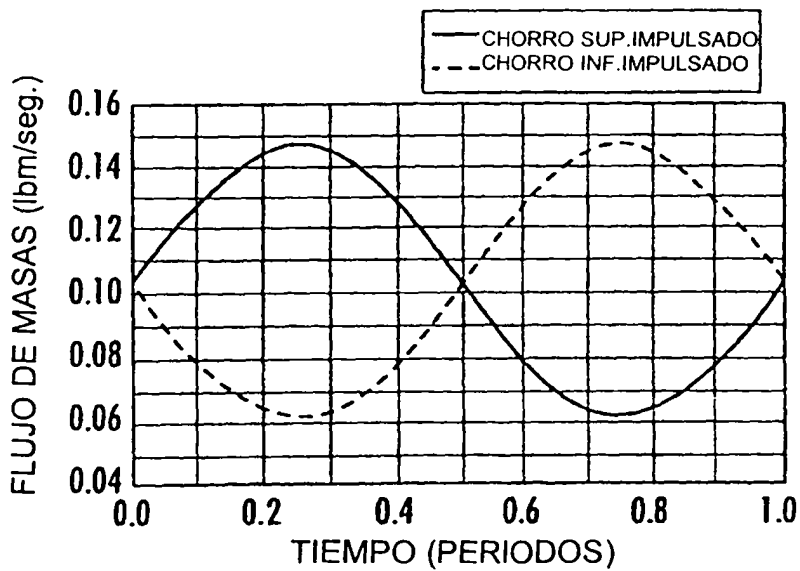


FIG. 2.



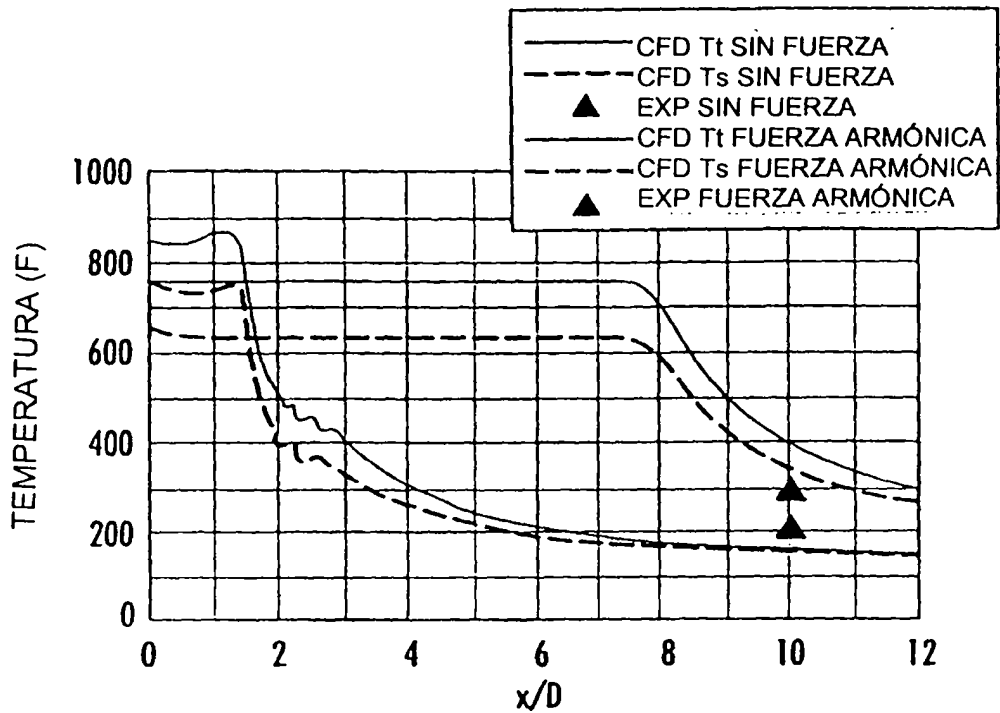
TEMPERATURAS DE LA LÍNEA CENTRAL DE LA COLUMNA DE HUMO PROMEDIADAS EN EL TIEMPO PARA EL J402

FIG. 4.



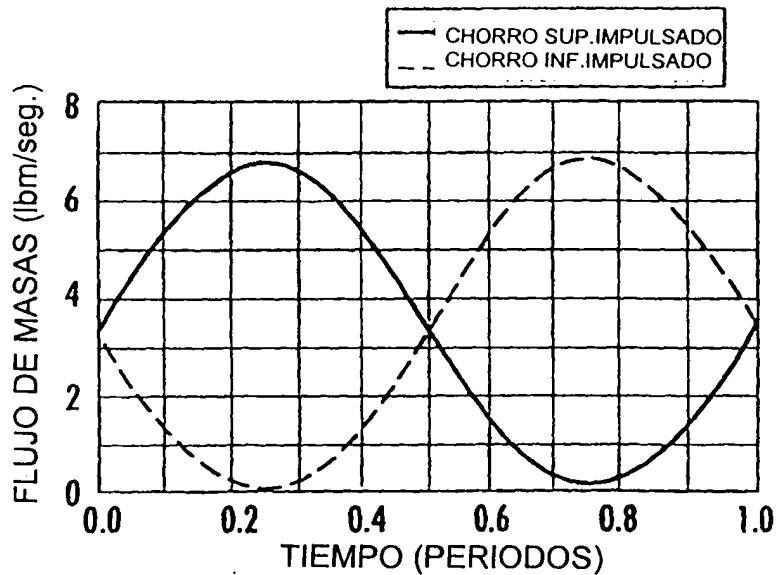
FLUJO DE MASAS DE CHORROS IMPULSADOS SOBRE UN CICLO DEL J402

FIG. 5.



TEMPERATURAS DE LA LÍNEA CENTRAL DE LA COLUMNA DE HUMO PROMEDIADAS EN EL TIEMPO PARA EL JT8D

FIG. 6.



FLUJO DE MASAS DE CHORROS IMPULSADOS SOBRE UN CICLO DEL JT8D

FIG. 7.