

APÉNDICE 1. EVALUACIÓN DE LA CONFIABILIDAD DEL SISTEMA DE PROPULSIÓN.

1. PROCEDIMIENTO DE EVALUACIÓN

Para establecer si una combinación avión-motor particular ha satisfecho los requisitos vigentes de confiabilidad del sistema de propulsión para operaciones de alcance extendido, un equipo de especialistas de la Dirección de Certificación Aeronáutica y de la Dirección Aviación de Transporte de la DNA (Comisión de Evaluación de Confiabilidad del Sistema de Propulsión, CECSP), llevará a cabo una evaluación completa, utilizando todos los datos e información disponibles del sistema de propulsión (incluyendo la APU, si es requerido).

Los criterios operacionales y de ingeniería fundamentados en datos estadísticos relevantes, se usarán para determinar la confiabilidad actual del sistema de propulsión. Los resultados (findings) obtenidos por el equipo de especialistas serán incluidos en un Informe de Evaluación de Aviones de la DNA.

- a. Experiencia en Servicio. Para proporcionar una indicación razonable de las tendencias de confiabilidad del sistema de propulsión de los aviones y descubrir las áreas problemáticas, se requerirá una determinada experiencia en servicio. En general, las evaluaciones de confiabilidad de la combinación avión-motor para alcance extendido, comprenden dos grandes categorías: Aquellas que fundamentan las operaciones con un tiempo máximo de desviación de 120 minutos y aquellas que fundamentan las operaciones con tiempos máximos de desviación mayores que 120 minutos. Sin embargo, se puede otorgar una aprobación especial de operación, a partir de un análisis caso por caso, para rutas de desviación de hasta 90 minutos y que requieran una evaluación limitada de la experiencia en servicio en el momento de la solicitud.
 - (1) Autorización de operación de hasta 90 minutos. En esta categoría, la experiencia en servicio de la combinación avión-motor puede ser menor que 250.000 horas según lo previsto en el párrafo a.(2). Debe mostrarse que se ha acumulado la suficiente experiencia favorable, que avala un nivel de confiabilidad apropiado para una operación de alcance extendido de hasta 90 minutos. Según lo detallado anteriormente en la Norma, un explotador particular puede recibir una autorización especial de hasta 90 minutos después de un análisis caso por caso, por parte del Director de Habilitaciones Aeronáuticas
 - (2) Operaciones de hasta 120 Minutos. Normalmente, será necesario la acumulación de, al menos, 250.000 horas del motor en la flota mundial antes de que el proceso de evaluación pueda producir resultados importantes. Esta cantidad de horas puede reducirse si están identificados los factores de compensación adecuados, los que brindan una razonable base de datos equivalente según lo establecido por la CECSP. Cuando la experiencia con otro avión sea aplicable al avión propuesto, una gran parte de las 250.000 horas de experiencia, normalmente, deben ser obtenidas a través del avión candidato. En el caso que un motor en particular derive de un motor existente, la experiencia operacional requerida está sujeta al establecimiento del grado de similitudes de operación y de partes componentes comunes.

- (3) Operaciones de más de 120 minutos (180 minutos). La conveniencia de operar el avión más allá de los 120 minutos no será considerada hasta que la experiencia operativa en servicio en alcance extendido de 120 minutos indique claramente que un crédito adicional es aceptable. Esto generalmente incluiría al menos un año de experiencia en servicio con una flota configurada para ETOPS en operaciones de 120 minutos, con el correspondiente nivel de confiabilidad del sistema de propulsión.
- b. Base de Datos de Confiabilidad. Para evaluar en forma adecuada la confiabilidad del sistema de propulsión, considerando el tiempo de desviación máximo propuesto, para la aprobación del diseño tipo de alcance extendido, se requiere determinada información y datos de la flota mundial. La CECSP normalmente intenta maximizar el uso de las fuentes y clases de datos existentes generalmente disponibles; sin embargo, puede requerirse información adicional en determinados casos. Para avalar las solicitudes de aprobación del diseño tipo para alcance extendido, deben proporcionarse datos obtenidos de diferentes fuentes para garantizar que se dispone de la totalidad de la información; por ejemplo, fabricante del motor, explotador, y fabricante del avión. Los datos provistos por ese medio deben incluir todas las descripciones del caso, calificaciones, y cualquier detalle pertinente necesario para ayudar a determinar el impacto sobre la confiabilidad del sistema de propulsión. Estos datos deben incluir:
- (1) Un listado de todas las detenciones del motor producidas, tanto en tierra como en vuelo, por cualquier causa (excluyendo los casos de entrenamiento normales) incluyendo extinción de llama de motor ("Flameout"). La lista debe proporcionar la identificación (modelo y número de serie del avión y del motor), historial de configuraciones y modificaciones del motor su posición, circunstancias que produjeron el evento, fase del vuelo u operación en tierra, condiciones ambientales/climáticas y motivo de la detención del motor. Además, debe proveerse información adicional para todos los casos en que no se logró el control o el nivel de empuje deseado.
 - (2) El índice de remociones no programadas de motor (acumulado de 6 y 12 meses), resumen de remociones, valores históricos de la tasa de remociones y causas primarias para el desmontaje no programado del motor.
 - (3) Demoras en los despachos, cancelaciones de vuelos, despegues abortados (incluyendo aquellos inducidos por un error de mantenimiento o de la tripulación) y desviaciones en ruta por causas del sistema de propulsión.
 - (4) Total de horas, ciclos del motor y distribución de horas según la antigüedad del motor.
 - (5) Tiempo medio entre fallas de los componentes del sistema de propulsión que afecten la confiabilidad.
 - (6) Índice de detenciones de motor en vuelo (IFSD) basado en el promedio de los últimos 6 y 12 meses.
 - (7) Datos adicionales según lo especificado por el CECSP.

- c. Manejo del Riesgo y Modelo de Riesgo. Para garantizar que los riesgos por incremento de los tiempos de desviación sean aceptables, se ha elaborado un modelo de riesgo. El modelo de riesgo se basa en los registros de servicio conocidos de una gran flota preestablecida de aviones bimotores turbofan de transporte civil. La experiencia en servicio de esta Flota Base ha sido muy satisfactoria y refleja un alto nivel de seguridad en sus sistemas de propulsión. Esta flota ha alcanzado un índice promedio de detenciones durante el vuelo (IFSD) de aproximadamente 0,02/1000 horas durante un período de 10 años volando principalmente en rutas que cumplen con los **requisitos de Tránsito Aéreo** (por ejemplo, trayectorias de vuelo de 60 minutos desde un aeropuerto adecuado).
- (1) El riesgo de falla del motor, durante una desviación con un solo motor, está directamente relacionado al tiempo de vuelo de desviación y a la confiabilidad del sistema de propulsión o promedio IFSD. Esto presupone que la falla del primer motor, que causa la desviación, no está relacionada con la probabilidad de falla del segundo motor durante la desviación. La causa común o los modos de falla relacionados se discutirán en el párrafo 2.(d). El producto del índice promedio de IFSD por el tiempo de desviación puede designarse como un factor de riesgo para la desviación e identificarse como (λT) . Para un índice de IFSD 0,02/1000 y una desviación máxima de 60 minutos para la Flota Base, (λT) sería igual a $(0,02/1000) \cdot (60)$. Identificando este factor de riesgo de la Flota Base como $(\lambda T)^*$, otras combinaciones del índice de IFSD y tiempos de desviación se pueden dividir por este factor de riesgo de la Flota Base para determinar el riesgo relativo ETOPS, es decir $(\lambda T)/(\lambda T)^*$. Para los tiempos de desviación ETOPS de 60 minutos y índices de IFSD de 0,02/1000, el factor de riesgo relativo es igual a 1.0. Esta relación se muestra en la Figura 1.

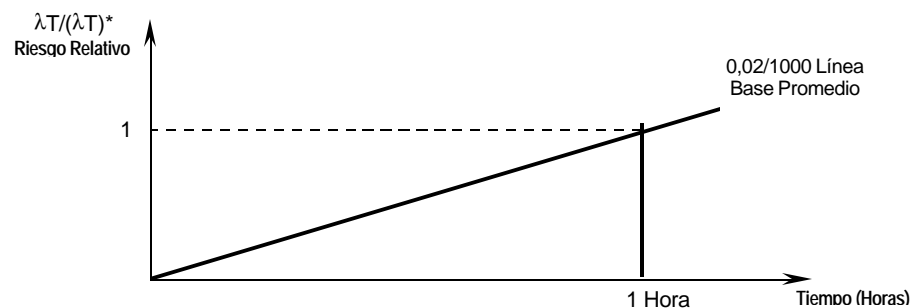


Figura 1

- (2) Extendiendo este modelo a una familia de índices de IFSD y tiempos de desviación, se muestra en la Figura 2 la relación entre el tiempo de desviación, el índice de IFSD, y el riesgo relativo de la flota base durante la desviación:

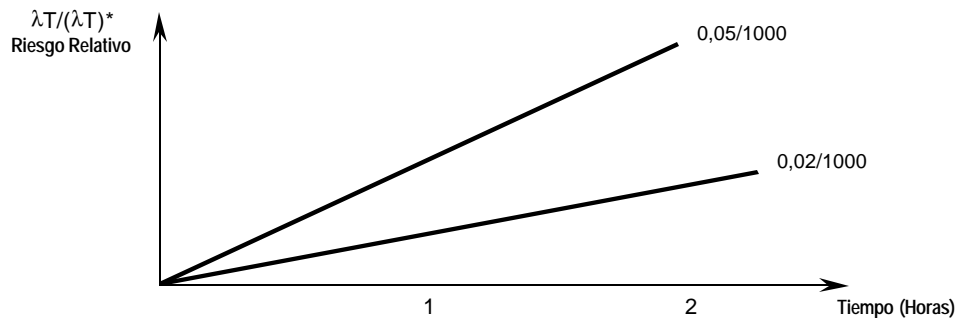


Figura 2

2. NIVELES DE CONFIABILIDAD

Según lo discutido en el párrafo 1, para garantizar que los riesgos asociados con un aumento en los tiempos de desviación sean aceptables, debe demostrarse que la confiabilidad de los sistemas de propulsión ETOPS se aproxima o iguala al valor de 0,02/1000 correspondiente a la altamente confiable Flota Base y que los apropiados requisitos de operación y de mantenimiento se han implementado (Ver Figura 3).

- a. Operaciones de hasta 120 Minutos. La confiabilidad de toda la flota debe aproximarse o alcanzar aquella de la altamente confiable flota base, después de haber incorporado los apropiados requisitos de operación y de mantenimiento para la configuración correspondiente. Las tasas de falla de los sistemas de propulsión durante la "Edad Madura" (CURVA DE LA BAÑERA) han indicado que la incorporación de modificaciones en el sistema de propulsión, luego de 250.000 horas de experiencia en servicio, produjeron una mejora de 0,03/1000 aproximadamente en la índice de IFSD. Dado el objetivo IFSD de aproximadamente 0,02/1000 horas y la tasa de mejora potencial de 0,03/1000 horas, el umbral puede ser establecido, al comienzo de la operación de alcance extendido, en un valor de aproximadamente 0,05/1000 horas (Ver figura 3). Debe notarse que este es un umbral y que condiciones específicas de los datos de confiabilidad de la flota tales como la efectividad en la resolución de problemas, tipos de fallas, etc., podrían ser relevantes en el establecimiento de un umbral inicial diferente a 0,05/1000 horas.
- b. Operaciones de más de 120 Minutos. La confiabilidad de toda la flota debe alcanzar a aquella de la altamente confiable Flota Base antes de la aprobación. Solamente aquellas combinaciones avión-motor que exhiban los más altos niveles de confiabilidad en todos sus sistemas se considerarán satisfactorias para este tipo de operación (Ver figura 3). Además, como prerequisite para estos aviones, será necesario contar, normalmente, con al menos un año de experiencia en servicio satisfactoria en operaciones ETOPS de 120 minutos, bajo las condiciones de esta Norma.
- c. Resumen de Objetivos de Confiabilidad. Cuando se utiliza el modelo de riesgo, puede demostrarse que a medida que se va progresando desde el nivel de confiabilidad inicial requerido al nivel de confiabilidad que se tiene como objetivo

(alcanzado para operaciones de 180 minutos), el riesgo total no es adversamente impactado al considerar los respectivos aumentos en el tiempo de desviación. (Ver Figura 3).

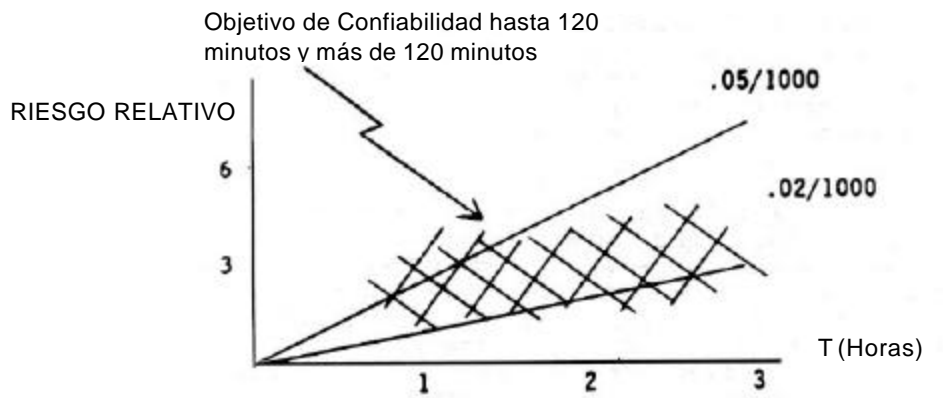


Figura 3

- d. Corroboración del Modelo de Riesgo con Análisis. Como una verificación de cuan conservativos son los niveles de confiabilidad identificados por el Modelo de Riesgo, se puede llevar a cabo un análisis que, dadas ciertas suposiciones, puede corroborar los objetivos del modelo e identificar áreas de importancia en donde se debe continuar vigilando el diseño, la operación, y el mantenimiento. En la elaboración de tal análisis, se asume que la probabilidad de la pérdida total de empuje en vuelo en cualquier avión con dos motores se debe a aquellos mecanismos de falla del motor considerados como eventos independientes (por ej. la falla del motor izquierdo es independiente de la falla del motor derecho) y a esos eventos de fallas de motor que están relacionados con una fuente común (por ej. fallas de los motores derecho e izquierdo como resultado de un evento relacionado o común). Esto puede expresarse así:

$$P_{tt} = P_{ti} + P_{tc} \quad (1)$$

P_{tt} : Probabilidad total de pérdida completa de empuje en un vuelo determinado.

P_{ti} : Probabilidad de pérdida completa de empuje durante el vuelo debido a causas independientes.

P_{tc} : Probabilidad de pérdida completa de empuje durante el vuelo debido a causas comunes.

En la determinación de la probabilidad de pérdida total de empuje debido a causas independientes (*P_{ti}*), el Report N° AN-WP/5593 de OACI titulado "Operación de Alcance extendido de aviones de transporte aéreo comercial con dos motores", del 15 de febrero de 1984, contiene una evaluación analítica del índice de detenciones de motor en vuelo (IFSD), tiempo de vuelo, y tiempo de desviación, obtenidos de una evaluación mundial de accidentes de aeronaves de transporte comercial durante un período reciente de varios años. Esta relación,

según este estudio, es mostrada de la siguiente manera:

$$\text{Taza de IFSD} = \sqrt{\frac{10^{-8} (0,6 + 0,4T)}{TY}} \quad (2)$$

Donde: T= duración de vuelo prevista
Y= tiempo de desviación

A modo de ejemplo, para un vuelo de siete horas y un tiempo de desviación de dos horas, la ecuación (2) indica un índice de IFSD de 0,05/1000 como necesario, mientras que para un tiempo de desviación de 3 horas, se necesita una tasa de 0,04/1000 para proporcionar un nivel de probabilidad que avale la tasa mundial de accidentes de referencia. Como puede observarse, el Modelo de Riesgo identificado en el párrafo 1.c. de este Apéndice requiere se alcance un índice de IFSD igual a la mitad de la calculada utilizando la evaluación de la OACI. Se considera esencial que para el índice de IFSD de ETOPS proporcionada por el párrafo 1.c de este Apéndice sea considerada la influencia de los mecanismos de falla debido a causas comunes (Ptc) así como también las incertidumbres asociadas con la suposición establecida en el estudio de la OACI. Aunque no existen modelos analíticos adecuados desarrollados para evaluar la probabilidad de la pérdida completa de empuje durante el vuelo debido a eventos generados por una causa común (Ptc), se considera que mediante el establecimiento de sistemas de propulsión altamente confiables a través del logro de un bajo índice de detenciones en vuelo, el control continuo del diseño del avión y del motor para aquellas potenciales dificultades en servicio comunes, y el seguimiento de las practicas de mantenimiento y operacionales, como son identificadas en los Apéndices 4 y 5, los riesgos asociados con la pérdida total del empuje pueden ser mantenidos a niveles bajos aceptables (Figura 4).

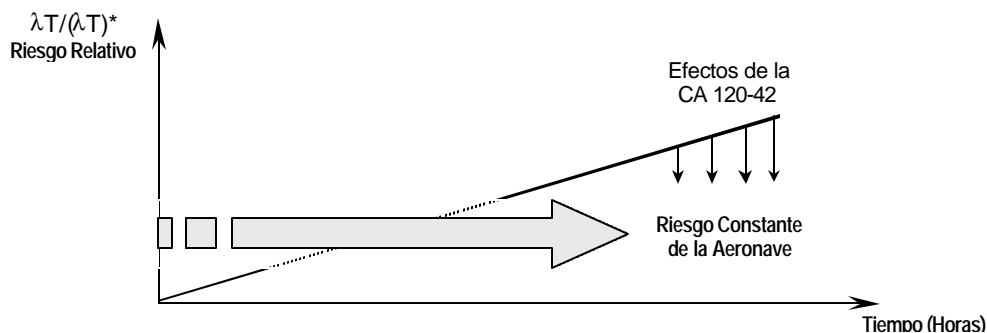


Figura 4

- e. Consideraciones para la Aprobación del Sistema de Propulsión. La determinación de que un sistema de propulsión es adecuado, por la evaluación de las consideraciones para cualquiera de las dos categorías principales, la establece la CECSP. La Tabla 1 identifica los elementos constituyentes de las dos principales categorías de consideraciones para la aprobación.

Tabla 1

Consideraciones de aprobación del sistema de propulsión

<u>Operación de Hasta 120 minutos</u>	<u>Operación de Más de 120 Minutos</u>
✓ 250.000 horas de motor (con una parte importante de las mismas experimentadas en el avión candidato).	✓ Igual, más al menos un año adicional con la flota configurada para alcance extendido aprobada.
✓ Alcanzar un índice de IFSD de aproximadamente 0,05/1000 horas (el objetivo es continuar mejorando hacia un índice de 0,02/1000 horas).	✓ Lograr y mantener un índice de IFSD de aproximadamente 0,02/1000 horas.
✓ Revisión periódica de los datos del sistema de propulsión y la experiencia en servicio, y revisión de la norma CMP según corresponda.	✓ Igual, el programa para la incorporación de requisitos de normas CMP puede ser más corto.

3. **EVALUACIÓN DE INGENIERÍA**

La metodología a utilizar por la DNA en la determinación de la confiabilidad adecuada del sistema de propulsión será un enfoque orientado al problema utilizando conceptos "fail-safe", una evaluación del desarrollo del sistema de propulsión, el nivel alcanzado del índice de IFSD, los criterios operativos y de ingeniería y un análisis de confiabilidad, consistirá de:

- a. Un análisis, sobre una base caso por caso, de todas las fallas importantes, defectos y mal funcionamientos experimentados en servicio (o durante el ensayo) para la combinación avión-motor que se está considerando. Las fallas importantes son principalmente aquellas que provocan o resultan en detenciones en vuelo o extinción de llama en el/los motor/es ("Flameout"), pero también pueden incluir fallas en tierra poco comunes, reducción no controlada del empuje, y/o desmontajes no programados de motores del avión. Al realizar la evaluación, se considerará lo siguiente:
 - (1) El tipo de motor, la experiencia previa, la similitud de los componentes y de las características de operación con otros motores, y el límite de la performance operativa del motor a usar con un motor detenido.
 - (2) Las tendencias de los promedios acumulativos de los últimos 6 y 12 meses, de los índices de detenciones en vuelo versus horas de vuelo y ciclos del sistema de propulsión, actualizados trimestralmente.
 - (3) El efecto de modificaciones correctivas, mantenimiento, etc., sobre la posible confiabilidad futura del sistema de propulsión.

- (4) Las acciones de mantenimiento recomendadas y realizadas y sus efectos sobre las tasas de falla de los motores y de la APU.
 - (5) La acumulación de experiencia operativa que cubran el rango de limitaciones ambientales que pueden encontrarse.
 - (6) Duración máxima pretendida del vuelo y tiempo máximo de desviación aprobado.
- b. Una evaluación de las acciones correctivas llevadas a cabo para cada problema identificado con el objetivo de verificar que la acción es suficiente para corregir la deficiencia.
 - c. Cuando cada deficiencia identificada importante tiene su correspondiente acción correctiva aprobada por la DNA y cuando todas las acciones correctivas están incorporadas y verificadas de manera satisfactoria, la CECSP determina que un aceptable nivel de confiabilidad puede ser alcanzado. También se usará la corroboración estadística. Cuando los datos de un fabricante extranjero y/o de un explotador/es se están evaluando, se ofrecerá a las Autoridades de Aviación Civil respectiva, la oportunidad de participar. Ellos serán informados por la CECSP durante los procesos y se les proporcionará una copia del informe final para su evaluación.

4. ITEMS RELEVANTES (FINDINGS) ENCONTRADOS POR LA CECSP

Una vez completada la evaluación y cuando la CECSP haya documentado sus ítems relevantes, la DNA declarará si la combinación avión-motor particular satisface o no las consideraciones relevantes de esta Norma. Los ítems recomendados para calificar el sistema de propulsión, los requisitos de mantenimiento, y las limitaciones serán incluidos en el Informe de Evaluación del Avión (párrafo 9.e.).

5. MONITOREO CONTINUO DE LA FLOTA

A los fines de garantizar que se mantiene el nivel de confiabilidad deseado, la CECSP efectuará un monitoreo continuo de los datos de confiabilidad y revisará periódicamente sus ítems relevantes originales. Además el documento de la DNA que contiene la norma CMP será revisado según sea necesario.