

## INTRODUCCIÓN

La implantación de la Separación Vertical Mínima Reducida (RVSM) fue establecida para suministrar capacidad adicional en la utilización del espacio aéreo y mejoras en la performance operacional de los usuarios.

La RVSM tiene como objetivo principal asegurar la implantación de la separación de 1000 pies entre FL 290 y FL 410, ambos inclusive, entre aeronaves debidamente equipadas y aprobadas RVSM en las Regiones de Información de Vuelo (FIRs) de las Regiones CAR/SAM.

Los 6 niveles de vuelo adicionales que estarán disponibles en las altitudes más utilizadas permitirá a los usuarios volar en o cerca de sus niveles óptimos de vuelo, con la consecuente disminución en el consumo de combustible y costos operativos, asimismo ayudará a incrementar la capacidad del espacio aéreo y de los ACCs de la región.

En consecuencia para aquellas aeronaves que por su año de fabricación son consideradas como no aprobadas para operar en niveles RVSM surge la necesidad de realizar modificaciones y de implementar procedimientos de aeronavegabilidad continuada para lograr su aprobación, lo cual da origen al presente trabajo, donde se propone desarrollar el estudio de ingeniería orientado a la incorporación de la capacidad RVSM en las aeronaves Boeing 727-200 de Líneas Aéreas Suramericanas S.A.

## **1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.1 ANTECEDENTES (ESTADO DEL ARTE)**

El constante aumento mundial del tránsito aéreo, la necesidad operacional de que las aeronaves vuelen lo más cerca posible de sus niveles de vuelo óptimos y la demanda de una mejor utilización del espacio aéreo han impulsado la implantación de la separación vertical mínima reducida (RVSM) de 1000 pies desde el FL 290 hasta el FL 410 ambos inclusive en las diversas regiones de la OACI, tales como Atlántico Norte, Asia-Pacífico, Europa, corredor EUR/SAM del Atlántico Sur (SAT), el área WATRS (Western Atlantic Route System) y el Medio Oriente, demostrando largamente sus ventajas y representando sin duda la mejor solución para incrementar la disponibilidad de los niveles de vuelo óptimos a la vez de mantener o mejorar los niveles exigidos de seguridad.

Para ello en la Tercera Reunión Regional de Navegación Aérea del Caribe y Sudamérica (RAN CAR/SAM/3), realizada en Buenos Aires, Argentina en 1999, se encargó al Grupo Regional de Planificación y Ejecución CAR/SAM (GREPECAS) que efectuara estudios y evaluara las necesidades y los beneficios resultantes de la implantación RVSM en ambas regiones.

De acuerdo al análisis de los principales flujos de tránsito identificados por el GREPECAS, en las regiones CAR/SAM ya existen algunos sectores del espacio aéreo, especialmente durante los periodos y horas “punta”, que están experimentando congestiones de tránsito. Consecuentemente, un número significativo de aeronaves no opera a su nivel de vuelo óptimo, lo cual está afectando adversamente la eficiencia de las operaciones aéreas.

En la Décima Reunión del GREPECAS realizada en Las Palmas, Islas Canarias, España, en octubre de 2001, se concluyó que la implantación de la RVSM permitiría un mejor aprovechamiento del espacio aéreo y beneficiaría la economía del transporte aéreo. A fin de establecer una estrategia de implantación armoniosa con las otras regiones de la

OACI, la decisión de la implantación RVSM en las regiones CAR/SAM, fue ratificada en la onceava reunión del GREPECAS llevada a cabo en Manaus, Brasil, en diciembre de 2002 y en la doceava reunión del GREPECAS en La Habana, Cuba en junio de 2004, se determinó que dicha implantación sería partir de las 09:01 UTC del 20 de enero de 2005, en armonía con la Región NAM de la OACI.

Para el caso de Colombia se entiende que a partir de las 09:01 UTC del 20 de enero de 2005 se designará como espacio aéreo RVSM, al comprendido entre FL290 y FL410 inclusive, correspondiente a la FIR Bogotá y a la FIR Barranquilla.

La separación vertical mínima que se aplicará en el espacio aéreo RVSM descrito anteriormente será de 1000 ft, entre aeronaves aprobadas RVSM y de 2000 ft, entre aeronaves no aprobadas RVSM, o entre una RVSM y otra no RVSM, esto teniendo en cuenta que a partir de las 0001 UTC del 01 de febrero de 2005 y hasta el 20 de julio de 2006, el ATC podía autorizar aeronaves en vuelos domésticos, que se realicen al interior de las Regiones de Información de Vuelo de Bogotá y Barranquilla, que utilizaran los niveles de vuelo comprendidos entre FL 290 y FL 340, siempre que la demanda del tránsito y la carga de trabajo del controlador lo permitieran.

Actualmente el espacio RVSM en Colombia es EXCLUSIVO, es decir, que en dichos niveles no se permiten vuelos de aeronaves NO APROBADAS RVSM. Esta situación plantea un desafío en la competitividad, para, aquellas empresas que operan con equipos que por su año de fabricación fueron diseñados para operar en espacios aéreos que en ese entonces tenían una separación vertical entre aeronaves de 2000 pies, por lo que actualmente son consideradas como NO APROBADAS RVSM.

En consecuencia dichas aeronaves al no operar en su óptimo nivel de vuelo presentan un incremento en el consumo de combustible en todos los trayectos, lo que acompañado de las constantes alzas del valor de los hidrocarburos desencadenan un incremento generalizado de los gastos de operación afectando la competitividad de la empresa en el sector.

## **1.2 DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

La introducción de la RVSM ha permitido la aplicación de una Separación Vertical Mínima de 1.000 pies entre las aeronaves convenientemente equipadas, en la banda de niveles FL 290 - FL 410, ambos inclusive, proporcionando de este modo seis niveles de vuelo adicionales disponibles, aumentando la disponibilidad y el uso eficiente del espacio aéreo. Pero, como efecto colateral aquellas aeronaves que no están convenientemente equipadas o que actualmente son consideradas como no aprobadas RVSM han dejado de operar en los niveles óptimos para los cuales fueron originalmente diseñadas trayendo consigo consecuencias operacionales y económicas. Esto genera la necesidad de realizar las modificaciones necesarias y el desarrollo de instrucciones de aeronavegabilidad continuada para que dichas aeronaves cumplan con las especificaciones mínimas de rendimiento necesarias para operar en espacios RVSM.

¿Qué requisitos mínimos de rendimiento deben ser incorporados y cuales instrucciones de aeronavegabilidad continuada deben ser implementadas ¿EN DÓNDE O EN QUÉ? para que las aeronaves B727-200 de la empresa Líneas Aéreas Suramericanas sean aptas para la operaciones en niveles RVSM?

## **1.3 JUSTIFICACIÓN**

El presente propuesta para la incorporación de la capacidad RVSM en los equipos B727-200 de Líneas Aéreas Suramericanas S.A, surge como solución a una problemática actual cuyo desarrollo permitirá:

- Fomentar el desarrollo de soluciones de ingeniería por parte del sector aeronáutico colombiano incursionando en campos tecnológicos que han estado reservados para empresas extranjeras.

- Proponer una solución fundamentada en el uso eficiente de los recursos disponibles en la Empresa, lo que puede ser usado como referencia por parte de otros operadores en la búsqueda de soluciones a problemas similares.
  
- Hacer más competitiva la operación de la Empresa en cuestión, favoreciendo el crecimiento de la misma y de su entorno.

## **1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

**1.4.1 Objetivo general:** establecer los criterios técnicos que permitan decidir la factibilidad de la incorporación de la capacidad RVSM en los equipos Boeing 727-200 de Líneas Aéreas Suramericanas S.A.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

- Reconocer cuales los requisitos mínimos necesarios de rendimiento que deben ser implementados en cada una de las aeronaves para operar en espacios RVSM.
  
- Diseñar el proceso de implementación de los requisitos mínimos para cada una de las aeronaves.
  
- Desarrollar los procedimientos de aeronavegabilidad continuada referentes a la operación en niveles RVSM, para cada una de las aeronaves.

## **1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES DEL PROYECTO**

El proyecto esta orientado a los 4 equipos B727-200 de la empresa Líneas Aéreas Suramericanas S.A identificadas con las matriculas HK-4401, HK-4354, HK-4262 y HK-4261, las cuales fueron seleccionadas teniendo en cuenta la tecnología en la aviónica a bordo lo cual hace bastante factible la implementación de las modificaciones y procedimientos propuestos una vez desarrollado el presente proyecto.

Este trabajo brindará orientación e información sobre los procesos que se deben tener en cuenta para que los explotadores de aeronaves obtengan la certificación operacional y de aeronavegabilidad para operar en el espacio aéreo designado RVSM.

Cumpliendo así las normas y requisitos establecidos por la U.A.E.A.C orientadas por la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) para el establecimiento de las operaciones RVSM.

## 2. MARCO DE REFERENCIA

### 2.1 MARCO TEORICO

**2.1.1 ¿Qué es la separación vertical mínima reducida (RVSM)?:** La **separación vertical mínima reducida (RVSM)**, en inglés "*Reduced Vertical Separation Minimum*") es un término usado en aviación para denominar la separación vertical requerida entre dos aeronaves de 1000 pies (300 metros) entre niveles de vuelo FL290 y FL410 (entre 29000 y 41000 pies). Esto permite un mayor uso de un determinado espacio aéreo (espacio aéreo RVSM).

**2.1.2 ¿Cómo surge el concepto de RVSM?:** En el año 1982, con la coordinación del Grupo de expertos sobre el examen del concepto general de separación (RGCSF), los Estados iniciaron programas a fin de estudiar a fondo el tema de reducción de la separación vertical mínima (VSM) por encima del FL 290. Canadá, Estados Unidos, Japón, Estados miembros de EUROCONTROL (República Federal de Alemania, Francia, Reino de los Países Bajos y Reino Unido) y la Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas, llevaron a cabo estudios cuyos resultados fueron examinados por el RGCSF en su sexta reunión (RGCSF/6) en diciembre de 1988. En dichos estudios se emplearon métodos cuantitativos de cálculo del riesgo en apoyo de decisiones operacionales relativas a la viabilidad de la reducción de la VSM. El cálculo del riesgo comprendía dos elementos; El primero es la estimación del riesgo, que consiste en elaborar y utilizar métodos y técnicas que permiten estimar el nivel real de riesgo de una actividad Y el segundo es la evaluación del riesgo, o sea el nivel de riesgo considerado como el valor máximo admisible para un sistema seguro. Al cual se le ha dado el nombre de nivel deseado de seguridad (TLS), nivel de riesgo que se considera aceptable.

En el procedimiento de estimación del riesgo en el plano vertical, utilizando el Modelo de riesgo de colisión (CRM), se asume que las colisiones se deben únicamente a errores de

navegación vertical de aeronaves en las cuales ha sido aplicado correctamente un procedimiento de separación.

Se ha obtenido el TLS para aplicarse únicamente a esta contribución de riesgo de colisión donde no se tienen en cuenta el riesgo procedente de otras fuentes tales como:

- Las desviaciones de altitud debidas a turbulencia.
- las respuestas a las alertas del sistema anticolidión de a bordo.
- los descensos de emergencia.
- los errores operacionales en la emisión o aplicación de instrucciones de control de tránsito aéreo (ATC).

El reconocimiento de la existencia de diversas fuentes de riesgo (además de los errores de navegación vertical) influenció a los Estados, a seleccionar los valores TLS durante sus respectivos estudios.

Donde se han seguido varios métodos para establecer una gama apropiada de valores, incluyendo todas las colisiones en vuelo en ruta y el período implícito entre colisiones y el ajuste del TLS hasta que el período fuese aceptable. Sin embargo, el principal método adoptado (que es también el tradicional) consistió en utilizar datos históricos procedentes de fuentes mundiales, proyectándolos hasta alrededor del año 2000 con miras a aumentar la seguridad y asignar los correspondientes cálculos de riesgo a fin de obtener el elemento de riesgo de colisión vertical.

Los valores obtenidos correspondientes al TLS, se situaban entre  $1 \times 10^{-8}$  y  $1 \times 10^{-9}$  accidentes mortales por hora de vuelo. Basándose en estas cifras, se convino en que se utilizaría para evaluación un TLS de  $2,5 \times 10^{-9}$  accidentes mortales por hora de vuelo, para determinar la viabilidad técnica de una VSM de 300m (1000 pies) por encima del FL 290 y elaborar requisitos relativos a la capacidad de mantenimiento de altitud de las aeronaves para operaciones con una VSM de 300m (1000 pies).

Utilizando el TLS de evaluación de  $2,5 \times 10^{-9}$  accidentes mortales por hora de vuelo, la reunión RGCSP/6 llegó a la conclusión de que una VSM de 300m (1000 pies) por encima del FL 290, era técnicamente posible. Esta viabilidad técnica se refiere a la capacidad fundamental de los sistemas de mantenimiento de altitud de las aeronaves, que pueden construirse, mantenerse y operarse de tal modo que la performance prevista, o característica, permita una aplicación segura y el uso de una VSM de 300m (1000 pies) por encima del FL 290.

Al llegar a esta conclusión sobre viabilidad técnica, el grupo de expertos consideró que era necesario establecer Requisitos de performance de aeronavegabilidad incluidos en una especificación de performance mínima de los sistemas de aeronave (MASPS), completa para todas las aeronaves que efectúen vuelos con separación reducida, como también nuevos procedimientos operacionales y un método completo de verificación del funcionamiento seguro del sistema.

El nivel deseado de seguridad (TLS) de evaluación no abarcaba todas las causas de riesgo de colisión en el plano vertical. En la primera edición del Documento 9574 de la OACI – *Manual de implantación de una separación vertical mínima de 300m (1000 ft) entre FL 290 y FL 410 inclusive*, se informó a las autoridades regionales de planificación, acerca de la necesidad de instituir medidas a fin de asegurar que no aumenten los riesgos asociados con errores en las instrucciones ATC y con los procedimientos de emergencia en un entorno VSM de 300m (1000 pies).

En el Atlántico septentrional (NAT), que el 27 de marzo de 1997 pasó a ser la primera región de la OACI en aplicar la Separación vertical mínima reducida (RVSM), se convino en que se necesitaba un método más formal para evaluar todas las causas de riesgo en el plano vertical, basándose en la experiencia adquirida en el monitoreo y análisis de las causas de errores operacionales en el espacio aéreo NAT de especificación de performance mínima de navegación (MNPS), el Grupo sobre planeamiento de sistemas del Atlántico septentrional (NAT SPG) convino en que debería prestarse una atención al menos igual a la que se aplica para limitar los efectos de los errores técnicos (errores de los sistemas de mantenimiento de altitud de la aeronave), a la limitación del riesgo de

colisión debido a la pérdida de la separación vertical prevista como consecuencia de dichos acontecimientos.

Además del TLS para errores técnicos, o sea,  $2,5 \times 10^{-9}$  accidentes mortales por hora de vuelo, se adoptó un TLS de  $5 \times 10^{-9}$  accidentes mortales por hora de vuelo como resultado de la pérdida de separación vertical debido a cualquier causa.

**2.1.3 Objetivos en materia de seguridad operacional:** Los objetivos en materia de seguridad operacional RVSM se han establecido en relación con el riesgo técnico y el riesgo global y son los que se indican a continuación:

→ *Objetivo en materia de seguridad operacional respecto al riesgo técnico.*

Relacionado con la performance de mantenimiento de altitud de una aeronave. No se incluye el riesgo relacionado con errores operacionales (p.ej. errores de controlador o errores de piloto) y contingencias en vuelo, el objetivo en materia de seguridad operacional RVSM respecto al riesgo técnico es de un TLS de  $2,5 \times 10^{-9}$  accidentes mortales por hora de vuelo. Este valor se utiliza para establecer la especificación de performance del sistema global y la especificación de performance global de mantenimiento de altitud, que se prescriben en los siguientes ítems 2.1.4 y 2.1.6.

→ *Objetivo en materia de seguridad operacional respecto al riesgo global.*

El riesgo global es el riesgo de colisión debido a todas las causas posibles, lo que incluye el riesgo técnico (véase El ítem anterior) y todo riesgo debido a errores operacionales y contingencias en vuelo, tales como errores del piloto o del controlador, desviaciones de altitud debido a procedimientos de emergencia y turbulencia.

#### **2.1.4 Especificación de la performance del sistema global:**

- La especificación de performance del sistema global comprende los parámetros que forman la base para la definición de la serie integrada de requisitos relativos al mantenimiento de altitud, sistemas de aeronave, procedimientos de explotación, procedimientos ATC y métodos de supervisión, prescritos en la presente CA.
- La especificación de performance del sistema global define la performance de mantenimiento de altitud necesaria para alcanzar el objetivo de seguridad respecto al riesgo técnico RVSM como lo requerido en el párrafo anterior. Este nivel de performance depende de valores específicos de importantes parámetros del espacio aéreo que afectan al riesgo de colisión en caso de pérdida de separación vertical.
- El requisito en materia de performance de mantenimiento de altitud de la especificación relativa a la performance del sistema, se expresa como el valor máximo correspondiente a la probabilidad de que las aeronaves pierdan una separación vertical equivalente al valor de la RVSM, o sea Pz (1 000).
- Los parámetros importantes relativos al espacio aéreo se relacionan con la frecuencia de encuentro de aeronaves con una separación vertical equivalente a la RVSM y una separación horizontal real inferior al tamaño longitudinal de una aeronave. Estos importantes parámetros del espacio aéreo pueden expresarse de diversos modos, según la estructura de rutas del espacio aéreo.
- La especificación de performance del sistema global se estableció originalmente para el tráfico en sentidos opuestos. En este caso, los parámetros importantes relativos al espacio aéreo son, la frecuencia de encuentro de aeronaves con una separación vertical equivalente a la RVSM y sin separación horizontal nominal, y la desviación característica del error con el que las aeronaves mantienen la trayectoria o derrota asignada en la dimensión lateral. Las expresiones cuantitativas de la especificación de performance del sistema global abarcan:

Una frecuencia de 2,5 encuentros en sentidos opuestos por hora de vuelo, una desviación característica del error de mantenimiento lateral de la trayectoria de 550 m (0,3 NM) y una probabilidad de  $1,7 \times 10^{-8}$  de que dos (2) aeronaves pierdan una separación vertical equivalente al valor de la RVSM, o sea Pz (1 000).

- La especificación de performance del sistema global requerido, se basa en la división de la frecuencia de encuentro de aeronaves, con una separación longitudinal real inferior al tamaño horizontal de una aeronave, en un componente longitudinal y otro lateral. Una desviación característica de un error de mantenimiento lateral de la trayectoria de 550 m (0,3 NM), produce una probabilidad de superposición lateral de 0,058 para aeronaves en la misma derrota.
- El efecto combinado de los requisitos señalados en las especificaciones anteriores en el riesgo de colisión vertical equivale a  $2,5 \times 0,058 = 0,145$ . Por consiguiente, una declaración cuantitativa equivalente, pero más generalmente aplicable de la especificación de performance del sistema global es la siguiente:

Una frecuencia de encuentro en sentido opuesto con superposición lateral equivalente a 0,145 encuentros por hora de vuelo y una probabilidad de  $1,7 \times 10^{-8}$  de que dos (2) aeronaves pierdan la separación vertical equivalente al valor de la RVSM, o sea, Pz (1 000), que representa la probabilidad de superposición vertical para aeronaves con una separación planificada de 1000 pies entre niveles de vuelo.

### **2.1.5 Compensación entre parámetros de la especificación de performance del Sistema global:**

- Los parámetros de la especificación de performance del sistema global consisten en la performance de mantenimiento de altitud por una parte y los parámetros del espacio aéreo especificado por otra. Esto permite dos tipos de compensaciones entre dichos parámetros, según el valor de la probabilidad de superposición vertical, Pz (1000), o sea, si Pz (1000) equivale al valor de  $1,7 \times 10^{-8}$ , como se define en la especificación de performance del sistema global, o es muy inferior a dicho valor. No obstante, nunca puede permitirse que Pz (1000) sea superior al valor de  $1,7 \times 10^{-8}$ .
- El primer tipo de compensación que puede aplicarse, es entre los parámetros del espacio aéreo de frecuencia de encuentro y la desviación característica del error de mantenimiento lateral de la trayectoria, a condición de que la probabilidad de superposición vertical no sea superior a  $1,7 \times 10^{-8}$ .

- Los dos parámetros del espacio aéreo requerido en el párrafo anterior pueden compensarse mutuamente, a condición de que su efecto combinado en el riesgo de colisión vertical no sea superior, debido a una frecuencia de encuentro en sentidos opuestos de 2,5 por hora de vuelo y una desviación característica del error de mantenimiento lateral de la trayectoria de 550 m (0,3 NM).
- El límite de dicho efecto combinado, requerido en el párrafo anterior es de 0,145. Así, podría permitirse una frecuencia de encuentro superior con un mantenimiento lateral de la trayectoria menos preciso o una frecuencia inferior con un mantenimiento lateral de la trayectoria más preciso, a condición de que no se sobrepase el límite de 0,145. Esta compensación para tránsito en sentidos opuestos está implícita en la forma más general de la especificación de performance del sistema global según lo indicado en el ítem 2.1.4.
- El segundo tipo de compensación es entre la probabilidad de superposición vertical,  $P_z(1000)$  y los parámetros del espacio aéreo, a condición de que dicha probabilidad sea inferior al valor de  $1,7 \times 10^{-8}$ .
- El margen proporcionado por  $P_z(1000)$  puede utilizarse para aumentar el límite superior de 0,145 para el efecto combinado de frecuencia de encuentro y desviación característica del error de mantenimiento lateral de la trayectoria. Dentro de este límite superior más amplio, los dos parámetros del espacio aéreo pueden variar como se requiere en los párrafos anteriores.
- El segundo tipo de compensación debe aplicarse con gran precaución porque la performance de mantenimiento de altitud de la población de aeronaves puede cambiar con el tiempo, p.ej., sólo se exige en el caso de aeronaves que son nuevas en el espacio aéreo en cuestión que satisfagan el valor global de  $P_z(1000)$  de  $1,7 \times 10^{-8}$  y no un valor inferior.
- La aplicación del procedimiento de compensación es más complejo que una mera verificación respecto a un límite superior fijado. Esto permite, sin embargo, mayor flexibilidad respecto a los valores admisibles de los parámetros.

### **2.1.6 Especificación de performance global de mantenimiento de altitud:**

- A fin de lograr una transición segura entre las regiones, se ha elaborado una especificación de performance global de mantenimiento de altitud; que si se respeta esta última, se respetará el valor requerido de Pz (1000) de la especificación de performance del sistema global.
- La especificación de performance global de mantenimiento de altitud se aplica al conjunto de errores de mantenimiento de altitud de cada aeronave y satisface simultáneamente los siguientes cuatro requisitos:
  1. Una proporción de errores de mantenimiento de altitud superiores a 90 m (300 pies), por debajo de  $2,0 \times 10^{-3}$ .
  2. Una proporción de errores de mantenimiento de altitud superiores a 150 m (500 pies), por debajo de  $3,5 \times 10^{-6}$ .
  3. Una proporción de errores de mantenimiento de altitud superiores a 200 m (650 pies), por debajo de  $1,6 \times 10^{-7}$ .
  4. Una proporción de errores de mantenimiento de altitud entre 290 y 320 m, (950 y 1050 pies), por debajo de  $1,7 \times 10^{-8}$ .
- Estos requisitos han constituido la base para elaborar la especificación de performance mínima de los sistemas de aeronave (MASPS) RVSM. Donde la especificación de performance global de mantenimiento de altitud se aplica también en el proceso monitoreo de Pz (1 000) prescrito en el ítem 2.1.4.

**2.1.7 Proceso de aprobación RVSM:** En el proceso de aprobación, el explotador debe cumplir con la separación vertical mínima (VSM) establecida en el Doc 4444 de la OACI – *Gestión del tránsito aéreo, Procedimientos para los servicios de navegación aérea - (PANS-ATM)*, la cual será dentro de otro espacio aéreo nominalmente de 300 m (1 000 pies) por debajo del nivel de vuelo FL 290 y nominalmente de 600 m (2 000 pies) a ese nivel o por encima del mismo, salvo que dentro de un espacio aéreo designado y según las disposiciones de los acuerdos regionales de navegación aérea: nominalmente de 300 m (1000 pies) por debajo del FL 410 o de un nivel superior, si así se prescribe para uso en

determinadas condiciones, y nominalmente de 600 m (2 000 pies) a ese nivel o por encima del mismo.

Donde se aplique la separación vertical mínima reducida RVSM, el Estado de matrícula debe aprobar los grupos específicos de aeronaves que el explotador tenga la intención de utilizar.

El explotador debe remitir a la AAC del Estado de matrícula con la antelación suficiente, la solicitud de aprobación RVSM, junto con la documentación requerida y los formularios de solicitud RVSM-2 ó RVSM-3 y RVSR-4, según sea el caso, para permitir su análisis y evaluación antes del inicio de las operaciones RVSM.

➤ ***Reunión previa a la solicitud de aprobación.***

Se debe programar una reunión previa a la solicitud de aprobación entre el explotador y la autoridad. Esta reunión tiene la intención de informar al explotador acerca de lo que la AAC espera de él con respecto a la aprobación para operar en un ambiente RVSM. Los temas básicos de discusión de esta reunión deberán ser el contenido del formulario de aplicación RVSM para el explotador, la revisión y evaluación del mismo por parte de la AAC, la validación de los requerimientos de vuelo, y las condiciones para la revocación de la autorización RVSM, detallados en el párrafo e. 9. De la sección D de esta CA.

➔ ***Requisitos que deben ser demostrados.***

Se requerirá de una aprobación para cada grupo de aeronaves a ser utilizado en operaciones RVSM. Asimismo, se requerirá de una aprobación para cada explotador, y la autoridad responsable se asegurará de que cada aeronave cuente con la certificación de aeronavegabilidad requerida, que cada explotador cuente con programas de aeronavegabilidad continuada, (procedimientos de mantenimiento), de ser necesario, se incorpore en los manuales de operaciones, los procedimientos de operación específicos

para el espacio aéreo RVSM y que puedan mantenerse los altos niveles de performance de mantenimiento de altitud requeridos.

La documentación para la aprobación RVSM abarcará los siguientes elementos:

→ *Certificación de aeronavegabilidad.*

1. Se certificará la aeronave, considerándose que satisface los requisitos de la reglamentación apropiada de aeronavegabilidad del Estado, basándose en los requisitos relativos a la capacidad de mantenimiento de altitud, según lo definido por la especificación de performance mínima de los sistemas de la aeronave para operaciones RVSM.
2. La certificación de aeronavegabilidad debe incluir especificaciones y procedimientos relativos a la certificación de tipo y el mantenimiento de la aeronavegabilidad.
3. El equipo altimétrico y de mantenimiento de altitud de la aeronave, debe mantenerse de conformidad con procedimientos y calendarios de servicio aprobados.
4. La documentación que acredite que cada avión satisface los requisitos de aeronavegabilidad RVSM, de acuerdo con lo establecido en esta CA, incluyendo una copia del manual de vuelo y los boletines de servicios a incorporar, los ya incorporados o los documentos equivalentes.
5. El catálogo ilustrado de partes (IPC) que contenga la información sobre aeronaves afectadas en operaciones RVSM y una descripción del equipamiento instalado y adecuado para operar en un entorno RVSM.
6. *Lista de equipo mínimo (MEL) del explotador:* Los explotadores deben presentar a la AAC del Estado de matrícula, una MEL, basada en la lista maestra de equipo mínimo (MMEL) y la normativa existente, incluyendo las referencias correspondientes a las operaciones en espacio aéreo RVSM.
7. *Mantenimiento:* El explotador debe someter a aprobación una revisión de su programa de mantenimiento de las aeronaves afectadas, según lo requerido en el párrafo c.5 de la sección E de esta CA.

8. *Manual de control de mantenimiento del explotador*: La AAC debe revisar que el manual de control de mantenimiento del explotador contenga la información y orientaciones requerida sobre los procedimientos, prácticas y mantenimiento de la aeronavegabilidad, para las aeronaves que operan en el espacio aéreo designado RVSM.

➤ ***Certificación operacional.***

Además de la certificación de aeronavegabilidad RVSM para efectuar operaciones en el espacio aéreo asignado, el explotador debe presentar la documentación correspondiente para obtener una certificación operacional. En el numeral 2.1.7 se proporciona una orientación sobre los procedimientos operacionales que un explotador debe adoptar para el espacio aéreo en que se aplique la RVSM, incluyendo el material que debe presentarse a la AAC responsable del Estado del explotador.

→ *Programas de instrucción y procedimientos operacionales.*

Los explotadores deben presentar a la AAC un programa de instrucción (inicial y periódica) para tripulaciones de vuelo, despachadores y personal de mantenimiento según lo requerido con el material de instrucción asociado.

El programa de instrucción debe tener incorporado los conceptos, procedimientos e instrucción exigidos para las operaciones en espacio aéreo designado RVSM, que incluya:

- Planificación de vuelo.
- procedimientos de prevuelo.
- verificación de condiciones antes de entrar en espacio aéreo RVSM.
- procedimientos en espacio RVSM.
- procedimientos de contingencia.
- instrucción ACAS/TCAS en espacio RVSM.

- procedimientos de desplazamiento lateral de la estela turbulenta.
- instrucción acerca de las condiciones o procedimientos que sean específicos del espacio RVSM que se pretenda volar.
- fraseología RVSM.

→ *Manuales de operación y listas de comprobación.*

La AAC del Estado del explotador debe revisar los manuales y listas de verificación, comprobando que contienen información y orientaciones sobre los procedimientos operacionales normalizados estos manuales deben incluir una tabla con la indicación de las velocidades, altitudes y peso considerados en la operación RVSM, incluyendo la identificación de cualquier limitación o condición operativa establecida a las aeronaves en el espacio designado RVSM.

→ *Plan de participación en programas de monitoreo.*

El explotador debe proporcionar a la autoridad responsable un plan aceptable de participación en un programa aplicable de monitoreo. El plan debe incluir, como mínimo, la supervisión de un porcentaje de la flota por un sistema independiente de monitoreo de la altitud.

→ *Historial de performance.*

Debe incluirse un historial de operación que especifique cualquier evento o incidente relacionado a un bajo rendimiento del mantenimiento de altitud, el cual puede indicar que son necesarios cambios en la instrucción, prácticas de operación, procedimientos o mantenimiento.

→ *Evaluación de la solicitud por la AAC.*

La AAC del Estado del explotador iniciará la etapa de evaluación; cuando la solicitud haya sido presentada, y si el contenido de la solicitud y documentación presentada no están

completos, la AAC puede requerir una información adicional al explotador, cuando se hayan completado los requerimientos de operaciones y de aeronavegabilidad, la AAC del Estado del explotador puede continuar con el proceso de aprobación.

→ *Vuelos de demostración.*

La solicitud de aprobación RVSM y la documentación asociada constituyen los elementos principales para verificar la performance y procedimientos de la aeronave. En el proceso de aprobación, la AAC del Estado del explotador puede requerir la realización de un vuelo de demostración si se sospecha que no se aplican con efectividad todos los procedimientos pertinentes. Si la performance es satisfactoria, se permitirá la operación en el espacio aéreo RVSM.

Por otro lado el contenido de la solicitud RVSM debe ser suficiente para verificar la performance y procedimientos de la aeronave. De cualquier manera, la fase final del proceso de aprobación puede requerir un vuelo de demostración. La AAC debe designar a un inspector para verificar, durante un vuelo en espacio aéreo RVSM, que todos los procedimientos importantes están siendo aplicados correctamente. Si la performance es satisfactoria, las operaciones en espacio aéreo RVSM deben ser permitidas.

→ *Emisión y validez de la aprobación RVSM.*

La aprobación RVSM otorgada para una región, siempre será válida para operaciones RVSM en otra, a condición de que no se exija una certificación operacional específica, la AAC del Estado del explotador emitirá a los explotadores de servicios aéreos poseedores de un AOC, la aprobación para operar en espacio aéreo designado RVSM de acuerdo con lo establecido en el presente documento y para la aprobación para operar en espacio RVSM debe ser efectiva con la inclusión de la aprobación en el AOC incorporando las operaciones y limitaciones para operar en el espacio aéreo designado RVSM.

Cada aeronave o cada grupo del mismo tipo de aeronaves para las cuales se requiere una certificación, debe estar listado en las Especificaciones para las operaciones del AOC.

En cuanto para los explotadores de aeronaves no dedicados al transporte aéreo comercial, la AAC del Estado del explotador emitirá una Carta de aprobación RVSM (LOA) para las aeronaves y los espacios aéreos RVSM afectados, utilizando el Formulario RVSM-4. La LOA tendrá un período de validez de dos (2) años desde la fecha de emisión, fecha a partir de la cual debe ser renovado.

→ *Registros y confirmación de la aprobación.*

La implantación de la RVSM depende del establecimiento de un mecanismo de confirmación de la aprobación, que impida a las aeronaves y a los explotadores no autorizados a efectuar operaciones en el espacio aéreo RVSM, a menos que se aplique una separación adecuada y el mecanismo de confirmación de la aprobación varía de una región a otra, pero la responsabilidad primaria en la aprobación de una aeronave o de un explotador para operar en el espacio RVSM, es del Estado del explotador.

El establecimiento del mecanismo de confirmación de la aprobación requiere de la aplicación de las siguientes medidas:

1. El mantenimiento de los registros adecuados de las aprobaciones otorgadas para operaciones en espacio aéreo RVSM.
2. La presentación de los registros de aprobación a la Agencia de Monitoreo de la Región CAR/SAM (CARSAMMA), incluyendo el Formulario CARSAMMA F2, señalado en la sección I de esta CA, para que lo introduzca en su base de datos regional sobre aprobaciones RVSM.
3. La introducción de una verificación de la situación de aprobación de aeronaves y explotadores en el programa de inspecciones periódicas en vuelo y el establecimiento de una base de datos nacional (SDB).

Los Estados proveedores de ATS tendrán la responsabilidad secundaria en el establecimiento de verificaciones periódicas, de la situación de aprobación de las aeronaves que efectúan operaciones dentro de su área de autoridad y manifiesten la intención de efectuar operaciones en espacio aéreo RVSM. La responsabilidad debe satisfacer los siguientes requisitos:

1. El examen a fondo de los planes de vuelo ATS.
2. La verificación de la base de datos nacional sobre aprobaciones RVSM, para lo cual se debe tener en cuenta su contenido.
3. El informe a los explotadores que se sospecha que no cumplan con los requisitos del espacio aéreo.

La AAC del Estado del explotador en aplicación de los reglamentos vigentes, puede revocar la aprobación para operaciones RVSM cuando no se satisfagan los requisitos del espacio aéreo, debiendo enviar a la Agencia de Monitoreo de la Región CAR/SAM (CARSAMMA) el Formulario CARSAMMA F3. Además de los Estados proveedores de ATS, el Organismo Regional de Monitoreo (RMA) de una región en que se aplique la RVSM puede efectuar otro nivel de confirmación de la aprobación, tomando medidas, a raíz de una solicitud de una autoridad de control, para obtener confirmación de la situación de aprobación del Estado del explotador o del Estado de matrícula de aeronaves que no figuren en la base de datos regional sobre aprobaciones RVSM.

El Estado del explotador formulará sus criterios y directrices respecto a las aeronaves, y a los explotadores que efectúen operaciones en espacio aéreo RVSM sin la aprobación correspondiente, lo que podría comprometer la seguridad de otros usuarios del espacio aéreo.

#### **2.1.8 Requisitos de aeronave y *Performance de mantenimiento de altitud RVSM:***

Las características de los sistemas altimétricos y de mantenimiento de altitud para satisfacer la especificación de performance global de mantenimiento de altitud y las características describen el nivel de performance que la aeronave en servicio debe lograr

para poder satisfacer los requisitos del error vertical total (TVE) del sistema de espacio aéreo, sin tener en cuenta los factores humanos ni las influencias ambientales extremas.

Las características de los sistemas altimétricos y de mantenimiento de altitud, fueron transformadas por órganos técnicos en normas de aeronavegabilidad mediante la evaluación de las características del error del sistema altimétrico (ASE) y el control automático de altitud. Como también las normas de aeronavegabilidad comprenden los requisitos de mantenimiento de altitud de las aeronaves para operaciones RVSM y forman parte de la especificación de performance mínima de los sistemas de la aeronave RVSM. Esta última comprende especificaciones y procedimientos para los diversos aspectos de certificación de tipo de las aeronaves, salida de la producción y el mantenimiento de la aeronavegabilidad.

#### ➤ **Performance RVSM**

Los objetivos establecidos por el RGCSP han sido adecuados a las normas de aeronavegabilidad normalizadas por la valoración de las características del error del sistema altimétrico (ASE) y el control automático de la altitud.

A los efectos de obtención de la aprobación RVSM; la envolvente de vuelo de la aeronave puede ser dividida en dos partes, la envolvente básica de planificación de vuelo RVSM y la envolvente de vuelo completa RVSM, (se refiere a la envolvente básica y a la envolvente completa respectivamente).

Para la envolvente completa, se permite un valor mayor del error del sistema altimétrico (ASE), para evaluar un sistema, comparándolo con la performance del error del sistema altimétrico establecida en el RGCSP como declaraciones del rendimiento, es necesario cuantificar el promedio y los valores de desviación estándar para el ASE, expresados como el ASE promedio y considerando tres desviaciones típicas del mismo. Para considerar esto, es necesario tener en cuenta las variaciones que se pueden presentar. Los factores que afectan el ASE son:

1. Unidad de variación de la unidad del equipamiento de aviónica.
2. Efecto de condiciones ambientales del equipamiento de aviónica.
3. Estructura en la variación del error de la fuente de presión estática.
4. Efectos de las condiciones de vuelo en el error de la fuente de presión estática.

La valoración del error del sistema altimétrico (ASE), cuando esta basada en datos promedio o pronosticados puede eliminarse evaluando el ASE a las mas adversas condiciones en la envolvente de vuelo RVSM.

→ *Criterios a cumplir por la envolvente básica.*

En el punto de la envolvente donde el ASE alcanza su valor absoluto máximo, ese valor no debe exceder a los 25 m (80 pies), en el punto de la envolvente donde el ASE absoluto medio más tres desviaciones típicas del ASE alcanzan su valor absoluto máximo, el valor absoluto no debe exceder a los 60 m (200 pies).

→ *Criterios a cumplir por la envolvente completa.*

1. En el punto de la envolvente completa donde el ASE medio alcanza su valor absoluto máximo, ese valor no debe exceder los 120 pies (37m).
2. En el punto de la envolvente completa donde el ASE medio más las tres (3) desviaciones típicas del ASE alcanza su valor absoluto máximo, ese valor no debe sobrepasar los 245 pies (75m).
3. Si fuera necesario, a los efectos de lograr la aprobación RVSM para aeronaves de grupo, puede establecerse una limitación operacional para restringir operaciones RVSM en zonas de la envolvente completa donde el valor absoluto del ASE medio sobrepasa los 120 pies (37m) y/o, el valor absoluto del ASE medio mas tres (3) desviaciones típicas del ASE sobrepasa los 245 pies (75m).
4. Cuando se establezca la limitación requerida, debe indicarse en los datos entregados para justificar la solicitud de aprobación, documentándose en los correspondientes manuales de vuelo. En este caso, no es necesario instalar en la aeronave un dispositivo de aviso / indicación visual u oral de la restricción.

Aquellos tipos de aeronave cuya solicitud para certificado de tipo se haya realizado antes del 1 de enero de 1997, deben cumplir con el criterio establecido en la envolvente de vuelo RVSM completa. La norma para una aeronave remitida para aprobación como aeronave individual, es la siguiente:

1. Para todas las condiciones en la envolvente básica.- El error de la fuente de presión estática residual + el caso de aviónica mas critico debe ser de .50 m (160 pies).
2. Para todas las condiciones en la envolvente completa.- El error de la fuente de presión estática residual + el caso mas critico de aviónica debe ser .60 m (200 pies).

Nota.- Los casos más críticos de aviónica, significa que una combinación de valores de tolerancia, especificados por el fabricante de la aeronave para introducir la altimetría en la aeronave, que da el valor absoluto combinado más alto por el error de la fuente de presión estática (SSE) residual mas los errores de aviónica.

➤ **Mantenimiento de la altitud**

Se requiere de un sistema automático de control de altitud, capaz que controlar la altitud dentro de los 20 m ( $\pm 65$  pies) sobre la altitud seleccionada, cuando la aeronave se opera en vuelo recto y nivelado bajo las condiciones sin ráfagas ni turbulencia.

Nota.- Los sistemas automáticos de control de actitud con un sistema de dirección de vuelo / sistema de dirección de actuación permiten las variaciones hasta  $\pm 40$  m ( $\pm 130$  pies) bajo condiciones sin turbulencia, sin ráfaga, instaladas en los tipos de aeronaves para los cuales una aplicación para el certificado de tipo fue hecha antes del 1 de enero de 1997, no necesitan ser reemplazados o modificados.

➤ **Requisitos de los sistemas de la aeronave**

El equipamiento mínimo para realizar operaciones en espacio aéreo designado RVSM se compone de:

- Dos (2) sistemas independientes de medición de altitud. Cada sistema debe estar constituido por los siguientes elementos:
  1. Fuente/sistema estático de acoplamiento cruzado, con protección contra el hielo si está situado en zonas expuestas a la formación de hielo.
  2. Un (1) equipo de medición de la presión estática detectada por la fuente de presión estática, conversión en altitud barométrica y presentación de la misma en la cabina de pilotaje.
  3. Un (1) equipo que proporcione una señal codificada digitalmente, correspondiente a la altitud barométrica presentada, para la generación automática de informes de altitud.
  4. Corrección del error de la fuente de presión estática (SSEC), si se requiere para cumplir con los criterios indicados en los párrafos anteriores, según proceda.
  5. Señales referenciadas a la altitud seleccionada por el piloto para control y avisos automáticos. Estas señales deben obtenerse de un sistema de medición de altitud que cumpla con los criterios expuestos en este procedimiento y, en todos los casos, que permita que se cumpla con los criterios de salida de control de altitud y alertas de altitud.
  
- Un (1) transpondedor de radar secundario dotado de un sistema de reporte de altitud que pueda conectarse al sistema de medición de la altitud a efectos de mantenimiento de la misma, un (1) sistema de alerta de altitud y un (1) sistema automático de control de altitud.

### **3. METODOLOGÍA**

La metodología que se usará para el desarrollo del proyecto sigue los pasos del método científico. El primer paso, la observación y detección del problema, ya planteado y la propuesta de solución.

Analizar y evaluar las características de 4 aeronaves Boeing 727-200 que por su diseño de fabricación original no son aprobadas para operar en niveles RVSM y diseñar la ingeniería y los procedimientos de aeronavegabilidad continuada, para que dichas aeronaves tengan la capacidad de operar en los niveles indicados.

Inicialmente se reunirán las características actuales de cada una de las aeronaves teniendo en cuenta que dichos factores sean relevantes para el proyecto; esta información será analizada y comparada con los parámetros exigidos por los estándares internacionales obteniendo así los requisitos que se deben cumplir en cada uno de los casos.

Se estudiarán las diferentes alternativas de solución para cumplir con los estándares exigidos, presentando a través de un documento la propuesta de implementación de la solución más eficiente obtenida a través del proceso antes mencionado.

Se cuenta con toda la documentación técnica en libros e Internet, la cual contiene toda la información necesaria para la realización del proyecto. También se dispone del conocimiento y experiencia de los ingenieros tanto en la Compañía como en la Universidad los cuales pueden ser recursos de gran importancia a la hora de resolver problemas e inquietudes.

### **3.1 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN**

El enfoque de esta investigación es empírico – analítico ya que por medio de este trabajo se pretende mejorar el gado de optimización de procesos en la navegación aérea colombiana, permitiendo hacer uso de la tecnología para lograr este fin.

### **3.2 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN DE USB / SUB-LÍNEA DE FACULTAD / CAMPO TEMÁTICO DEL PROGRAMA**

La línea de investigación en la cual clasifica este trabajo es Tecnologías actuales y sociedad, como sub-línea de facultad es instrumentación y control de procesos y como campo de investigación del trabajo es específicamente Aviónica.

### **3.3 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN**

Para recolectar la información, se realizaran listas de chequeo de cada una de las 4 aeronaves de la Empresa Líneas Aéreas Suramericanas S.A. con el fin de obtener las características necesarias de los equipos que se pueden utilizar y así determinar los posibles equipos que podrían llegar a necesitarse para cumplir con los requisitos RVSM.

### **3.4 HIPÓTESIS**

La implantación de la separación vertical mínima reducida (RVSM) de 1000 pies desde el FL 290 hasta el FL 410, permitirá mejorar las condiciones de navegación y optimizará los recursos de la Empresa Líneas Aéreas Suramericanas S.A.

### **3.5 VARIABLES**

**3.5.1 Variables Independientes:** La variable independiente para que una aeronave pueda volar en espacio RVSM es el control de altitud al volar entre los 29000 y los 41000 ft's.

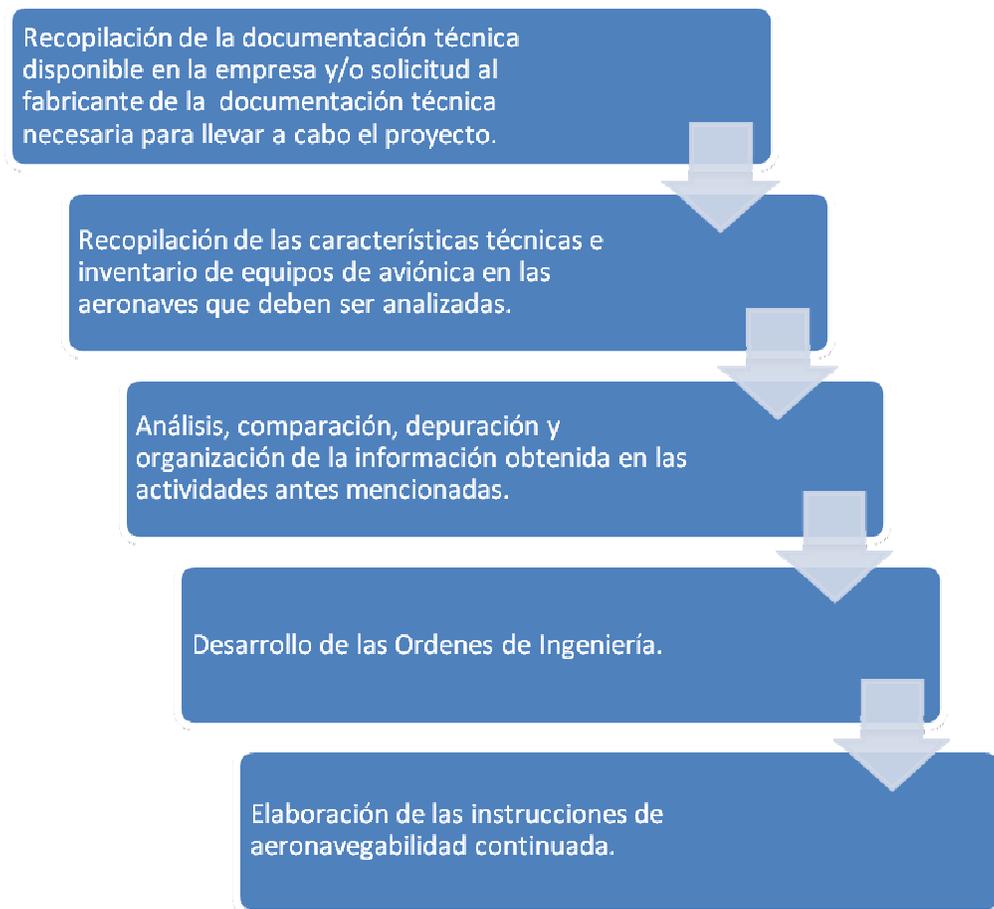
**3.5.2 Variables Dependientes:** Las variables dependientes son los mínimos indispensables para que una aeronave pueda volar en espacios aéreos RVSM, como lo son, el transponder, los sistemas independientes de medición de altitud, un sistema de control y de alerta de altitud y un TCAS de última generación.

## 4. DESARROLLO INGENIERIL

### 4.1 DIAGRAMA DE BLOQUES

En la figura se puede observar el esquema del proyecto por medio de un diagrama de bloques que ilustra el orden y la configuración de las diferentes etapas que lo conforman.

Figura 1. Etapas de Desarrollo del Proyecto.



## **4.2 RECOPIACION DE LA DOCUMENTACION TÉCNICA.**

De toda la información obtenida y analizada en esta primera etapa del proceso, es preciso citar los documentos técnicos sugeridos por Boeing para realizar este tipo de implementaciones a cada una de los equipos Boeing 727 -200 de la Empresa Líneas Aéreas Suramericanas S.A. los cuales son un boletín de servicio y una carta de servicio emitidas por el estado de fabricación, los cuales se encuentran en el anexo 3 del presente documento.

## **4.3 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS E INVENTARIO DE LOS EQUIPOS DE CADA UNA DE LAS AERONAVES**

En esta etapa la información obtenida es crucial para el desarrollo inicial del proyecto, ya que se evalúa cada uno de los equipos de aviónica de los cuatro (4) Boeing 727-200 con matriculas HK4261, HK4262, HK4354 y HK4401 y teniendo en cuenta la similitud de diseño entre las aeronaves sobre las cuales se elaborara el estudio se observa que existen variaciones y diferencias en los tipos y fabricantes de los sistemas de aviónica a bordo de estas aeronaves.

Por tal motivo se realiza una lista de chequeo para así determinar a qué equipos es necesario realizarles modificaciones en software o en hardware y cuáles deben ser reemplazados.

#### 4.3.1 Equipos de aviónica a bordo de la Aeronave con matricula HK4261.

Tabla 1. Equipamiento de la Aeronave con Matricula HK4261.

COMPONENT	MANUFACTURER/MODEL	PART NUMBER
# 1 Air Data Computer	Honeywell	HG18OU – 80 – 255
# 2 Air Data Computer	N/A	N/A
# 1 Altimeter (ALT1)	Smith Industries	WL/708AN/FA/2
# 2 Altimeter (ALT1)	Smith Industries	WL/708AN/FA/2
# 1 Mach / Airspeed Indicator	Astek	B0247-81107
# 2 Mach / Airspeed Indicator	Astek	B0247-81107
Altitude Alerter	Honeywell	JG1052AA03
Ground Proximity Warn. Comp.	Allied Signal MK VII	965 – 0876 – 030 – B03 – B04
LHS Pitot Static Probe	Rosemount	0851CM – 2
RHS Pitot Static Probe	Rosemount	0851CM – 2
# 1 Transponder [XPDR1]	Collins	622 – 2224 – 001
# 2 Transponder [XPDR1]	Collins	622 – 7878 – 201
TAT Probes (1)	Rosemount 02AH2AG	N/A
# 1 Flight Director Indicator	Collins	522 – 3752 – 001
# 2 Flight Director Indicator	Collins	522 – 3752 – 001
# 1 Flight Director Panel	Collins G-2915	777 – 1253 – 001
# 2 Flight Director Panel	Collins G-2915	777 – 1253 – 001
Pitch Channel	Sperry SP – 50	2585804 – 4
Roll Channel	Sperry	4030951 – 901
Autopilot Accessory	Boeing M313	65 – 24917 – 72
Upper Yaw Damper	Sperry	4030952 – 901
Lower Yaw Damper	Sperry	4030952 – 901
Autopilot Panel / Controller	Sperry	2585802 – 7RG
TCAS II	Honeywell	
GPS		

#### 4.3.2 Equipos de aviónica a bordo de la Aeronave con matricula HK4262.

Tabla 2. Equipamiento de la Aeronave con Matricula HK4262.

COMPONENT	MANUFACTURER/MODEL	PART NUMBER
# 1 Air Data Computer	Honeywell	HG480B13
# 2 Air Data Computer	Honeywell	HG180U – 321
# 1 Altimeter (ALT1)	ADS Inc Civil System	2055 – 01 – 1
# 2 Altimeter (ALT1)	ADS Inc Civil System	2055 – 01 – 1
# 1 Mach / Airspeed Indicator	AD Inc Melver Division	2083 – 12 – 1
# 2 Mach / Airspeed Indicator	Smith Industries	WLI07AMA31
Altitude Alerter	Sperry	2593564 – 919
Ground Proximity Warn. Comp.	Sunstrand MK VII	965 – 0476 – 088
LHS Pitot Static Probe	Rosemount	0851CM
RHS Pitot Static Probe	Rosemount	0851CM
# 1 Transponder [XPDR1]	Bendix	066 – 01127 – 1301
# 2 Transponder [XPDR1]	Bendix	622 – 2224 – 001
TAT Probes (1)	Rosemount 02AH2AG	N/A
TAT Probes (2)	N/A	N/A
# 1 Flight Director Indicator	Collins	772506 – 006
# 2 Flight Director Indicator	Collins	772506 – 006
Flight Director Panel	Collins 12	622 – 3342 – 005
Pitch Channel	Sperry	4030950 – 904
Roll Channel	Sperry	4030951 – 901
Autopilot Accessory	Boeing	65 – 24917 – 316
Upper Yaw Damper	Sperry	2588880 – 901
Lower Yaw Damper	Sperry	2588880 – 901
Autopilot Panel / Controller	Sperry SPI 50	4030949 – 906
TCAS COMP II V 7	Honeywell	

### 4.3.3 Equipos de aviónica a bordo de la Aeronave con matricula HK4354.

Tabla 3. Equipamiento de la Aeronave con Matricula HK4354.

COMPONENT	MANUFACTURER/MODEL	PART NUMBER
# 1 Air Data Computer	Honeywell	HG480B13
# 2 Air Data Computer	Honeywell	HG480B13
# 1 Altimeter (ALT1)	Harowe System	10 – 61826 – 5
# 2 Altimeter (ALT1)	Harowe System	10 – 61826 – 5
# 1 Mach / Airspeed Indicator	Harowe System	10 – 61818 – 151
# 2 Mach / Airspeed Indicator	ADS Inc	10 – 61818 – 151
Altitude Alerter	Honeywell	25935564 – 918
Ground Proximity Warn. Comp.	Allied Signal M VII	965 – 0876 – 030 – B05 – B08
LHS Pitot Static Probe	Rosemount	0851CM – 2
RHS Pitot Static Probe	Rosemount	0851CM – 2
# 1 Transponder [XPDR1]	Bendix	066 – 01127 – 1101
# 2 Transponder [XPDR1]	Collins	622 – 2224 – 001
TAT Probes (1)	Rosemount	02JE2FG
# 1 Flight Director Indicator	Sperry AD350	2591092 – 904
# 2 Flight Director Indicator	Sperry AD350	2591092 – 904
Flight Director Panel	Sperry	2591162 – 904
Pitch Channel	Sperry SP – 150	4030950 – 904
Roll Channel	Sperry SP – 150	4030951 – 901
Autopilot Accessory	Boeing	65 – 24917 – 316
Upper Yaw Damper	Sperry	4030952 – 901
Lower Yaw Damper	Sperry	4030952 – 901
Autopilot Panel / Controller	Sperry SP – 150	4030949 – 906
TCAS II	Honeywell	
GPS		

#### 4.3.4 Equipos de aviónica a bordo de la Aeronave con matricula HK4401.

Tabla 4. Equipamiento de la Aeronave con Matricula HK4401.

COMPONENT	MANUFACTURER/MODEL	PART NUMBER
# 1 Air Data Computer	Honeywell	HG480B13
# 2 Air Data Computer	Honeywell	HG480B13
# 1 Altimeter (ALT1)	Harowe System	10 – 61826 – 5
# 2 Altimeter (ALT1)	Harowe System	10 – 61826 – 5
# 1 Mach / Airspeed Indicator	Harowe System	10 – 61818 – 151
# 2 Mach / Airspeed Indicator	ADS Inc	10 – 61818 – 151
Altitude Alerter	Honeywell	25935564 – 918
Ground Proximity Warn. Comp.	Allied Signal M VII	965 – 0876 – 030 – B05 – B08
LHS Pitot Static Probe	Rosemount	0851CM – 2
RHS Pitot Static Probe	Rosemount	0851CM – 2
# 1 Transponder [XPDR1]	Bendix	066 – 01127 – 1101
# 2 Transponder [XPDR1]	Collins	622 – 2224 – 001
TAT Probes (1)	Rosemount	02JE2FG
# 1 Flight Director Indicator	Sperry AD350	2591092 – 904
# 2 Flight Director Indicator	Sperry AD350	2591092 – 904
Flight Director Panel	Sperry	2591162 – 904
Pitch Channel	Sperry SP – 150	4030950 – 904
Roll Channel	Sperry SP – 150	4030951 – 901
Autopilot Accessory	Boeing	65 – 24917 – 316
Upper Yaw Damper	Sperry	4030952 – 901
Lower Yaw Damper	Sperry	4030952 – 901
Autopilot Panel / Controller	Sperry SP – 150	4030949 – 906
TCAS II	Honeywell	
GPS		

#### **4.4 ANALISIS ACTIVIDADES 1 y 2.**

En esta etapa del proceso se pueden identificar las inspecciones y modificaciones que necesita de cada una de las aeronaves de la Empresa Líneas Aéreas Suramericanas S.A. para así proceder a desarrollar las órdenes de ingeniería donde se indique los procedimientos o modificaciones necesarios en cada uno de los aviones.

#### **4.5 ORDENES DE INGENIERIA PARA CADA UNA DE LAS AERONAVES.**

Siguiendo con el procedimiento establecido para este proyecto y acogiéndose a las políticas de la Empresa Líneas aéreas Suramericanas S.A. se procede a realizar las ordenes de ingeniería correspondientes para cada una de las aeronaves Boeing 727 con matriculas HK4261, HK4262, HK4354 y HK4401, con las formas establecidas por esta Empresa para su respectiva inspección y Modificación las cuales se presentan a continuación.

- ✦ **Orden de Ingeniería 27-34-007, para La Inspección de las aeronaves Boeing 727-200 con matriculas HK4261, HK4262, HK4354 y HK4401.**
- ✦ **Orden de Ingeniería 27-34-008, para La Modificación de la aeronave Boeing 727-200 con matrícula HK4262.**
- ✦ **Orden de Ingeniería 27-34-009, para La Modificación de las aeronaves Boeing 727-200 con matriculas HK4354 y HK4401.**
- ✦ **Orden de Ingeniería 27-34-010, para La Modificación de la aeronave Boeing 727-200 con matrícula HK4261.**
- ✦ **Orden de Ingeniería 27-34-011, para La Modificación de la aeronave Boeing 727-200 con matrícula HK4261.**

Estos documentos se encuentran en los anexos E, F, G, H y I del presente documento.

## 5. PRESENTACIÓN Y ANALISIS DE RESULTADOS

En la siguiente tabla se detallan las modificaciones necesarias para cada uno de los aviones. Dichos resultados fueron obtenidos a partir de la comparación entre los sistemas instalados y los sistemas requeridos.

Tabla 5. Modificaciones en las Aeronaves.

<b>Aeronave</b>	<b>Equipos</b>
<b>HK – 4261</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>✦ <b>2 Digital Air Data Computers</b></li><li>✦ <b>2 Electric Altimeters</b></li><li>✦ <b>1 Altitud Alerter</b></li></ul>
<b>HK – 4262</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>✦ <b>1 Digital Air Data Computer</b></li><li>✦ <b>Upgrade 1 Digital Air Data Computer</b></li></ul>
<b>HK – 4354</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>➔ <b>Upgrades 2 Digital Air Data Computers</b></li></ul>
<b>HK – 4401</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>➔ <b>Upgrades 2 Digital Air Data Computers</b></li></ul>

## 6. CONCLUSIONES

- ✈ Realizado el análisis de cada una de las características en materia de equipos a bordo de las aeronaves y siguiendo los lineamientos establecidos por BOEING para el desarrollo de este proyecto, se logró establecer que la factibilidad de que las Aeronaves de la Empresa Líneas Aéreas Suramericanas S.A. para volar en espacios RVSM es positiva ya que la tecnología que se encuentra a bordo es compatible para este fin, para algunos casos las modificaciones necesarias están contempladas en la Service Bulletin y en la Service Letter, de esta forma y siguiendo las instrucciones de modificación planteadas en la Ordenes de Ingeniería las Aeronaves quedan operativas para volar en espacios RVSM.
  
- ✈ Para la Aeronave con matrícula HK4261 después de revisar el inventario de aviónica y de compararlo con los P/Ns indicados en la service letter se concluye que para que sea RVSM hay que cambiar las 2 air data computers, los altímetros de capitán y copiloto y el altitud alert, para eso se elaboran las siguientes EOs 27-34-010 Elaboración del arnés e interconexión y 27-34-011 instalación de los equipos.
  
- ✈ Para la Aeronave con matrícula HK4262 después de revisar el inventario de aviónica y de compararlo con los P/Ns indicados en la service letter se concluye que para que sea RVSM hay que cambiar un air data computer, y realizar un upgrade a la otra air data computer, para eso se elabora la siguiente EO 27-34-008.
  
- ✈ Para las Aeronaves con matrículas HK4354 y HK4401, después de revisar el inventario de aviónica y de compararlo con los P/Ns indicados en la service letter se concluye que para que sea RVSM hay que realizarle upgrades a las 2 air data computers, para eso se elabora la siguiente EO 27-34-009.
  
- ✈ Debido a que el desarrollo del proyecto se ha realizado con base en una Service Bulletin elaborada por el mismo Estado de fabricación de las aeronaves, dichas

modificaciones cuentan con sobrada garantía y evitan el recurrir a un costoso STC (Supplemental Type Certificated).

- ✈ La optimización de las aeronaves, les otorga prioridad en la asignación de niveles de vuelo.
- ✈ El notable ahorro de combustible que logran las aeronaves al ser certificadas RVSM, compensará a largo plazo la inversión que la Empresa Líneas Aéreas Suramericanas, S.A. realiza para la concretización del proyecto.
- ✈ Implementación técnicamente viable para cada una de las aeronaves teniendo en cuenta que:
  - Para el HK4262, HK4354 y HK4401: No se considera alteración mayor por lo tanto no requiere aprobación por parte del estado de certificación de la aeronave.
  - Y para el HK4261 Se considera alteración mayor por lo cual requiere aprobación del estado de certificación de la aeronave a través de un STC o documento equivalente.
- ✈ No requiere excesivos cambios en los sistemas de aviónica.
- ✈ Corto plazo de recuperación de la inversión.
- ✈ Reducción de demoras en tierra.
- ✈ Reevaluación de aeronave.
- ✈ Aumento de la competitividad de la empresa.

## BIBLIOGRAFIA

*Manual de orientación sobre la implantación de una separación vertical mínima de 300 m (1000ft) entre FL 290 y FL 410 inclusive para su aplicación en el espacio aéreo de las Regiones del Caribe y Sudamérica, Publicado por el Subgrupo ATM/CNS del Grupo Regional de Planificación y Ejecución del Caribe/Sudamérica (GREPECAS), Octubre 2003, 50 Paginas.*

*Organización de Aviación Civil Internacional Comisión Latinoamericana de Aviación Civil, Proyecto Regional RLA/99/901 Sistema Regional de Cooperación para la Vigilancia de la Seguridad Operacional Proyecto de Regulaciones Aeronáuticas Latinoamericanas CA: 6.425-RVSM Requisitos y procedimientos para la aprobación de operaciones en espacio aéreo designado con Separación Vertical Mínima (RVSM), Enero 5 de 2004, 92 Paginas.*

*Comercial Airplane Group, BOEING, Service Bulletin para 727, Number 727-53-0220, September 26 de 1996, ATA System 5300 3410, 37 Paginas.*

*Customer Services Division, BOEING 727, Service Letter, Number 727-SL-02-004, ATA 0200-41, 8 de October de 1996, 12 Paginas.*