

DESARROLLO DE CAMARAS DE COMBUSTION CON BAJAS EMISIONES DE NO_x EN EL MOTOR RR BR-710

Alfredo Augusto Arce
Dirección Nacional de Aeronavegabilidad
Dirección de Certificación Aeronáutica

RESUMEN

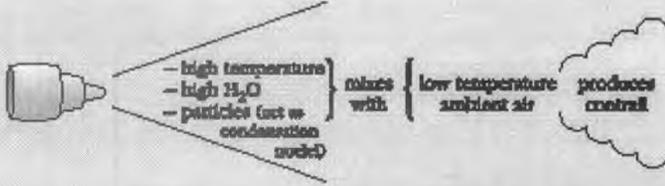
Con el incremento del tráfico aéreo, trabajos de investigación intensiva se han venido realizando desde tiempo atrás, a los efectos de obtener una información del impacto ambiental que ocasiona la emisión de las turbinas en un rango de altura que va desde los 9 a 13km.

Durante el vuelo, los motores de las aeronaves emiten Dióxido de Carbono (CO₂), Óxidos Nitrosos (NO_x), Óxidos de sulfuro (SO₂), vapores de agua, hidrocarburos y partículas – las partículas consisten principalmente de sulfatos de óxidos sulfurados, y hollín, formados por la alta temperatura de combustión de las Cámaras de Combustión..

Estas emisiones alteran la composición química de la atmosfera, de forma directa e indirecta.

Es así que las estelas de condensación (contrails), se forman a una altura donde se encuentra la mayor concentración del trafico aéreo, en régimen subsónico, y en un rango de altitud que va desde los 9 a los 13 Km., sin mencionar los aviones ejecutivos, como el Gulfstream G-V SP, que vuela a una altitud de crucero de 15 Km. (nivel de la tropopausa) (Ver Graf 1)

Box 3C Contrails



Contrail persists if ambient air is supersaturated (- 10 -15% at 10 km)
Contrail can spread to form extensive cirrus cloud.



When the moist, high temperature air from a jet engine mixes with the ambient cold air, saturation can occur and the moisture can condense onto particles in the atmosphere, and in particular those present in the exhaust. The result is a condensation trail, or contrail.

On about 10 - 15% of occasions in the upper troposphere in middle latitudes, the ambient air is already supersaturated with respect to ice. In supersaturated conditions contrails will persist and tend to spread. Sometimes they can spread to form or initiate a cirrus cloud, though the amount of such cirrus cloud formed by aviation is currently unknown. The extent of the contrail and cirrus cloud can be striking, those shown in the lower left corner of the plate to the left persist out over the Atlantic.

Contrails and cirrus clouds reflect some solar radiation and therefore act to cool the surface. They also absorb some upwelling thermal radiation, re-emitting it both downwards, which acts to warm the surface, and upwards. On average the latter warming effect is thought to dominate.

El DIOXIDO DE CARBON (CO₂) es un gas del "efecto invernadero" (greenhouse effects), y sus emisiones se transforman y actúan en el calentamiento de la temperatura global de la tierra, en la parte mas baja de la atmosfera. Es así que, que el "gas conservativo", es producido por la combustión del kerosene (JP-1), y es mezclado en la atmosfera.

No ocurre lo mismo con el OXIDO NITROSO (NO_x), producido por el quemado a alta temperatura en la cámara de combustión del motor, el cual es rápidamente envuelto en reacciones químicas que producen cambios en la concentración del ozono(incremento), y en el ambiente gas metano .

Una pequeña parte del nitrógeno es oxidizado, y el Oxido Nítrico así formado en las emisiones continuas, continúa su oxidación en la atmosfera para formar el dióxido nitroso.

La oxidación del nitrógeno se incrementa con la temperatura de la cámara de combustión, punto importante para el diseño futuro de Cámaras de combustión mas eficientes.

A pesar de no ser toxico, juega un papel importante en el "smog"

NOMENCLATURA

AFR	air fuel ratio
CAEP	Committee on Aviation Environmental Protection
EI	emisión index, g/kg
ICAO	International Civil Aviation Organization
N2	HP-shaft Speed, RPM
OAFR	overall air fuel ratio=W30/WFE
P30	combustor inlet pressure, kPa
T30	combustor inlet temperature,K
W30	combustor inlet air mass flow, kg/s
WFE	fuel flow, Kg/h
FI	flight idle

INTRODUCCION

Recientes estudios (1) indican que la concentración de NO_x se ha incrementado en un 30% por las emisiones de los aviones, los cuales inducen un incremento del ozono del 8%. Por esta razón, y por la combinación con el CO₂, el "efecto invernadero" tiende a aumentar. El efecto de las emisiones de NO_x sobre el Clima, es complejo y no bien entendido. En adición del NO_x, este hace disminuir la concentración del gas metano (CH₄), otro gas del "greenhouse", pero su efecto tiende a enfriar la superficie de la tierra.

Es así, que la industria de los motores para uso aeronáutico, esta desarrollando tecnologías para disminuir las emisiones de NO_x, como lo veremos en el desarrollo de este trabajo.

La **Dirección Nacional de Aeronavegabilidad**, a través de los Procesos de Certificación Tipo de las aeronaves a ser importadas a la Republica Argentina, como es el caso que nos ocupa, es responsable del control del cumplimiento de las emisiones internacionales a través de las regulaciones de la OACI, Anexo 16, Vol. II, y DNAR/FAR Parte 34. Se han impuestos limites mas estrictos en la emisión de NO_x para los motores nuevos fabricados **después del 31 de Diciembre de 2003 (CAEP IV) (Fig.2)**. La CAEP 6 en el 2004, decide aproximar la cuestión del NO_x en 2 etapas, siendo en la 1ª bajar 12% mas de NO_x de la CAEP4, a partir del **01 de Enero de 2008**.

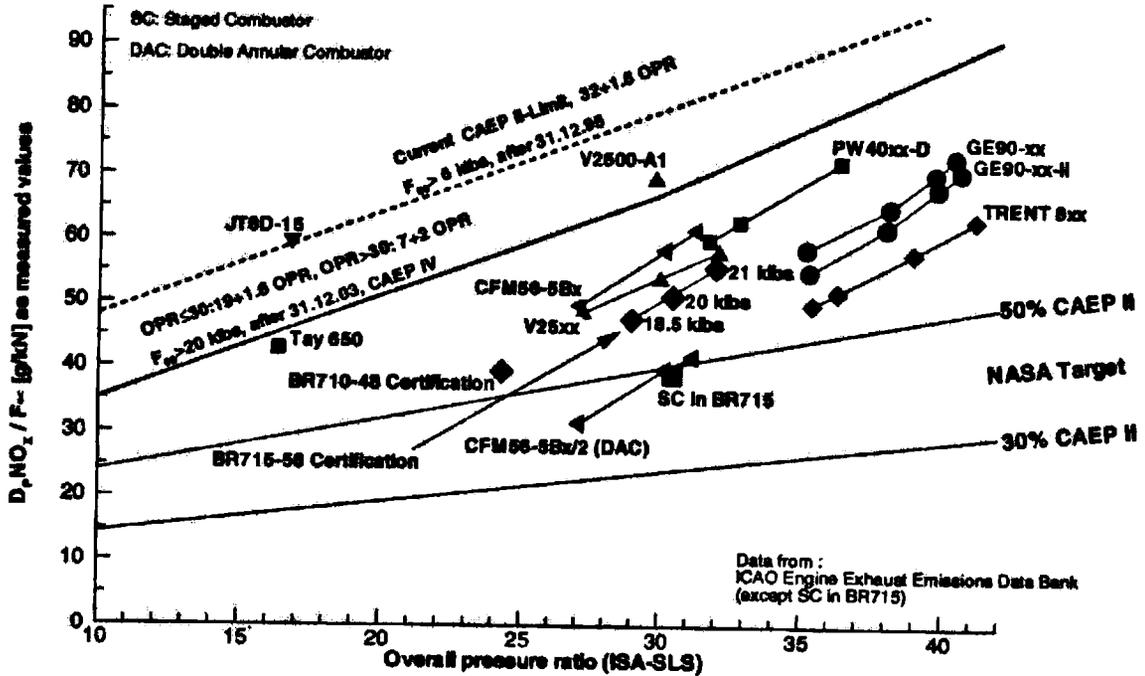


Fig. 1: NOx emissions according to ICAO regulation

Fig.2

REQUERIMIENTOS DE LA CAMARA DE COMBUSTION

La cámara de combustión para aplicación en motores de uso aeronáutico, debe cumplir completamente con una gran variedad de requisitos resultantes de la aeronavegabilidad, costo, aspectos ambientales y durabilidad, a través del DNAR /FAR Parte 33, “Airworthiness Standards: Aircraft Engines“, y el Anexo 16, Vol.II de la OACI, con una serie de ensayos en tierra y en vuelo. La Cámara de Combustión debe asegurar una operación estable a través de la completa Envolvente de Vuelo (flight envelope), incluyendo un incremento en las condiciones del tiempo y “Fast transient” maniobras. El límite de la extinción de la llama (Weak-extinction), debe ser lo mas alta posible. Para el “combustor escalonado” (staged combustor), adicionalmente ambas zonas deben asegurar suficiente estabilidad de la llama cuando pasen del punto p.e, la potencia del motor mas baja cuando ambas zonas son alimentadas.

La ignición y la subsecuente aceleración del motor de un arranque en frío (cold-start sea level) y a una altitud windmill/started-assisted , tiene que cumplir totalmente la aeronavegabilidad y requerimientos del operador. El combustor no debe generar excesivo ruido, especialmente durante el arranque.

Para la performance del motor, la elevada eficiencia del combustor y baja perdida de Presión, es requerida para un bajo consumo especifico de combustible.

Una suave operación del sistema de control de combustible (FCU) es esencial.

Este es un importante Ítem a considerar, debido al inherente tiempo de respuesta del sistema de combustible y cambios rápidos que ocurren cuando el efecto “staging” ocurre.

Finalmente, el diseño del combustor debe hacer frente a los aspectos ambientales, como las futuras regulaciones de emisión y también las emisiones de los aeropuertos debe ser considerada.

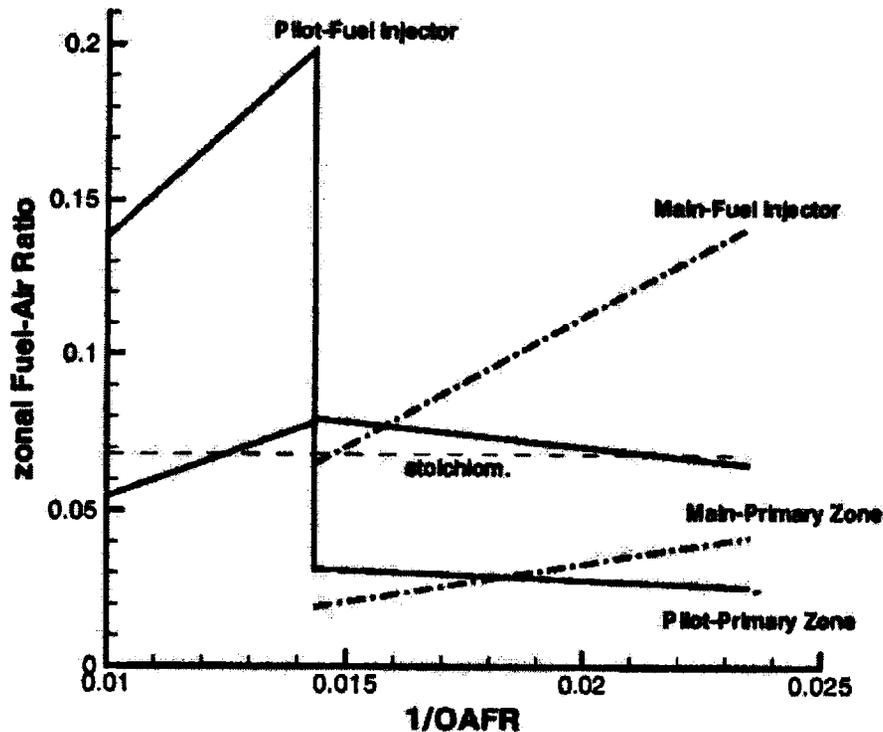


Fig. 2: Staged combustor 1-D zonal stoichiometry

Fig.3

ANÁLISIS CONCEPTUAL Y DISEÑO DE LA CÁMARA DE COMBUSTIÓN PARA REDUCCIÓN DEL NO_x

El “combustor escalonado”, (**fuel staged combustor**) (Fig.4) incorpora 2(dos) zonas de quemado del combustible.

La “zona piloto”, que es inyectada con combustible en toda la operación del motor, mientras que la “zona principal” es puesta en circuito (“switched on”), a una potencia intermedia (“seteada”) con el combustible re-distribuido desde la “zona piloto” a la “zona principal”. Por el uso de la E.E.C (**Electronic Engine Control**) de última generación en combinación con el sistema de combustible, la misma permite el cambio del rociado de combustible dividido (“fuel split”), entre la zona piloto y la principal a un valor requerido, optimizando ambas zonas individualmente.

El combustor del BR-700 está equipado con 20 inyectores “piloto” y 20 “principales”, que mantienen un equilibrio entre el costo y reducción del nivel de NO_x.

La estabilidad de las zonas piloto y principal, son uno de los requerimientos básicos para la asegurar la aeronavegabilidad. No obstante, el límite de extinción de la llama para las dos zonas fue testeado individualmente, por ejemplo, en régimen de “ralenti”(“flight idle”)(FI), para el piloto, y para varios puntos en modo de operación dual. La zona piloto del combustor fue diseñada para tener una capacidad de reencendido arriba de los 30kft, basado en reglas de diseño del combustor simple del BR 715, combustor anular simple. Para la zona principal, no hay reglas para su diseño.

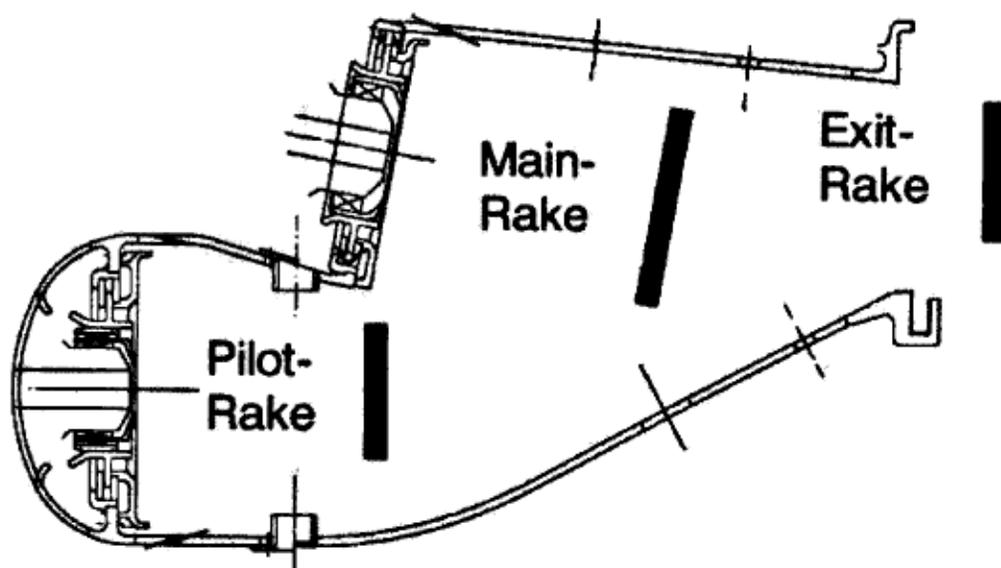


Fig. 8: Gas sampling positions in staged combustor

Fig.4

En la Fig.3, muestra las zonas estequiométricas para el inyector –fuel del piloto, y para el spray –fuel de la zona principal. Debajo del punto de equilibrio, a $1/OAFR=0.0143$, la zona piloto esta operando cerca estequiométricamente y provee, condiciones para un nivel bajo de emisiones de CO/UHC, estabilidad y capacidad de reencendido en altura.

Después del punto de equilibrio, la zona piloto esta quemando pobre, y cuando la potencia es incrementada con el incremento de la cantidad de combustible a la zona principal para una reducción adicional de la temperatura media en la zona piloto. No obstante, un eficiente proceso de mezclado de la dilución del aire es requerido en orden de alcanzar una corta transición a la zona primaria pobre.

Por esto, bajas emisiones de NOx pueden ser alcanzadas.

El estudio y diseño final fueron llevados a cabo para el motor BR700-710*1-10, cuyo certificado tipo fue validado por la DNA(DCA), que equipa al Gulfstream

G-V SP, en operación en nuestro país. El motor fue diseñado por el consorcio Rolls-Royce – BMW, llevándose a cabo reuniones entre la DNA y el consorcio RR- BMW en Savannah, USA.

CONCLUSIONES

En comparación con los límites de ICAO estos valores son:

NOx: 51% CAEP II ICAO –Limit

CO: 20% ICAO-Limit

UHC: 2% ICAO -Limit

El combustor standard E-Can ha demostrado en el ensayo del motor instalado el potencial para mejorar la baja emisión de NOx y bajar el 3% de 48% del CAEPII Limit.

Se demostró un nivel de NOx de alrededor del 50% del limite CAEPII sin compensación contra CO, UHC y emisiones de humo ,en un motor con el núcleo del

BR 715 bajo condiciones reales. Esto se logra principalmente por la fuerte integración axial de las 2(dos) zonas de quemado mediante la forma especial de la pared del recubrimiento interior. La excelente condición de la turbina HP NGVs y los alabes indican una temperatura de salida transversal del combustor similar a la del BR715 (combustor anular simple), aun para una relación de combustible salpicado en la zona principal.

No se detecto un retardo del empuje o pérdida del margen de sobrecarga apreciable del compresor y no se produjo una extinción de llama durante los ensayos de desaceleración rápida. Estos resultados, junto con las mediciones de extinción de la llama en el motor instalado, ofrecen un alto grado de seguridad de que el combustor escalonado, podría soportar condiciones de mal tiempo sin problemas de extinción de la llama. El incremento del consumo de combustible debido a una pérdida de presión aerodinámica levemente elevada es irrelevante.

REFERENCIAS

- 1. Schadstoffe in der Luftfahrt, 1998
Abschlusskolloquium der BMBF- Verbundprogramms, 31.3.1998,
Köln, Germany**
- 2. Royal Commission on Environmental Pollution**
- 3. Working Paper(CAEP), Montréal, 5 to 16 February 2007**
- 4. Brehm N., “NOx Reduction in a fuel Staged Combustor by
Optimisation of the Mixing Process and the Residence Time”RTO
(AGARD)**
- 2. Dual stage-dual mode low NOx combustor-Colin Wilkes, GE**