



Cuestión 1

del Orden del Día: Uso operacional de la RVSM en las Regiones CAR/SAM

Uso operacional de la RVSM en las Regiones CAR/SAM

(Nota preparada por Saulo da Silva Relator del SAM/WG
Presentada por el Presidente del Comité ATM)

RESUMEN

Esta nota de estudio contiene información sobre la evaluación de seguridad operacional relacionada con los riesgos técnicos y operacionales post implantación de la RVSM, las acciones correctivas para mantener el riesgo total por debajo del TLS acordado para las Regiones CAR/SAM y consideraciones concernientes a la implantación operacional plena de la RVSM

Referencias:

- Informe de la Reunión AP/ATM/12
- Doc. 9574 - Manual de Implantación de la RVSM

1. Introducción

Evaluación de seguridad operacional de la post implantación de la RVSM en las Regiones CAR/SAM

1.1 Durante su décima reunión (mayo de 2005), el Grupo de Tarea sobre la Implantación de la RVSM en las Regiones CAR/SAM analizó la evaluación de la seguridad operacional asociada con la RVSM implantada en enero de 2005 en el espacio aéreo de las Regiones CAR/SAM.

1.2 La evaluación de la seguridad operacional presentado a la reunión AP/ATM/10 mostró que el nivel de riesgo de la RVSM implantada, atribuible a todas las causas, no excedía el nivel tolerable según la meta de seguridad operacional acordada (el nivel de seguridad deseado - TLS). Con el fin de actualizar esta evaluación de la seguridad operacional y declarar plenamente operacional el uso de la RVSM, de conformidad con el Doc. 9574, la CARSAMMA solicitó a los Estados/Organizaciones Internacionales que recolectaran muestras de tránsito que reflejaran, en términos generales, las operaciones a un año de la implantación.

1.3 Un resumen de la evaluación realizada se expone a continuación. El reporte completo de la evaluación de seguridad post implantación de la RVSM en las regiones CAR/SAM presentado por CARSAMMA figura en el **Apéndice A** de esta nota de estudio.

2. Análisis

Riesgo técnico

2.1 La meta es demostrar que se cumple con el TLS de 2.5×10^{-9} accidentes fatales por hora de vuelo de la aeronave, con un nivel de confianza significativo. El riesgo técnico que representan las Regiones CAR/SAM fue evaluado tomando en cuenta el movimiento en tres FIR adyacentes de la Región CAR, y cuatro de la Región SAM, tal como se hizo para el análisis de la seguridad operacional previo a la implantación. La selección de las FIR fue de acuerdo con aquellas que presentaron la mayor frecuencia de paso, determinada de acuerdo con la muestra de tráfico recolectada desde 1 hasta 15 de diciembre de 2005. En esa ocasión, se utilizó las FIR de La Habana, Centroamérica y Kingston, y de Curitiba, Brasilia, Recife y el sector Manaus de la FIR Amazónica. Esa selección fue hecha teniendo en cuenta la gran influencia de la frecuencia de paso en el riesgo de colisión debido a la pérdida de separación vertical.

2.2 Se evaluó el riesgo de colisión para las Regiones CAR y SAM, en forma separada, y para todo el espacio aéreo CAR/SAM, tal como se muestra en la tabla siguiente donde IOP representa la fase luego después de la implantación y FM-I representa las operaciones un año después de la implantación:

Riesgo Técnico De Colisión

Caribe		Sudamérica		CAR/SAM	
FM-I	IOP	FM-I	IOP	FM-I	IOP
0.140×10^{-9}	0.112×10^{-9}	0.036×10^{-9}	0.081×10^{-9}	0.076×10^{-9}	0.098×10^{-9}

Efecto del aumento del tránsito

2.3 Se calculó la evolución del riesgo de colisión en el período 2004-2015 con una tasa de crecimiento anual de tránsito estimada de 8 %, que afecta directamente el valor de la frecuencia de paso tomándose nota que el riesgo técnico, hasta el año 2015, estará por debajo del límite de 2.5×10^{-9} .

Riesgo operacional

2.4 El CRM para el riesgo operacional fue desarrollado en relación a la implantación de la RVSM en las Regiones CAR/SAM, de manera que refleja ciertas características operacionales de las Regiones.

2.5 Las LHD identificadas en los informes recibidos por la CARSAMMA pueden deberse a procedimientos operacionales, condiciones meteorológicas adversas o procedimientos de emergencia generadas por fallas de los equipos o la presurización, y se pueden dividir en cuatro grupos principales:

- a) errores del ciclo ATC-piloto y autorizaciones incorrectas;
- b) eventos de contingencia de la aeronave;
- c) desviaciones debidas a efectos meteorológicos; y

- d) desviaciones debidas al ACAS.

Clasificación de los errores en la evaluación del riesgo

2.6 Se clasificó las causas de los errores de grupo, los cuales contribuyen a dos eventos diferentes:

- *Nivelación de la aeronave en un nivel de vuelo incorrecto*

Según la información analizada 43 aeronaves nivelaron en niveles de vuelo incorrectos, sumando 4215 segundos, con un tiempo promedio transcurrido en niveles de vuelo incorrectos de 0.02723 horas y dos de ellas en la dirección opuesta al flujo.

- *Aeronave que asciende/desciende atravesando uno o más niveles de vuelo*

Según la información examinada hubo 20 eventos de cruce de niveles de vuelo sin autorización del ATC, 13 de ellos en la dirección opuesta al flujo.

2.7 Todas las desviaciones ocasionadas por efectos meteorológicos no severos (300 pies o más, y menos de 1000 pies) fueron consideradas en la distribución AAD.

2.8 Las desviaciones debidas al ACAS (TCAS) fueron clasificadas y analizadas de acuerdo con un modelo específico. Para ellos, se desarrolló una distribución compuesta de performance típica y atípica, considerando las desviaciones ACAS, y utilizando el mismo modelo de doble-doble exponencial utilizado en la distribución AAD.

Evaluación de riesgo total para las operaciones RVSM en las Regiones CAR/SAM

2.9 Se ofreció un estimado del riesgo asociado con todas las causas en relación al uso de la RVSM. Se combinaron los valores de los riesgos técnico y operacional para calcular el riesgo total del sistema atribuible a todas las causas.

2.10 Se calculó el riesgo de colisión vertical asociado a cada grupo de LHD, en base al Modelo de Riesgo de Colisión de Reich. La tabla siguiente presenta los valores de riesgo para los modelos resultantes:

- N_{az}^{tec} es el riesgo técnico vertical;
- N_{az}^{ne} es el riesgo vertical debido a que una aeronave nivela en un nivel de vuelo incorrecto;
- N_{az}^{nc} es el riesgo vertical debido a que una aeronave atraviesa un nivel de vuelo sin autorización del ATC;
- N_{az}^{ACAS} es el riesgo vertical debido a avisos del ACAS; y
- N_{az} es el riesgo de colisión vertical debido a todas las causas, o riesgo total.

Riesgos de colisión en las Regiones CAR/SAM

Riesgo	CAR		SAM		CAR/SAM		TLS
	FM-I	IOP	FM-I	IOP	FM-I	IOP	
N_{az}^{Tec}	1.4×10^{-10}	1.1×10^{-10}	3.6×10^{-11}	8.1×10^{-11}	7.6×10^{-11}	9.8×10^{-11}	5.0×10^{-9}
N_{az}^{ACAS}	1.3×10^{-10}	2.4×10^{-11}	3.4×10^{-11}	1.6×10^{-11}	7.1×10^{-11}	2.0×10^{-11}	
N_{az}^{ne}	2.6×10^{-9}	0.0	8.2×10^{-9}	3.0×10^{-9}	6.1×10^{-9}	1.8×10^{-9}	
N_{az}^{nc}	3.9×10^{-10}	0.0	8.8×10^{-10}	1.2×10^{-10}	6.7×10^{-10}	7.6×10^{-11}	
N_{az}^{Total}	3.3×10^{-9}	1.4×10^{-10}	9.0×10^{-9}	3.2×10^{-9}	6.9×10^{-9}	2.0×10^{-9}	

2.11 La evaluación realizada tomando en cuenta el riesgo técnico más el riesgo por toda las demás causas, muestra que el riesgo total para las Regiones CAR/SAM es mayor al TLS acordado.

2.12 Cabe indicar que este riesgo total está muy influenciado por las LHD, la mayoría de ellas generadas por errores en los mensajes de coordinación entre una dependencia ATC a otra dependencia ATC. Los errores no son ocasionados por la operación de la RVSM sino por procedimientos comunes en la transferencia de aeronaves de una dependencia ATC a otra.

2.13 En vista de ello, la reunión consideró necesario seguir monitoreando las LHD para mantenerlas dentro de los límites aceptables.

Acciones correctivas

2.14 De acuerdo con el tránsito en las Regiones CAR/SAM, se puede tolerar alrededor de 1253 segundos al año por aeronave que nivela en un nivel de vuelo incorrecto, asumiendo que ninguna atraviesa un nivel de vuelo sin autorización del ATC, sin exceder el TLS acordado. O, asumiendo que ninguna aeronave nivela en un nivel de vuelo incorrecto, se puede tolerar hasta 97 cruces de niveles de vuelo sin autorización ATC, con una velocidad vertical de ascenso/descenso de 10 nudos, sin exceder el TLS acordado.

2.15 En consecuencia, para reducir el riesgo, hay que adoptar acciones correctivas eficaces a fin de reducir el tiempo transcurrido en niveles de vuelo incorrectos y la cantidad de niveles de vuelo atravesados sin autorización del ATC. Es necesario tomar acciones correctivas para disminuir las causas de malos entendidos entre pilotos y controladores y las autorizaciones incorrectas, así como errores en los mensajes de transición entre dependencias ATC.

2.16 En base a los datos recolectados en las Regiones CAR/SAM, la mejor acción correctiva sería la eliminación de los errores en los mensajes de transferencia entre dependencias ATC.

Riesgo total después de la adopción de medidas correctivas

2.17 Las medidas correctivas apropiadas darán como resultado un tiempo máximo en niveles de vuelo incorrectos para que el riesgo de colisión no exceda el TLS. Si excluimos del análisis las LHD

tipo M, el resultado estimado del riesgo total atribuible a todas las causas relacionadas con el uso de la RVSM en las Regiones CAR/SAM está por debajo del TLS.

2.18 En resumen, se pudo observar que el riesgo técnico estimado para la implantación RVSM combinada es de 7.6×10^{-11} . Este estimado satisface el valor del TLS acordado de no más de 2.5×10^{-9} accidentes fatales por hora de vuelo debido a la pérdida de una separación vertical normalizada correctamente establecida de 1000 pies.

2.19 El riesgo total estimado para la RVSM combinada en el espacio aéreo CAR/SAM, con la adopción de medidas correctivas, es de 2.4×10^{-9} . El riesgo total estimado relacionado con el riesgo técnico y operacional combinados de la RVSM satisface el valor TLS acordado de no más de 5×10^{-9} accidentes fatales por hora de vuelo debido a todas las causas, como está mostrado en la tabla abajo.

Riesgo de Colisión para las Regiones CAR/SAM posterior a las Acciones Correctivas

Collision Risks	CAR/SAM	TLS
N_{az}^{Tec}	7.6×10^{-11}	5.0×10^{-9}
N_{az}^{ACAS}	7.1×10^{-11}	
N_{az}^{ne}	1.6×10^{-9}	
N_{az}^{nc}	6.7×10^{-10}	
N_{az}^{Total}	2.4×10^{-9}	

Recomendaciones

2.20 Las recomendaciones aquí descritas tienen como objetivo contribuir a los esfuerzos requeridos en las nuevas tareas relacionadas con la evaluación del riesgo de colisión con posterioridad a la implantación de la RVSM en las Regiones CAR/SAM.

2.21 *Datos sobre el flujo de tránsito* – Aproximadamente 40% de los datos recibidos no pudieron ser procesados por diversas razones, desde el desconocimiento de cómo transcribir los datos en las hojas de cálculo, hasta la inconsistencia de los datos. Sería conveniente que, antes de iniciar la recolección de los datos, los Estados revisen los lineamientos desarrollados para este procedimiento, y que fueran aprobados por el RVSM TF.

2.22 *Datos sobre desviaciones verticales debidas a errores operacionales* - La información sobre estos tipos de eventos se obtiene a través del ATC o de los informes de los pilotos. Lamentablemente, rara vez se reportan datos importantes sobre estas desviaciones, como, por ejemplo, la cantidad de niveles de vuelo atravesados o el tiempo transcurrido en niveles de vuelo no autorizados. Como estas desviaciones son consecuencia de errores o acciones de contingencia, los Estados deberían elaborar un plan de trabajo para obtener estos datos con un alto nivel de confianza e informarlos a la CARSAMMA.

2.23 Lo anterior muestra la necesidad de que los Estados/Territorios y Organizaciones Internacionales continúen sus esfuerzos por reducir los LHD causados por errores de coordinación entre unidades ATC y continúen reportándolos a la CARSAMMA.

Desarrollo de un perfil exhaustivo de operadores y tipos de aeronaves utilizando el espacio aéreo de CAR/SAM donde se aplica RVSM

2.24 La Reunión AP/ATM/12 fue informada por CARSAMMA sobre los resultados del análisis de una muestra del tránsito tomada durante el período 01-15 de diciembre de 2005 en el espacio aéreo de CAR/SAM. La muestra de tráfico se resume en términos de los usuarios del espacio aéreo observado, tipos de aeronaves y niveles de vuelo más utilizados.

2.25 Esta muestra del tránsito fue necesaria para facilitar la evaluación de seguridad para la fase de post implantación. Los Estados involucrados estuvieron localizados en las Regiones CAR/SAM.

2.26 Los datos de movimiento del tránsito para las operaciones en el espacio aéreo CAR/SAM se recibieron en CARSAMMA antes de Enero 2006. Algunos datos no pudieron ser procesados por el formato usado o por falta de información. El total de números de vuelos observados en la muestra del tránsito fue 43621. En el **Apéndice B** del Asunto 3 del Informe de la reunión AP/ATM12 se muestra la información sobre el análisis de la encuesta.

3. Seguimiento de las operaciones RVSM

Reportes de turbulencia severa

3.1 La reunión AP/ATM/12 recordó que, cuando una aeronave sin aprobación RVSM realizando un vuelo internacional o en vuelos domésticos en espacio aéreo excluyente experimenta turbulencia severa y solicita el ingreso al espacio aéreo RVSM, se le debe negar la autorización de conformidad con el manual sobre el Concepto Operacional (CONOPS) de la Región. Esto podría representar un problema de seguridad operacional, y se debería considerar la elaboración de material de orientación para este escenario.

3.2 Al respecto, la reunión consideró que la incorporación de una orientación específica que, a manera de excepción, permita a las aeronaves sin aprobación RVSM ingresar al espacio aéreo RVSM por motivos de turbulencia severa “abriría las puertas” al otorgamiento de excepciones adicionales a las aeronaves sin aprobación RVSM. Se analizó la frecuencia con que se presentaba esta situación, indicándose que no se trataba de una acción muy difundida. La reunión acordó que este tipo de eventos no era de carácter regional y que no se necesitaba orientación para toda la región, por lo que no se requería enmendar el documento CONOPS RVSM de las Regiones CAR/SAM.

3.3 Se recordó a la reunión que el CONOPS RVSM de las Regiones CAR/SAM establecía “suspender RVSM” cuando era evidente una actividad de turbulencia severa en el estrato RVSM, determinándose que esta orientación no resultaba aplicable en este caso, ya que la turbulencia severa se “reportaba” a niveles por debajo del estrato RVSM.

3.4 La reunión indicó que, cuando una aeronave sin aprobación RVSM ingresaba al espacio aéreo RVSM, se debía aplicar una separación de 2000 pies, lo cual podía incrementar la carga de trabajo del controlador.

3.5 Tal como se indica en el documento CONOPS RVSM, los vuelos internacionales sin aprobación RVSM no están autorizados a ingresar en el espacio aéreo RVSM de las regiones. La reunión consideró que se podría dar orientación a los controladores de tránsito aéreo, Estado por Estado, según fuera requerido. Se sugiere la inclusión de los siguientes temas en la orientación recomendada:

- a. Ofrecer una altitud inferior
- b. Proporcionar un vector
- c. Re-encaminar
- d. Si se permite a la aeronave no aprobada ingresar en el espacio aéreo RVSM:
 - i. mantener el FL y brindar una separación de 2000 pies
 - ii. establecer una duración máxima

3.6 El Grupo recomendó para estos casos, los siguientes métodos para convalidar los informes de turbulencia severa:

- a) consultar a las aeronaves que se encuentran cerca, en el mismo FL
- b) solicitar al piloto que presente un informe de turbulencia severa.

Pérdida de la capacidad RVSM en vuelo en áreas oceánicas y remotas

3.7 En cuanto a la conveniencia de establecer un procedimiento específico para que las aeronaves con aprobación RVSM que pierden su capacidad RVSM durante el vuelo puedan seguir volando en el espacio aéreo RVSM, en áreas oceánicas o continentales remotas, la reunión consideró el tema en base a dos escenarios distintos:

- a. *Cuando existe comunicación directa entre el controlador y el piloto:*

En este caso, el piloto deberá informar al control de tránsito aéreo acerca de la pérdida de la capacidad RVSM en una aeronave que, de otra manera, sería una aeronave aprobada, y seguirá las autorizaciones que otorgue el controlador en base a la complejidad del tránsito, la carga de trabajo, y el esfuerzo requerido para mantener el nivel más alto de seguridad operacional en el espacio aéreo. Se aplicará una separación vertical de 2000 pies.

- b. *Cuando NO existe comunicación directa entre el controlador y el piloto:*

Esta situación es más difícil, ya que el controlador NO tiene manera de saber que la aeronave está mecánicamente incapacitada para cumplir con la RVSM, por lo tanto, el piloto deberá ejecutar los procedimientos de contingencia en vuelo ya establecidos para el espacio aéreo oceánico y remoto. Estos procedimientos están publicados en los PANS ATM de la OACI (Doc. 4444).

Identificación de aeronaves sin aprobación RVSM que operan en el espacio aéreo RVSM

3.8 La Reunión recordó que CARSAMMA tiene la responsabilidad de desarrollar y mantener una base de datos sobre aeronaves aprobadas RVSM. Según lo informado, la Agencia Regional tomará las acciones apropiadas para cumplir con esa tarea y la pondrá a disposición en su página web. Cabe agregar que esta base de datos solo podrá ser desarrollada si los Estados/Territorios elaboran su propia base de datos tal como lo estableció GREPECAS mediante la Conclusión 13/59. Esta información también debe ser remitida a CARSAMMA. De todas maneras, la Reunión coincidió que la base de datos

sólo deberá ser utilizada para proveer información y no deberá ser aplicada para obligar al piloto al mando a valerse de estos datos para completar la Casilla 10 del FPL.

Procedimientos de renovación de autorización RVSM y de los programas de monitoreo de aeronaves

3.9 La Reunión tomó nota de la existencia de operadores que demuestran estar desinformados con respecto a los requerimientos y procedimientos de renovación de autorización RVSM y de los programas de monitoreo. Reconociendo lo antes citado, la reunión insta a los Estados- Territorios y Organizaciones Internacionales a reiterar estos procedimientos entre sus operadores.

4. Conclusión

Uso operacional pleno de la RVSM

4.1 Tomando en cuenta que:

- a) la información contenida en esta Nota de Estudio indica que con un nivel predeterminado de confianza desde el punto de vista estadístico, la introducción de la RVSM no aumenta el nivel de riesgo debido a errores operacionales y contingencias en vuelo,
- b) sigue alcanzándose el TLS acordado respecto a la performance técnica (TLS técnico) observada de mantenimiento de altitud de una muestra representativa de la población de aeronaves de ambas regiones,
- c) se ha establecido un Grupo de Escrutinio para el análisis de los desvíos operacionales y se han instrumentado medidas para disminuir los LHD y
- d) el riesgo total estimado para la RVSM en el espacio aéreo CAR/SAM, con la adopción de medidas correctivas, es de $2,4 \times 10^{-9}$ satisface el valor TLS acordado de no más de 5×10^{-9} accidentes fatales por hora de vuelo debido a todas las causas,

4.2 Se pone a consideración de la Reunión lo siguiente:

Proyecto de Conclusión ATM/5/XX

Uso operacional pleno de la RVSM en las Regiones CAR/SAM

Considerando que la evaluación de la seguridad de las operaciones RVSM en las Regiones CAR/SAM indica que el objetivo de seguridad operacional es inferior al TLS total acordado regionalmente, se aprueba el uso operacional pleno de la RVSM implantada el 20 de enero del 2005 en las Regiones CAR/SAM.

Proyecto de Conclusión ATM/5/XX

Acciones correctivas

Considerando la necesidad de mantener el riesgo de colisión por debajo del TLS acordado, que los Estados tomen las acciones necesarias para implementar las acciones correctivas dirigidas a reducir los errores de coordinación entre dependencias ATC.

**Proyecto de
Conclusión ATM/5/XX**

Monitoreo de la seguridad de las operaciones

Considerando la necesidad de evaluación de la seguridad de las operaciones RVSM en las Regiones CAR/SAM a través la utilización del Modelo de Riesgo de Colisión, se solicita a los Estados la recopilación de datos de movimiento de tránsito aéreo en el período del 15 al 19 de enero de 2007, debiendo llegar la información a CARSAMMA no más tarde del 15 de febrero de 2007 El formulario para recopilación de datos de movimiento será el mismo utilizado en recopilaciones anteriores y figura en el Apéndice XX a esta parte del Informe.

5 Acción sugerida

5.1 Se invita a la Reunión a:

- a) tomar nota de la información presentada en esta nota de estudio, y particularmente en el **Apéndice A**; y
- b) aprobar los proyectos de Conclusión que figuran en el para.4.2.

APENDICE A

Resumen de la evaluación de la seguridad operacional de la separación vertical mínima reducida (RVSM) que refleja la seguridad de las operaciones a un año de la implantación de la RVSM en el espacio aéreo CAR/SAM el 20 de enero de 2005.

1. Introducción

1.1 Durante su décima reunión (mayo de 2005), el Grupo de Tarea sobre la Implantación de la RVSM en las Regiones CAR/SAM analizó la evaluación de la seguridad operacional asociada con la RVSM implantada en enero de 2005 en el espacio aéreo de las Regiones CAR/SAM. Esta evaluación de la seguridad operacional fue realizada conjuntamente por la CARSAMMA, la agencia regional de monitoreo RVSM designada por el Grupo Regional CAR/SAM de Planificación y Ejecución, y por el Grupo de Trabajo sobre Monitoreo de la Seguridad Operacional y el Espacio Aéreo del Grupo de Tarea.

1.2 La evaluación de la seguridad operacional presentado a la reunión AP/ATM/10 mostró que el nivel de riesgo de la RVSM implantada, atribuible a todas las causas, no excedía el nivel tolerable según la meta de seguridad operacional acordada --el nivel de seguridad deseado (TLS). Con el fin de actualizar esta evaluación de la seguridad operacional y declarar plenamente operacional el uso de la RVSM, de conformidad con el Doc. 9574, la CARSAMMA solicitó a algunos Estados/Organizaciones Internacionales que recolectaran muestras de tránsito que reflejaran, en términos generales, las operaciones a un año de la implantación.

1.3 Esta nota tiene como fin brindar una actualización completa de la evaluación de la seguridad operacional en las Regiones CAR/SAM para su análisis por el Grupo de Tarea, abordando el uso de la RVSM y las acciones correctivas requeridas.

2. Antecedentes

2.1 Esta sección de la nota ofrece información resumida sobre la metodología internacionalmente aceptada para el cálculo del riesgo de colisión, utilizada en la evaluación de la seguridad operacional de las operaciones RVSM. Este resumen incluye comentarios sobre el TLS y el modelo de riesgo de colisión, incluyendo fuentes de datos de las Regiones CAR/SAM utilizadas para estimar estos parámetros.

2.2 El TLS y la evaluación de la seguridad operacional de la RVSM.

2.2.1 El Grupo de Expertos sobre el Examen del Concepto General de Separación (RGCSP) de la Organización de Aviación Civil Internacional realizó el trabajo que condujo a la elaboración del material de orientación bajo la referencia 1. Durante su sexta reunión (referencia 2), el Grupo de Expertos adoptó un valor de TLS de 2.5 accidentes fatales por 10^9 horas de vuelo, como meta de seguridad operacional para la introducción y uso de la RVSM a nivel mundial. Esta reunión del RGCSP fue la culminación de aproximadamente cinco años de recolección y análisis de datos por parte de varios Estados, así como de una sustancial revisión y evaluación de estos resultados dentro del grupo. Estos esfuerzos se han centrado en la determinación de la factibilidad de implantar la RVSM, con especial énfasis en la evaluación de la capacidad de los sistemas de mantenimiento de altitud de a bordo para operar a un nivel de performance suficientemente alto. Durante esta reunión, el Grupo de Expertos adoptó los requisitos para un

sistema de mantenimiento de altitud de a bordo – conformado por un altímetro y un sistema de mantenimiento de altitud – el cual fue considerado tanto factible como capaz de satisfacer el TLS.

2.2.2 En su séptima reunión (referencia 3), el Grupo de Expertos analizó información reciente que indicaba que, en sectores del espacio aéreo mundial donde se estaba contemplando la implantación de la RVSM, estaban ocurriendo grandes desviaciones de altitud, generadas mayormente por errores en la emisión o cumplimiento de las autorizaciones del ATC. El Grupo de Expertos reconoció que el riesgo asociado con estos eventos también debía ser tomado en cuenta al considerar la introducción de la RVSM. En consecuencia, el Grupo de Expertos acordó cambiar el valor total del TLS a 5 accidentes fatales por 10^9 horas de vuelo, y recomendar que este valor sea el límite superior del riesgo de colisión en vuelo debido a todas las causas en relación con la norma de separación vertical de 1000 pies por encima de FL290. El Grupo de Expertos también acordó que la meta de seguridad operacional para la performance de mantenimiento de altitud de a bordo debería mantenerse en el valor previamente establecido de 2.5 accidentes fatales por 10^9 horas de vuelo. Finalmente, el Grupo decidió que, al evaluar la seguridad de la implantación de la RVSM, debería satisfacerse tanto la meta de seguridad operacional para la performance de mantenimiento de altitud de a bordo como el valor total del TLS.

2.2.3 Así, tal como fuera contemplado por el RGCSP, la introducción y uso de la RVSM serían seguros si:

- (a) el riesgo de colisión debido a todas las causas no excede 5 accidentes fatales por 10^9 horas de vuelo, y, al mismo tiempo,
- (b) el riesgo de colisión debido a los sistemas de mantenimiento de altitud de a bordo no excede 2.5 accidentes fatales por 10^9 horas de vuelo.

2.2.4 El Grupo de Expertos indicó que la evaluación del riesgo con respecto a los sistemas de mantenimiento de altitud de a bordo debería tomar en cuenta los efectos de la turbulencia, la pérdida de la capacidad de mantenimiento de altitud y la respuesta de la tripulación a los avisos del sistema anticolidión de a bordo, así como los errores generados por la performance del sistema altimétrico y el sistema de mantenimiento de altitud de a bordo. Durante la evaluación de la seguridad operacional que condujo a la exitosa implantación de la RVSM en el Atlántico Norte (NAT) en 1997, el conjunto de riesgos atribuibles a todas estas causas fue denominado “riesgo técnico”.

2.2.5 El Grupo de Expertos también indicó que la evaluación del riesgo con respecto al error humano debería tomar en cuenta los errores en los cuales:

- (a) la aeronave no asciende o desciende según lo requerido,
- (b) la aeronave asciende o desciende sin autorización del ATC,
- (c) las autorizaciones del ATC resultan en una pérdida de las normas especificadas de separación entre aeronaves,
- (d) ingresos en el espacio aéreo a un nivel de vuelo incorrecto, y
- (e) cualquier otro error atribuible a descuido humano.

2.2.6 En el proceso de evaluación de la seguridad operacional, la sumatoria del riesgo atribuible a todas estas causas arriba indicadas se denomina “riesgo operacional”.

- 2.3 Modelo de riesgo de colisión y la evaluación de la seguridad operacional RVSM
- 2.3.1 Modelo de riesgo de colisión para el riesgo técnico
- 2.3.1.1 Las referencias 2 y 3 contienen detalles de los avances en el modelo básico de riesgo de colisión (CRM) utilizado conjuntamente con la implantación de la RVSM.

2.3.1.2 La referencia 2 contiene el modelo para el riesgo técnico total, expresado como la suma de tres tipos básicos de riesgo de colisión:

$$N_{az} = N_{az}(\text{same}) + N_{az}(\text{opposite}) + N_{az}(\text{cross}) \quad (1)$$

donde los términos en (1) están definidos en la Tabla 1.

Parámetro	Descripción
N_{az}	Número esperado de accidentes por hora de vuelo de las aeronaves, como resultado de colisiones debidas a pérdida de la separación vertical entre pares de aeronaves en niveles de vuelo adyacentes
$N_{az}(\text{same})$	Número esperado de accidentes por hora de vuelo de las aeronaves entre pares de aeronaves que vuelan en la misma ruta, en la misma dirección, en niveles de vuelo adyacentes
$N_{az}(\text{opposite})$	Número esperado de accidentes por hora de vuelo de las aeronaves entre pares de aeronaves que vuelan en la misma ruta, en direcciones opuestas, en niveles de vuelo adyacentes
$N_{az}(\text{cross})$	Número esperado de accidentes por hora de vuelo de las aeronaves entre pares de aeronaves que vuelan en rutas que se cruzan, en niveles de vuelo adyacentes

Tabla 1. Definiciones de los parámetros del modelo de riesgo

2.3.1.3 La fórmula apropiada del modelo para calcular el riesgo “técnico” en la misma ruta que refleje el aporte de pares de aeronaves en niveles de vuelo adyacentes que vuelan en la misma dirección o en direcciones opuestas, $N_{az}(\text{same})$ y $N_{az}(\text{opposite})$, es:

$$N_{az}(\text{same}) + N_{az}(\text{op}) = P_z(S_z)P_y(0) \frac{\lambda_x}{S_x} \left\{ \begin{array}{l} E_z(\text{same}) \left[\frac{|\overline{\Delta V}|}{2\lambda_x} + \frac{|\overline{y}|}{2\lambda_y} + \frac{|\overline{z}|}{2\lambda_z} \right] + \\ E_z(\text{op}) \left[\frac{2|\overline{V}|}{2\lambda_x} + \frac{|\overline{y}|}{2\lambda_y} + \frac{|\overline{z}|}{2\lambda_z} \right] \end{array} \right\} \quad (2)$$

donde los parámetros del modelo presentado en (2) aparecen definidos en la Tabla 2, a continuación.

Parámetro CRM	Descripción
S_z	Separación vertical mínima.
$P_z(S_z)$	Probabilidad que dos aeronaves nominalmente separadas por la separación vertical mínima S_z se hallen en superposición vertical.
$P_y(0)$	Probabilidad que dos aeronaves en la misma derrota se hallen en superposición lateral.
λ_x	Longitud promedio de la aeronave.
λ_y	Envergadura promedio de la aeronave.
λ_z	Altura promedio de la aeronave con el tren de aterrizaje retraído.
S_x	Longitud de la ventana longitudinal utilizada para calcular la ocupación.
$E_z(same)$	Ocupación vertical en la misma dirección para un par de aeronaves que se encuentran en niveles de vuelo adyacentes en la misma ruta.
$E_z(opp)$	Ocupación vertical en dirección opuesta por un par de aeronaves que se encuentran en niveles de vuelo adyacentes en la misma ruta.
$ \overline{\Delta V} $	Velocidad promedio relativa a lo largo de la derrota entre aeronaves que se encuentran en rutas en la misma dirección.
$ \overline{V} $	Velocidad absoluta promedio de la aeronave respecto al suelo.
$ \overline{\dot{y}} $	Velocidad relativa absoluta promedio perpendicular a la derrota para un par de aeronaves nominalmente en la misma derrota.
$ \overline{\dot{z}} $	Velocidad vertical relativa absoluta promedio para un par de aeronaves que han perdido toda separación vertical

Tabla 2. Definiciones de los parámetros del modelo de riesgo técnico en la misma ruta

2.3.1.4 El término “ocupación”, tal como se le utiliza en la tabla 2, se refiere a pares de aeronaves que se encuentran “próximas”, en el sentido que están dentro de una distancia o tiempo arbitrario - por ejemplo, 80 nm ó 10 minutos – la una de la otra, en la ruta, en niveles de vuelo adyacentes. Se utiliza esta proximidad como una medida de la densidad relativa de pares de aeronaves en el espacio aéreo, donde una mayor densidad relativa conlleva un mayor estimado del riesgo. El término “superposición” se refiere al evento en el cual los centros de masa de dos aeronaves en una determinada posición – a lo largo de la derrota, perpendicular a la derrota o vertical - se encuentran a menor distancia que el doble del tamaño de una aeronave – longitud, envergadura o altura – en esa dimensión.

2.3.1.5 Las frecuencias de paso en la misma dirección y en direcciones opuestas, $N_x(same)$ y $N_x(opp)$, están relacionadas con las ocupaciones verticales en la misma dirección y en direcciones opuestas, a través de las siguientes relaciones:

$$N_x(same) = \frac{\lambda_x}{\hat{S}_x} E_z(same) \frac{|\overline{\Delta V}|}{2\lambda_x}$$

$$y N_x(opp) = \frac{\lambda_x}{\hat{S}_x} E_z(opp) \frac{|\overline{V}|}{2\lambda_x}$$

donde los parámetros son idénticos a aquéllos descritos en la tabla anterior.

2.3.1.6 El espacio aéreo CARSAM necesita un estimado del riesgo técnico en las intersecciones de las rutas, $N_{az}(cross)$. La siguiente fórmula CRM es apropiada para este cálculo:

$$N_{az}(cross) = \begin{cases} \sum_{i=1}^n P_h(\theta_i) P_z(S_z) \frac{\pi S_h}{2|h(\theta_i)|} \frac{1}{t_F} \frac{2K(\theta_i)}{N} \left[\frac{2|h(\theta_i)|}{\pi\lambda_h} + \frac{|\dot{z}|}{2\lambda_z} \right] & \text{for } \frac{\pi S_h}{2|h(\theta_i)|} < t_F \\ \sum_{i=1}^n P_h(\theta_i) P_z(S_z) \frac{2K(\theta_i)}{N} \left[\frac{2|h(\theta_i)|}{\pi\lambda_h} + \frac{|\dot{z}|}{2\lambda_z} \right] & \text{for } \frac{\pi S_h}{2|h(\theta_i)|} \geq t_F \end{cases} \quad (3)$$

donde los parámetros del modelo presentado en (3) están definidos en la Tabla 3, a continuación.

Parámetro CRM	Descripción
S_z	Separación vertical mínima.
$P_z(S_z)$	Probabilidad que dos aeronaves en niveles de vuelo adyacentes, nominalmente separadas por la separación vertical mínima S_z , se hallen en superposición vertical.
θ	Angulo formado en la intersección de dos rutas que se cruzan
N	Cantidad de grupos formados por el cruce de rutas con ángulos de intersección similares
$P_h(\theta)$	Probabilidad de superposición horizontal de dos aeronaves en niveles de vuelo adyacentes en rutas que se cruzan a un ángulo θ
S_h	Separación horizontal planificada
λ_h	Superior a la envergadura o longitud de fuselaje de aeronave promedio
λ_z	Altura de aeronave promedio con el tren de aterrizaje retraído
S_x	Longitud de la ventana longitudinal utilizada para calcular la ocupación.
$K(\theta)$	Cantidad de pares de aeronaves próximas en rutas que se cruzan a un ángulo θ .
t_F	Duración promedio de los vuelos en las rutas que se cruzan
n	Cantidad de vuelos en la ruta que se cruza durante el período de tiempo para el cual se calculó $T_h(\theta)$ horas de proximidad
$T_h(\theta)$	Tiempo total en que pares de aeronaves en rutas que se cruzan a un ángulo θ se encuentran próximas en sentido horizontal.
$ h(\theta) $	Velocidad horizontal relativa promedio durante la superposición para pares de aeronaves en rutas que se cruzan a un ángulo θ .
$ \dot{z} $	Velocidad vertical relativa absoluta promedio de un par de aeronaves que han perdido toda separación vertical

Tabla 3. Definiciones de los parámetros del modelo de riesgo técnico para rutas que se cruzan

2.3.2 Modelo de riesgo de colisión para el riesgo operacional

2.3.2.1 El CRM apropiado para calcular el riesgo debido a grandes desviaciones de altitud (LHD) que generan errores que son múltiplos enteros de la separación vertical normalizada es una variación de la ecuación (2). La proporción del tiempo total de vuelo transcurrido en niveles incorrectos, $P_i=Q$, puede ser interpretada como la probabilidad que una aeronave se encuentre volando en un nivel incorrecto. La proporción del tiempo total de vuelo transcurrido en niveles incorrectos, P_i , está determinada por la suma de los tiempos individuales para cada LHD, y luego dividiendo el resultado entre el tiempo total de vuelo del sistema durante el intervalo calendario para el cual se registró las LHD. Para esta evaluación de la seguridad operacional posterior a la implantación en las Regiones CAR/SAM, el tiempo total de vuelo del sistema se calcula como el tiempo de vuelo total del sistema calculado a partir de la muestra de movimientos de tránsito de 15 días recibida de las regiones de información de vuelo (FIR) de las Regiones CAR/SAM, multiplicado por veinticuatro.

2.3.2.2 Para determinar la probabilidad de superposición vertical, $P_z(1000) = P_z^{ne}(1000)$, hay que multiplicar Q por la probabilidad que dos aeronaves que están nominalmente volando al mismo nivel se hallen en superposición vertical, $P_z(0)$. Por lo tanto, la probabilidad de superposición vertical debida a errores generados por desviaciones de múltiplos enteros de la separación vertical normalizada está dada por:

$$P_z(nS_z) = P_z^{ne}(1000) = P_z(0) \times Q \quad (5)$$

Una vez determinada la superposición vertical, $P_z(S_z)$, se puede calcular el riesgo de colisión para dichas desviaciones, utilizando la ecuación (2).

2.4 Datos sobre movimientos de tránsito y la evaluación de la seguridad operacional de la RVSM

2.4.1 Durante la reunión APATM/11, el Grupo de Tarea reconoció que, al haberse modificado la separación normalizada de 2000 a 1000 pies, y debido a los errores operacionales existentes, se debería reevaluar la seguridad de las operaciones. Consecuentemente, el Grupo acordó que se debería tomar una muestra adicional de tránsito en las FIR de las Regiones CAR/SAM durante el período 1-15 de diciembre de 2005. CARSAMMA recibió muestras de tránsito de 22 FIR.

2.5 Monitoreo de la performance de mantenimiento de altitud y evaluación de la seguridad operacional de la RVSM

2.5.1 El cálculo del riesgo operacional requiere que se disponga de información que describa los errores en los sistemas altimétricos y de mantenimiento de altitud de a bordo. Para obtener esta información, la CARSAMMA utilizó la misma fuente a la utilizada por la Agencia Central de Monitoreo (CMA) para el monitoreo de la seguridad operacional en la Región NAT, y le añadió los $300\text{ft} \leq LHD < 1000\text{ft}$ reportados por los proveedores ATS de las Regiones CAR/SAM a la CARSAMMA. Este supuesto es totalmente válido, teniendo en cuenta que la performance vertical de las aeronaves con aprobación RVSM es más o menos la misma.

3. Discusión

3.1 Esta sección de la nota de estudio describe el proceso y el material utilizados para calcular los valores de cada uno de los parámetros en las tablas 1 y 2, y brinda dichos valores. Según corresponda, esta sección también hace referencia a las decisiones del Grupo de Tarea o a los precedentes de la evaluación de la seguridad operacional de la implantación de la RVSM en las Regiones CAR/SAM que influyeron en la selección de un valor.

3.2 Tamaño de la aeronave

3.2.1 La longitud, envergadura y altura de la aeronave que aparecen en la tabla 4 fueron utilizadas para calcular el riesgo en la evaluación de la seguridad operacional de la RVSM en las Regiones CAR/SAM. Estos valores fueron calculados a partir de la muestra de tránsito.

Aeronave	$\lambda_z =$ Altura (nm)	$\lambda_x =$ Longitud (nm)	$\lambda_y =$ Envergadura (nm)
Aeronave promedio	0.0064033	0.0212364	0.0189686

Tabla 4. Tamaño de aeronave utilizado en la evaluación de la seguridad operacional de la RVSM en las Regiones CAR/SAM

3.2.2 Para calcular el riesgo para pares de aeronaves próximas, en niveles de vuelo adyacentes, en rutas que se cruzan, se necesita el diámetro del disco que representa la forma de una aeronave en el plano horizontal, λ_h . Se ha establecido este valor en 0,0212364nm para la aeronave promedio en el espacio aéreo CAR/SAM.

3.3 Velocidad relativa de las aeronaves

3.3.1 La Tabla 7 muestra los niveles y fuentes para el cálculo de las velocidades relativas de las aeronaves utilizadas en la evaluación de la seguridad operacional en las Regiones CAR/SAM. Los valores de la velocidad relativa promedio a lo largo de la derrota y de la velocidad absoluta promedio respecto al suelo son las que se obtienen del análisis de la muestra de tránsito. CARSAMMA utilizó el valor de la velocidad relativa perpendicular a la derrota que fuera utilizada en la evaluación de la seguridad operacional en otras Regiones. El valor así obtenido es de 20 nudos.

3.3.2 El valor de la velocidad relativa en el plano horizontal de un par de aeronaves en rutas que se cruzan mientras se hallan en superposición horizontal fue determinado a partir del ángulo de las intersecciones de las rutas en el sistema de rutas analizado, asumiendo que la velocidad de una determinada aeronave es de 451.72 nudos.

3.3.3 El valor de la velocidad vertical relativa que aparece en la tabla 5, 1.5 nudos, es el utilizado en las evaluaciones de la seguridad operacional RVSM en las Regiones NAT y Pacífico.

Símbolo del parámetro	Definición del parámetro	Valor del parámetro	Fuente del valor
$ \overline{\Delta V} $	Velocidad relativa promedio a lo largo de la derrota entre aeronaves en rutas en la misma dirección	18.44 nudos	Calculado a partir de la muestra de las Regiones CAR/SAM
$ \overline{V} $	Velocidad absoluta promedio respecto al suelo	451.72 nudos	Calculado a partir de la muestra de las Regiones CAR/SAM
$ \overline{y} $	Velocidad relativa absoluta promedio perpendicular a la derrota para un par de aeronaves nominalmente en la misma derrota	20 nudos	Valor utilizado en la evaluación de la seguridad operacional RVSM en la Región NAT
$ \overline{h(\theta)} $	Velocidad horizontal relativa promedio durante la superposición para pares de aeronaves en rutas con ángulos de cruce que oscilan entre 5 y 175 grados	Depende del ángulo de intersección	Corresponde a una velocidad promedio de aeronave de 451.72 nudos
$ \overline{z} $	Velocidad vertical relativa absoluta promedio de un par de aeronaves que han perdido toda separación vertical	1.5 nudos (todos los flujos de tránsito)	Valor utilizado en las evaluaciones de la seguridad operacional RVSM en las Regiones NAT y Pacífico

Tabla 5. Velocidades relativas de la aeronave utilizadas en la evaluación de la seguridad operacional de la RVSM en las Regiones CAR/SAM

3.4 Probabilidad de superposición lateral

3.4.1 CARSAMMA utilizó 0.3 NM como d.e. de mantenimiento lateral para calcular un valor para $P_y(0)$. El resultado de este cálculo es un valor de 0.0447.

3.5 Frecuencia de paso y ocupación vertical

3.5.1 Cabe recordar que se dice que dos aeronaves están verticalmente próximas, refiriéndose al riesgo de colisión, si las aeronaves están asignadas a niveles de vuelo adyacentes. En base al uso operacional de las rutas en las Regiones CAR/SAM, resulta evidente que, cuando se aplica la RVSM, se puede planificar el vuelo de pares de aeronaves dentro de una distancia de 1000 pies en sentido vertical en la misma ruta o rutas que se cruzan. La CARSAMMA procesó los datos sobre movimientos de tránsito a fin de determinar la cantidad de pares de aeronaves próximas observadas del 1 al 15 de diciembre de 2005 en las 22 FIR analizadas. Utilizando esta muestra de movimientos de tránsito, se calculó las frecuencias de paso en la misma dirección y en direcciones opuestas para aeronaves que operan en niveles de vuelo adyacentes y en la misma ruta, o la ocupación vertical para aeronaves que operan en rutas que se cruzan.

3.5.2 El cálculo de la ocupación vertical en rutas que se cruzan se derivó de las muestras de tránsito recibidas de las 7 FIR de las Regiones CAR/SAM con mayor densidad de tránsito. Se estimó que la ocupación vertical era de 0.7003.

3.5.3 Los cálculos de las frecuencias de paso en la misma dirección y en direcciones opuestas también fueron derivados de las muestras de tránsito recibidas de las mismas 7 FIR CAR/SAM. Las frecuencias de paso en la misma dirección y en direcciones opuestas fueron estimadas en 0.0139 y 0.2873, respectivamente.

3.5.4 Se determinó un valor aproximado de $P_h(\theta)$, es decir, la probabilidad de una superposición horizontal para pares de aeronaves en niveles de vuelo adyacentes en rutas que se cruzan a un ángulo de θ . Para la evaluación de la seguridad operacional en rutas que se cruzan, se utilizó un valor de $P_h(\theta)$ combinado de todos los cruces con distintos ángulos, desde 5 hasta 175 grados, con un intervalo de 5°.

3.6 Probabilidad de superposición vertical atribuible a la performance técnica de mantenimiento de altitud

3.6.1 Como se indicara anteriormente, se considera que el riesgo técnico es el resultado de los efectos de la turbulencia, la pérdida de la capacidad de mantenimiento de altitud, así como errores en la performance de los sistemas de altimetría y mantenimiento de altitud de a bordo. Por lo tanto, el cálculo de la probabilidad de superposición vertical debe tomar en cuenta la contribución de todas estas fuentes al error vertical.

3.6.2 La CARSAMMA comparó los resultados del monitoreo de la performance de mantenimiento de altitud de a bordo en las Regiones NAT y CAR/SAM, y encontró que eran similares. Por lo tanto, y considerando la cantidad de datos disponibles, la CARSAMMA ha utilizado los estimados del ASE de la Región NAT para la evaluación de la seguridad operacional.

3.6.3 Las LHD atribuibles a turbulencia, descensos de emergencia atravesando niveles de vuelo en el eje de la ruta sin autorización, y respuestas a los avisos del sistema anticolidión tienen el potencial de afectar en forma negativa la probabilidad de superposición vertical debida a la performance técnica de mantenimiento de altitud.

3.6.4 En forma persistente, el Grupo de Tarea ha solicitado a los proveedores ATS, usuarios del espacio aéreo y otros que envíen informes mensuales de estos tipos de LHD a la CARSAMMA. Si bien no todas las dependencias ATS han proporcionado estos informes mensuales, aquéllos recibidos por la CARSAMMA para el período entre enero y diciembre de 2005 han mostrado tan sólo unas cuantas instancias significativas de LHD atribuibles a turbulencia, descensos de emergencia sin autorización ATC, o respuestas a los avisos del sistema anticolidión. Debido al importante efecto que este parámetro tiene sobre el riesgo de colisión vertical, la CARSAMMA ha adoptado un enfoque prudente al especificar su valor. Este enfoque tomó en consideración las LHD de la Región NAT, sumadas a las de las 7 FIR de las Regiones CAR/SAM, tal como se muestra en la tabla 6 siguiente.

$P_z(1000)$	$P_z(0)$	$P_y(0)$
3.752×10^{-9}	0.3862	0.0447

Tabla 6. Resultados de la probabilidad de superposición vertical

3.7 Probabilidad de superposición vertical atribuible a errores en el otorgamiento o cumplimiento de una autorización ATC

3.7.1 Cabe recordar que el cálculo de $P_z(1000) = P_z^{ne}(1000)$ debido a grandes desviaciones de altitud requiere la determinación de dos cantidades: (1) la proporción del tiempo total de vuelo transcurrido en niveles incorrectos, $P_i = Q$, y (2) la probabilidad que dos aeronaves que nominalmente están volando al mismo nivel se hallen en superposición vertical, $P_z(0)$.

3.7.2 El riesgo del sistema es directamente proporcional al tiempo total de vuelo transcurrido en niveles incorrectos. El cálculo de este tiempo representa un factor determinante para saber si el riesgo estimado del sistema cumplirá o no con el TLS.

3.7.3 Los errores operacionales pueden hacer que la aeronave opere a múltiplos enteros de la separación vertical normalizada con respecto a su nivel de vuelo asignado. A veces, la aeronave se nivela en un nivel de vuelo incorrecto en la misma dirección del flujo, y, a veces, lo hace en la dirección opuesta del flujo. Este hecho es tomado en cuenta en el análisis del riesgo de colisión. La proporción del tiempo de vuelo que transcurre en niveles incorrectos, $P_i=Q$, está definida como la relación entre el tiempo transcurrido en niveles incorrectos y el tiempo total de vuelo en espacio aéreo CAR/SAM durante el período en que ocurrieron los eventos en los niveles de vuelo incorrectos. Tal como ocurrió con la identificación de los grandes errores verticales asociados con la performance técnica de mantenimiento de altitud, la CARSAMMA utilizó el intervalo de 12 meses entre enero y diciembre de 2005 como período de análisis.

3.8 Riesgo técnico

3.8.1 La meta es demostrar que se cumple con el TLS de 2.5×10^{-9} accidentes fatales por hora de vuelo de la aeronave, con un nivel de confianza significativo. El riesgo técnico que representan las Regiones CAR/SAM fue evaluado tomando en cuenta el movimiento en tres FIR adyacentes de la Región CAR, y cuatro de la Región SAM, tal como se hizo para el análisis de la seguridad operacional previo a la implantación. En esa ocasión, se utilizó las FIR de La Habana, Centroamérica y Kingston, y de Curitiba, Brasilia, Recife y el sector Manaus de la FIR Amazónica. A manera de referencia, la siguiente tabla muestra los parámetros del Modelo de Riesgo Técnico de Colisión para las fases de post-implantación (IOP) y operacional (FM-I).

Parámetros	ESPACIO AEREO					
	CARIBE		SUDAMERICA		CAR/SAM	
	FM-I	IOP	FM-I	IOP	FM-I	IOP
$P_y(0)$	0.0464	0.0456	0.0446	0.0440	0.0447	0.0445
$P_z(0)$	0.4095	0.4240	0.3748	0.3987	0.3862	0.4070
$P_z(1000)$	8.18×10^{-9}	8.0640×10^{-9}	1.781×10^{-9}	4.5292×10^{-9}	3.752×10^{-9}	5.6811×10^{-9}
$\lambda_x (MN)$	0.022451 9	0.0217718	0.020631 7	0.0208002	0.021236 4	0.021109 1
$\lambda_y (MN)$	0.019670 1	0.0193459	0.018619 6	0.0186863	0.018968 6	0.018896 0
$\lambda_z (MN)$	0.006727 4	0.0066127	0.006242 1	0.0063397	0.006403 3	0.006426 5
$\lambda_h (MN)$	0.022451 9	0.0217718	0.020631 7	0.0208002	0.021236 4	0.021109 1
$ \bar{V} (MN/h)$	470.65	467.62	442.30	432.67	451.72	443.78
$ \Delta V (MN/h)$	20	0.	18.42	26.31	18.44	26.31
$ \bar{y} (MN/h)$	20	20	20	20	20	20
$ \bar{z} (MN/h)$	1.5	1.5	1.5	1.5	1,5	1,5
$N_x(op)$	0.3361	0.2751	0.2397	0.2228	0.2873	0.2509
$N_x(same)$	0.0	0.0	0.0139	0.0117	0.0139	0.1167
$E_z(cross)$	0.3743	0.2353	0.9053	0.7807	0.7003	0.5721
$S_x(NM)$	80	80	80	80	80	80

Tabla 7. Resumen de los parámetros del riesgo técnico de colisión vertical

3.8.2 Se evaluó el riesgo de colisión para las Regiones CAR y SAM, en forma separada, y para todo el espacio aéreo CAR/SAM, tal como se muestra en la tabla 8 a continuación.

Caribe		Sudamérica		CAR/SAM	
FM-I	IOP	FM-I	IOP	FM-I	IOP
0.140×10^{-9}	0.112×10^{-9}	0.036×10^{-9}	0.081×10^{-9}	0.076×10^{-9}	0.098×10^{-9}

Tabla 8. Riesgo técnico de colisión

3.8.3 Efecto del aumento del tránsito

3.8.3.1 Se calculó la evolución del riesgo de colisión en el período 2004-2015 con una tasa de crecimiento anual de tránsito estimada de 8 %, que afecta directamente el valor de la frecuencia de paso. Los pronósticos aparecen en las Figs. 1, 2 y 3, a continuación. Obsérvese que el riesgo técnico, hasta el año 2015, estará por debajo del límite de 2.5×10^{-9} .

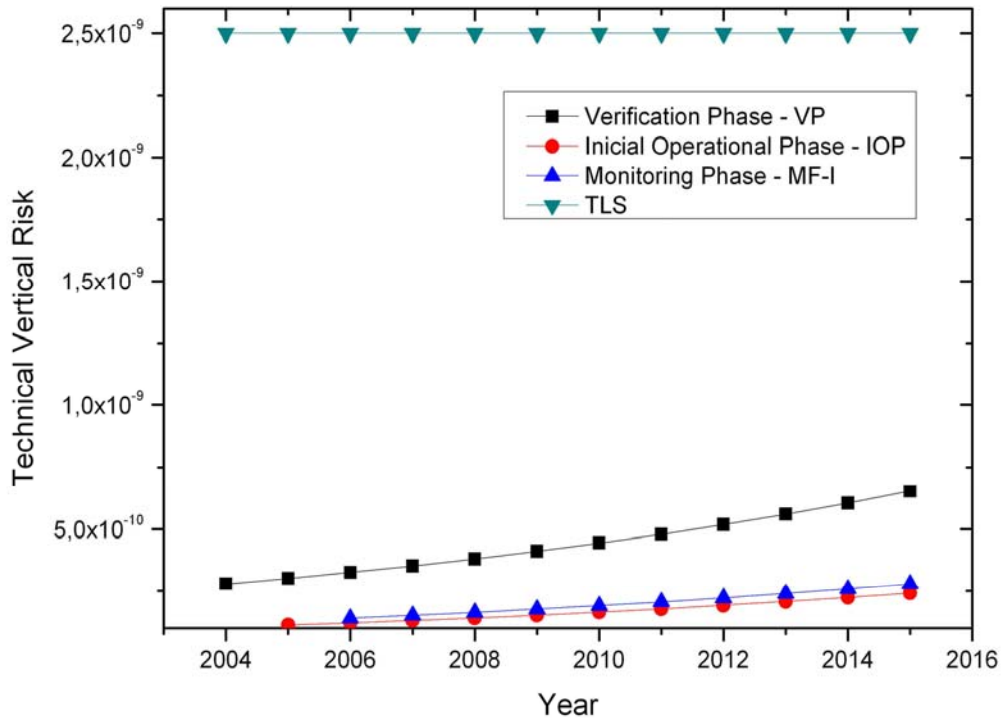


Fig 1. Pronóstico del riesgo técnico de colisión (La Habana, Centroamérica y Kingston)

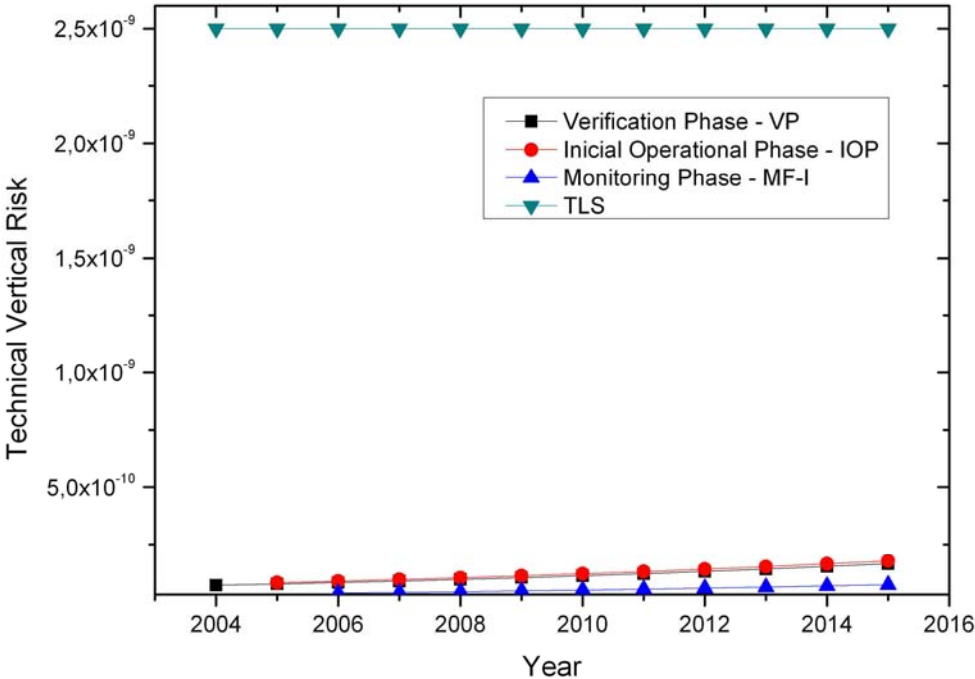


Fig 2. Pronóstico del riesgo técnico de colisión (Curitiba, Brasilia, Recife y sector Manaus (FIR Amazónica)

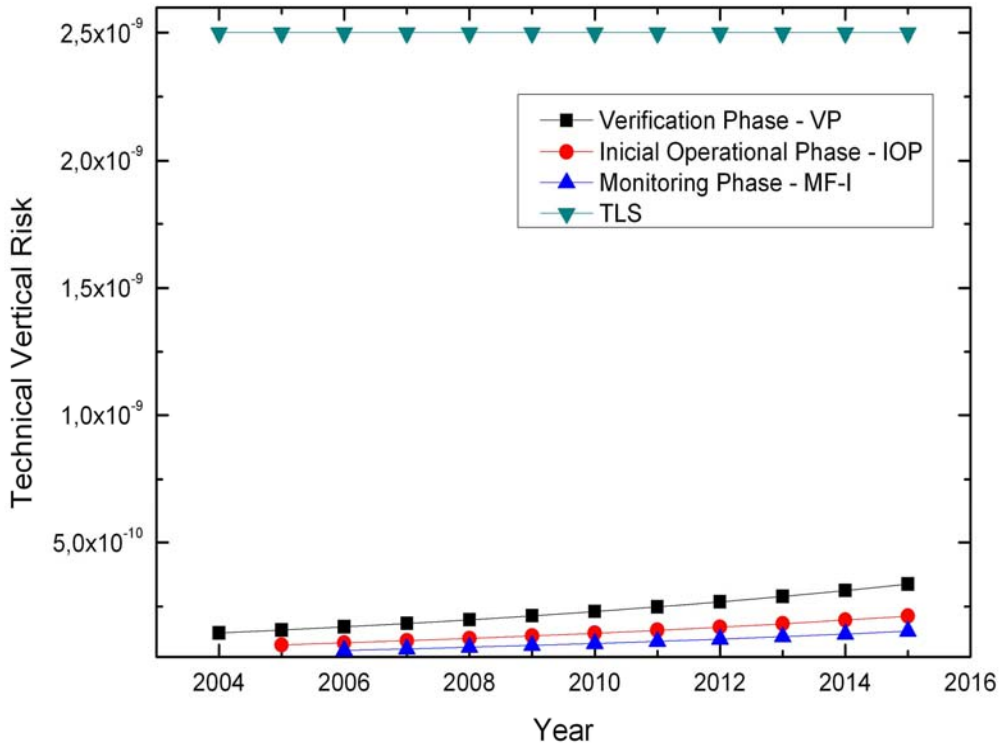


Fig 3. Pronóstico del riesgo técnico de colisión (CAR/SAM)

3.9 Riesgo operacional

3.9.1 El CRM para el riesgo operacional fue desarrollado en relación a la implantación de la RVSM en las Regiones CARSAM, de manera que refleja ciertas características operacionales de las Regiones CAR/SAM que no comparten otros espacios aéreos.

3.9.2 Las LHD identificadas en los informes recibidos por la CARSAMMA pueden deberse a procedimientos operacionales, condiciones meteorológicas adversas o procedimientos de emergencia generadas por fallas de los equipos o la presurización, y se pueden dividir en cuatro grupos principales:

- a) errores del ciclo ATC-piloto y autorizaciones incorrectas;
- b) eventos de contingencia de la aeronave;
- c) desviaciones debidas a efectos meteorológicos; y
- d) desviaciones debidas al ACAS.

3.9.3 La definición de los errores según su causa se basó en la clasificación aprobada por el SWG durante la reunión AP/ATM/11, y que aparece en la nota sobre las LHD presentada a esta reunión. Las tablas 9 y 10 que aparecen a continuación muestran las grandes desviaciones (1000 pies o más) consideradas como operacionales y recibidas por la CARSAMMA para la región analizada, cuyos tipos y causas aparecen descritos en la tabla 11. En las tablas 9 y 10, las últimas cuatro columnas se refieren a la cantidad de niveles de vuelo atravesados, n^{nc} , en la misma dirección del flujo (s) y en dirección opuesta (op).

Fecha	Tipo de aeronave	Punto de referencia	FL autorizado	LHD	Tiempo (seg.)		Error	n_s^{nc}	n_{op}^{nc}
					S	Op			
25/5/2005	B738	BEROX	330	-2000	90	0	M	0	0
17/5/2005	A310	ETBOD	340	2000	90	0	M	0	0
1/8/2005	B757	RETAK	350	2000	15	0	M	0	0
1/8/2005	B738	VESKA	330	2000	15	0	M	0	0
1/8/2005	B752	PIGBI	340	2000	15	0	M	0	0
5/8/2005	A300	VESKA	320	4000	15	0	M	0	0
5/8/2005		VESKA	320	4000	15	0	M	0	0
8/8/2005		BEROX	340	2000	15	0	M	0	0
21/8/2005	MD88	LENUK	310	2000	90	0	M	0	0
31/8/2005	B763	IRGUT	340	2000	15	0	M	0	0
8/10/2005	B738	POKAK	360	-2000	90	0	M	0	0
9/10/2005	B752	PIGBI	360	2000	90	0	M	0	0
10/10/2005	B738	PIGBI	370	2000	90	0	M	0	0
10/10/2005	LJ35	ETBOD	400	-5000	0	90	M	0	0
15/10/2005	B752	POKAK	360	-2000	90	0	M	0	0
10/10/2005	LJ35	VESKA	430	-5000	90	0	M	0	0
25/10/2005	A300	VESKA	320	2000	90	0	M	0	0
26/10/2005	IL62	IRGUT	380	-2000	90	0	M	0	0
27/10/2005	LJ35	BEROX	410	-6000	90	0	M	0	0
28/10/2005	B738	VESKA	380	-4000	90	0	M	0	0
1/11/2005	A346	BETIR	360	2000	90	0	M	0	0
4/11/2005	B737	ANSON	390	2000	90	0	M	0	0
24/11/2005	B737	LENOM	330	4000	30	0	I	1	2
24/11/2005	A319	RETAK	380	3000	0	120	I	1	1
4/12/2005	B752	RETAK	360	2000	30	0	I	0	1
	B757	RETAK	310	4000	60	0	M	0	0
TOTAL					1485	210		2	4

Tabla 9. LHD operacionales (1000 pies o más) recibidas por la CARSAMMA de la Región CAR3.

Fecha	Tipo de aeronave	Punto de referencia	FL autorizado	LHD	Tiempo (seg.)		Error	n_s^{nc}	n_{op}^{nc}
					S	Op			
1/4/2005	B732	NELSON	300	1500	420	0	P	0	1
10/4/2005	B707	BLESS	300	2500	60	0	A	0	1
14/4/2005	A343	MLO	390	-2000	90	0	M	0	0
6/5/2005	C650	LIBRA	410	-5000	300	0	A	2	2
22/6/2005			350	2000	90	0	M	0	0
29/6/2005			350	2000	90	0	M	0	0
14/7/2005	LJ35	OIA	360	2000	30	0	M	0	0
27/7/2005		MLO	370	-2000	90	0	M	0	0
28/7/2005		JUICE	270	6000	90	0	M	0	0
10/8/2005	B738	ETANO	400	2000	90	0	M	0	0
13/8/2005	B733	ETANO	340	-2000	90	0	M	0	0
13/8/2005	B737	ETANO	400	-6000	90	0	M	0	0
3/12/2005	C17	PAKON	340	-2000	900	0	M	0	0
15/12/2005	MD82	PIGBY	380	-8000	30	0	I	3	4
16/12/2005	B763	UGURA	370	2000	30	0	M	0	0
17/12/2005	B737	MLO	370	2000	20	0	M	0	0
	A320	ALBER	330	-2000	10	0	I	0	1
TOTAL					2520	0		5	9

Tabla 10: LHD operacionales (1000 pies o más) recibidas por la CARSAMMA de la Región SAM4.

Tipo de Error	Causa de la LHD
A	No se realiza el ascenso/descenso según lo autorizado
I	Error en el ciclo del sistema ATC; (por ejemplo, el piloto entiende incorrectamente el mensaje de autorización, o el ATC emite una autorización incorrecta)
M	Error en el mensaje de transición entre una dependencia ATC y otra
P	Desconocida

Tabla 11. Clasificación de las LHD recibidas

3.9.4 Clasificación de los errores en la evaluación del riesgo

Se clasificó las causas de los errores de grupo, los cuales contribuyen a dos eventos diferentes:

- *Nivelación de la aeronave en un nivel de vuelo incorrecto*

Según las tablas 9 y 10, 43 aeronaves nivelaron en niveles de vuelo incorrectos, sumando 4215 segundos, con un tiempo promedio transcurrido en niveles de vuelo incorrectos de 0.02723 horas y dos de ellas en la dirección opuesta al flujo.

- *Aeronave que asciende/desciende atravesando uno o más niveles de vuelo*

Según las tablas 9 y 10, hubo 20 eventos de cruce de niveles de vuelo sin autorización del ATC, 13 de ellos en la dirección opuesta al flujo.

Todas las desviaciones ocasionadas por efectos meteorológicos no severos (300 pies o más, y menos de 1000 pies) fueron consideradas en la distribución AAD.

Las desviaciones debidas al ACAS (TCAS) fueron clasificadas y analizadas de acuerdo con un modelo específico. Para ello, se desarrolló una distribución compuesta de performance típica y atípica, considerando las desviaciones ACAS, y utilizando el mismo modelo de exponencial cuádruple utilizado en la distribución AAD. En este caso, los datos de performance atípica de la Región NAT fueron reemplazados por las desviaciones ACAS recolectadas en las Regiones CAR/SAM, y se hizo un nuevo ajuste a la función de distribución, $f_{ACAS}^{AAD}(a)$. Se combinó la función de densidad $f_{ACAS}^{AAD}(a)$ con la función de densidad $f^{ASE}(a)$ para generar una función de densidad $f_{ACAS}^{TVE}(z)$ y, finalmente, un estimado de la probabilidad de superposición vertical debida al ACAS, $P_z(S_z)_{ACAS}$.

3.9.5 Determinación de los valores apropiados de los parámetros para cada grupo de errores clasificados

Se hizo los cálculos en forma separada por Región (CAR y SAM) y en conjunto para todo el espacio aéreo CAR/SAM. Para ambos espacios aéreos, se utilizó los mismos datos (Tabla 12) sobre aeronaves que nivelaron en un nivel de vuelo incorrecto n^{ne} , cantidad de niveles de vuelo atravesados sin autorización n^{nc} , y tiempo promedio transcurrido en un nivel de vuelo incorrecto \bar{t}_{ne} . Se asumió una velocidad vertical de ascenso/descenso $\left|\dot{z}_c\right|$ de 10 nudos.

Parámetro	CAR		SAM		CAR/SAM	
	FM-I	IOP	FM-I	IOP	FM-I	IOP
n^{ne}	26	0.0	17	7	43	7
n_{same}^{ne}	24	0.0	17	4	41	4
n_{op}^{ne}	2	0.0	0	3	2	3
n_{same}^{nc}	2	0.0	5	1	7	1
n_{op}^{nc}	4	0.0	9	2	13	2
n^{nc}	6	0.0	14	3	20	3
\bar{t}_t^{ne}	0.0181 1 h	0.0	0.04118 h	0.04246 h	0.02723 h	0.04246 h
\bar{t}_{same}^{ne}	0.0171 9 h	0.0	0.04118 h	0.04583 h	0.02713 h	0.04583 h
\bar{t}_{op}^{ne}	0.0291 7 h	0.0	0.0	0.037963 h	0.02917 h	0.03796 h
t_{same}^{ne}	24.75 min	0.0	42.0 min	11 min	66.75 min	11 min
t_{op}^{ne}	3.50 min	0.0	0.0	6.83 min	3.50 min	6.83 min
t_t^{ne}	28.25 min	0.0	42.0 min	17.83 min	70.25 min	17.83 min
$ \bar{z}_c $	10 kt	10 kt	10 kt	10 kt	10 kt	10 kt

Tabla 12. Datos sobre errores operacionales

La tabla 13 muestra los parámetros para los errores de grupo clasificados de acuerdo con la aplicación para las Regiones CAR/SAM, donde: $P_z^{ne}(1000)$ es la probabilidad de superposición vertical debida a que una aeronave nivela en un nivel de vuelo incorrecto, y $P_z^{nc}(1000)$ es la probabilidad de superposición vertical debida a que una aeronave atraviesa uno o más niveles de vuelo sin autorización del ATC. Los parámetros α^{ne} y α^{nc} se refieren a tasas de error para las aeronaves que nivelan en un nivel de vuelo incorrecto y aeronaves que atraviesan un nivel de vuelo sin autorización del ATC, respectivamente. El producto de $\alpha^{ne} \times \bar{t}^{ne}$ es la proporción de tiempo de vuelo transcurrido en un nivel de vuelo incorrecto.

PARAMETRO	CAR		SAM		CAR/SAM	
	FM-I	IOP	FM-I	IOP	FM-I	IOP
T (horas)	249264.0	200520.0	309264.0	442054.3	558528.0	642574.3
α^{ne}	1.043×10^{-4}	0.0	5.497×10^{-5}	1.584×10^{-5}	7.699×10^{-5}	1.0894×10^{-5}
α_{same}^{ne}	9.628×10^{-5}	0.0	5.497×10^{-5}	9.049×10^{-6}	7.341×10^{-5}	6.2250×10^{-6}
α_{op}^{ne}	8.024×10^{-6}	0.0	0.0	6.787×10^{-6}	3.581×10^{-6}	4.6687×10^{-6}
α^{nc}	2.407×10^{-5}	0.0	4.527×10^{-5}	6.787×10^{-6}	3.581×10^{-5}	4.6687×10^{-6}
α_{same}^{nc}	8.024×10^{-6}	0.0	1.617×10^{-5}	2.262×10^{-6}	1.253×10^{-5}	1.5562×10^{-6}
α_{op}^{nc}	1.605×10^{-5}	0.0	2.910×10^{-5}	4.524×10^{-6}	2.328×10^{-5}	3.1125×10^{-6}
Q_{same}	7.171×10^{-8}	0.0	1.331×10^{-7}	1.037×10^{-7}	4.858×10^{-8}	7.1322×10^{-8}
Q_{op}	1.170×10^{-7}	0.0	0.0	8.587×10^{-8}	5.222×10^{-8}	5.9075×10^{-8}
$Q = \alpha^{ne} \times \bar{t}^{ne}$	1.889×10^{-6}	0.0	2.263×10^{-6}	6.724×10^{-7}	2.096×10^{-6}	4.6255×10^{-6}
$P_z(0)$	0.4095	0.4232	0.3748	0.3987	0.3862	0.4070
$P_z^{ne}(1000)$	7.736×10^{-7}	0.0	8.484×10^{-7}	2.680×10^{-7}	8.097×10^{-7}	1.8825×10^{-7}
$P_z^{ne}(1000)_{same}$	7.141×10^{-7}	0.0	8.484×10^{-7}	1.532×10^{-7}	7.720×10^{-7}	1.0757×10^{-7}
$P_z^{ne}(1000)_{op}$	5.951×10^{-8}	0.0	0.0	1.149×10^{-7}	3.766×10^{-8}	8.0676×10^{-8}
$P_z^{nc}(1000)$	3.239×10^{-8}	0.0	5.651×10^{-8}	8.605×10^{-9}	4.586×10^{-8}	6.0007×10^{-9}
$P_z^{nc}(1000)_{same}$	1.080×10^{-8}	0.0	2.018×10^{-8}	2.868×10^{-9}	1.605×10^{-8}	2.000×10^{-9}
$P_z^{nc}(1000)_{op}$	2.159×10^{-8}	0.0	3.633×10^{-8}	5.737×10^{-9}	2.981×10^{-8}	4.000×10^{-9}
$P_z^{ACAS}(1000)$	7.511×10^{-9}	1.739×10^{-9}	1.668×10^{-9}	9.135×10^{-10}	3.515×10^{-9}	1.1533×10^{-9}

Tabla 13: Parámetros de los grupos de errores operacionales clasificados

3.10 Evaluación de riesgo para las operaciones RVSM en las Regiones CAR/SAM

3.10.1 Esta sección ofrece un estimado del riesgo asociado con todas las causas en relación al uso de la RVSM. Se combinan los valores de los riesgos técnico y operacional para calcular el riesgo total del sistema atribuible a todas las causas.

3.10.2 Se calculó el riesgo de colisión vertical asociado a cada grupo de LHD, en base al Modelo Reich de Riesgo de Colisión. La tabla 14 presenta los valores de riesgo para los modelos resultantes:

- N_{az}^{tec} es el riesgo técnico vertical;
- N_{az}^{ne} es el riesgo vertical debido a que una aeronave nivela en un nivel de vuelo incorrecto;
- N_{az}^{nc} es el riesgo vertical debido a que una aeronave atraviesa un nivel de vuelo sin autorización del ATC;
- N_{az}^{ACAS} es el riesgo vertical debido a avisos del ACAS; y
- N_{az} es el riesgo de colisión vertical debido a todas las causas, o riesgo total.

Riesgo	CAR		SAM		CAR/SAM		TLS
	FM-I	IOP	FM-I	IOP	FM-I	IOP	
N_{az}^{Tec}	1.4×10^{-10}	1.1×10^{-10}	3.6×10^{-11}	8.1×10^{-11}	7.6×10^{-11}	9.8×10^{-11}	5.0×10^{-9}
N_{az}^{ACAS}	1.3×10^{-10}	2.4×10^{-11}	3.4×10^{-11}	1.6×10^{-11}	7.1×10^{-11}	2.0×10^{-11}	
N_{az}^{ne}	2.6×10^{-9}	0.0	8.2×10^{-9}	3.0×10^{-9}	6.1×10^{-9}	1.8×10^{-9}	
N_{az}^{nc}	3.9×10^{-10}	0.0	8.8×10^{-10}	1.2×10^{-10}	6.7×10^{-10}	7.6×10^{-11}	
N_{az}^{Total}	3.3×10^{-9}	1.4×10^{-10}	9.0×10^{-9}	3.2×10^{-9}	6.9×10^{-9}	2.0×10^{-9}	

Tabla 14. Riesgos de colisión en las Regiones CAR/SAM

3.10.3 Como se puede ver, el riesgo total para las Regiones CAR/SAM es mayor al TLS acordado.

3.10.4 Cabe indicar que este riesgo total está muy influenciado por las LHD, la mayoría de ellas generadas por errores en los mensajes de transición entre una dependencia ATC y otra, y errores no ocasionados por la operación de la RVSM sino por procedimientos comunes en la transferencia de aeronaves de una dependencia ATC a otra.

3.10.5 En vista de ello, es necesario seguir monitoreando las LHD para mantenerlas dentro de los límites aceptables.

3.11 Determinación del límite de tiempo que una aeronave puede estar en un nivel de vuelo incorrecto mientras vuela en la misma dirección que otra aeronave en el mismo nivel de vuelo.

3.11.1 La proporción de tiempo que una aeronave se mantiene en un nivel de vuelo incorrecto está definida por el producto de la tasa de error para las aeronaves que nivelan en un nivel de vuelo incorrecto, α^{ne} , y el tiempo promedio que transcurren en el nivel de vuelo incorrecto, \bar{t}_{ne} , es decir, $\alpha^{ne} \times \bar{t}_{ne}$.

3.11.2 Una vez establecido el TLS como el límite para el riesgo total, y manteniendo los valores del riesgo técnico y del riesgo debido a los avisos del ACAS, en base a los datos recolectados, se calcula la proporción máxima de tiempo que la aeronave puede pasar en un nivel

de vuelo incorrecto, la tasa de error y las tolerancias máximas, tal como se muestra en la tabla 15, para una velocidad vertical de ascenso/descenso de 10 nudos.

Parámetros	CAR	SAM	CAR/SAM
<i>Tiempo total de vuelo por año (hr)</i>	249264.0	309264.0	558528.0
$(\alpha^{ne} \times \bar{t}^{ne})_{\max}$	6.626×10^{-7}	6.419×10^{-7}	6.235×10^{-7}
α_{\max}^{ne}	3.659×10^{-5}	1.559×10^{-5}	2.290×10^{-5}
α_{\max}^{nc}	1.943×10^{-4}	1.794×10^{-4}	1.745×10^{-5}
t_{\max}^{ne} (s/año)	594.62	714.64	1253.70
n_{\max}^{nc} (por/año)	48	55	97

Tabla 15. Proporción de tiempo, tasa de error y tolerancias máximas para el cruce de niveles de vuelo sin autorización ATC, y tiempo transcurrido en un nivel de vuelo incorrecto por año.

3.12 Acciones correctivas

3.12.1 Como se puede observar en la tabla 15, y de acuerdo con el tránsito en las Regiones CAR/SAM, se puede tolerar alrededor de 1253 segundos al año por aeronave que nivela en un nivel de vuelo incorrecto, asumiendo que ninguna atraviesa un nivel de vuelo sin autorización del ATC, ni excede el TLS acordado. O, asumiendo que ninguna aeronave nivela en un nivel de vuelo incorrecto, se puede tolerar hasta 97 cruces de niveles de vuelo sin autorización ATC, con una velocidad vertical de ascenso/descenso de 10 nudos, sin exceder el TLS acordado.

3.12.2 En consecuencia, para reducir el riesgo, hay que adoptar acciones correctivas eficaces a fin de reducir el tiempo transcurrido en niveles de vuelo incorrectos y la cantidad de niveles de vuelo atravesados sin autorización del ATC. Es necesario tomar acciones correctivas para disminuir las causas de malos entendidos entre pilotos y controladores y las autorizaciones incorrectas, así como errores en los mensajes de transición entre dependencias ATC.

3.12.3 En base a los datos recolectados en las Regiones CAR/SAM, la mejor acción correctiva sería la eliminación de los errores en los mensajes de transición entre dependencias ATC.

3.13 Riesgo total después de la adopción de medidas correctivas

3.13.1 Las medidas correctivas apropiadas darán como resultado un tiempo máximo en niveles de vuelo incorrectos para que el riesgo de colisión no exceda el TLS. Si excluimos del análisis las LHD tipo M, el resultado será el que se muestra a continuación.

PARAMETRO	CAR	SAM	CAR/SAM
n^{ne}	3	5	8
n_{same}^{ne}	2	5	7
n_{op}^{ne}	1	0	1
n_{same}^{nc}	2	5	7
n_{op}^{nc}	4	9	13
n^{nc}	6	14	20
\bar{t}_t^{ne} (hr)	0.01667	0.04555	0.03472
\bar{t}_{same}^{ne} (hr)	0.00833	0.04555	0.03492
\bar{t}_{op}^{ne} (hr)	0.03333	0.0	0.03333
t_{same}^{ne} (min)	1.0	13.6667	14.6667
t_{op}^{ne} (min)	2.0	0.0	2.0
t_t^{ne} (min)	3.0	13.6667	16.6667
$\left \frac{\bar{z}}{z_c} \right $ (kt)	10	10	10

Tabla 16. Datos sobre errores operacionales, excluyendo el error tipo M

PARAMETRO	CAR	SAM	CAR/SAM
T (horas)	2 4 9 2 6 4 . 0	3 0 9 2 6 4 . 0	5 5 8 5 2 8 . 0
α^{ne}	1.204×10^{-5}	1.617×10^{-5}	1.432×10^{-5}
α_{same}^{ne}	8.024×10^{-6}	1.617×10^{-5}	1.253×10^{-5}
α_{op}^{ne}	4.012×10^{-6}	0.0	1.790×10^{-6}
α^{nc}	2.407×10^{-5}	4.527×10^{-5}	3.581×10^{-5}
α_{same}^{nc}	8.024×10^{-6}	1.617×10^{-5}	1.253×10^{-5}
α_{op}^{nc}	1.605×10^{-5}	2.910×10^{-5}	2.328×10^{-5}
Q_{same}	3.343×10^{-8}	1.473×10^{-7}	6.252×10^{-8}
Q_{op}	1.337×10^{-7}	0.0	5.968×10^{-8}
$Q = \alpha^{ne} \times \bar{t}^{ne}$	2.059×10^{-7}	7.365×10^{-7}	4.973×10^{-7}
$P_z(0)$	0.4095	0.3748	0.3862
$P_z^{ne}(1000)$	8.215×10^{-8}	2.761×10^{-7}	1.921×10^{-7}
$P_z^{ne}(1000)_{same}$	5.477×10^{-8}	2.761×10^{-7}	1.681×10^{-7}
$P_z^{ne}(1000)_{op}$	2.738×10^{-8}	0.0	2.401×10^{-8}
$P_z^{nc}(1000)$	3.239×10^{-8}	5.651×10^{-8}	4.586×10^{-8}
$P_z^{nc}(1000)_{same}$	1.080×10^{-8}	2.018×10^{-8}	1.605×10^{-8}
$P_z^{nc}(1000)_{op}$	2.159×10^{-8}	3.633×10^{-8}	2.981×10^{-8}
$P_z^{ACAS}(1000)$	7.511×10^{-9}	1.668×10^{-9}	3.515×10^{-9}

Tabla 17. Parámetros de los errores operacionales de grupo clasificados, excluyendo el error tipo M

Riesgos de colisión	CAR/SAM	TLS
N_{az}^{Tec}	7.6×10^{-11}	5.0×10^{-9}
N_{az}^{ACAS}	7.1×10^{-11}	
N_{az}^{ne}	1.6×10^{-9}	
N_{az}^{nc}	6.7×10^{-10}	
N_{az}^{Total}	2.4×10^{-9}	

Tabla 18. Riesgos de colisión para las Regiones CAR/SAM luego de la adopción de acciones correctivas

3.13.2 Como se puede ver en las tablas anteriores, si se toma acciones correctivas, el estimado del riesgo total atribuible a todas las causas relacionadas con el uso de la RVSM en las Regiones CAR/SAM está por debajo del TLS.

4. Resultados y conclusiones

4.1 Esta nota ofrece estimados del riesgo técnico, operacional y total para las operaciones RVSM en el espacio aéreo de las Regiones CAR/SAM.

4.2 Como se puede observar de los valores arriba indicados, el riesgo técnico estimado para la implantación RVSM combinada es de 7.6×10^{-11} . Este estimado satisface el valor del TLS acordado de no más de 2.5×10^{-9} accidentes fatales por hora de vuelo debido a la pérdida de una separación vertical normalizada correctamente establecida de 1000 pies.

4.3 El riesgo total estimado para la RVSM combinada en el espacio aéreo CAR/SAM, con la adopción de medidas correctivas, es de 2.4×10^{-9} . El riesgo total estimado relacionado con la implantación combinada de la RVSM satisface el valor TLS acordado de no más de 5×10^{-9} accidentes fatales por hora de vuelo debido a todas las causas.

4.4 La cantidad total de horas voladas que se ha considerado para el análisis de la evaluación del riesgo para las Regiones CAR/SAM corresponde al total de horas de vuelo de las FIR de La Habana, Centroamérica y Kingston de la Región del Caribe, y de las FIR de Curitiba, Brasíla, Recife y el sector Manaus de la FIR Amazónica en la Región Sudamericana.

4.5 Si bien no se ha conseguido todos los datos sobre desviaciones verticales en las Regiones CAR/SAM a fin de determinar la función de distribución de probabilidades, la combinación de las desviaciones típicas obtenidas de la Región NAT y las desviaciones típicas obtenidas en las Regiones CAR/SAM constituye un enfoque conservador para el cálculo de la probabilidad de superposición vertical. El valor obtenido está por debajo del límite establecido, pero sería conveniente y necesario verificar la probabilidad mediante recolecciones programadas de las desviaciones típicas y atípicas ocurridas en las Regiones CAR/SAM.

4.6 Se hizo una evaluación del aumento del riesgo técnico en las Regiones CAR/SAM debido al aumento del tránsito aéreo, para tasas de crecimiento anual de 8% hasta el año 2015. Los pronósticos indican que el riesgo técnico hasta el año 2015 estará por debajo del TLS de 2.5×10^{-9} .

4.7 Los principales errores operacionales (LHD) recolectados en las Regiones CAR/SAM entre enero y diciembre de 2005 están relacionados con mensajes de transición entre dependencias ATC.

5. Recomendaciones

5.1 Las recomendaciones descritas en esta sección tienen como objetivo contribuir a los esfuerzos requeridos en las nuevas tareas relacionadas con la evaluación del riesgo de colisión con posterioridad a la implantación de la RVSM en las Regiones CAR/SAM.

5.2 Datos sobre el flujo de tránsito – Aproximadamente 40% de los datos recibidos no pudieron ser procesados por diversas razones, desde el desconocimiento de cómo transcribir los datos en las hojas de cálculo, hasta la inconsistencia de los datos. Sería conveniente que, antes de iniciar la recolección de los datos, los Estados revisen los lineamientos desarrollados para este procedimiento, y que fueran aprobados por el RVSM TF.

5.3 Datos sobre desviaciones verticales debidas a errores operacionales - La información sobre estos tipos de eventos se obtiene a través del ATC o de los informes de los pilotos. Lamentablemente, rara vez se reportan datos importantes sobre estas desviaciones, como, por ejemplo, la cantidad de niveles de vuelo atravesados o el tiempo transcurrido en niveles de vuelo no autorizados. Como estas desviaciones son consecuencia de errores o acciones de contingencia, los Estados deberían elaborar un plan de trabajo para obtener estos datos con un alto nivel de confianza e informarlos a la CARSAMMA.

5.4 Que los Estados/Organizaciones Internacionales continúen sus esfuerzos por obtener las LHD y reportarlas a la CARSAMMA.