



OACI

Organización de Aviación Civil Internacional
Oficina Regional Sudamericana

NOTA DE ESTUDIO

GTE/21 — NE/03
04/08/21

Vigésimo Primera Reunión del Grupo de Trabajo de Escrutinio del Grupo Regional de Planificación y Ejecución CAR/SAM (GREPECAS) (GTE/21)

Reunión en Zoom, 23-26 de agosto de 2021

**Cuestión 3 del
Orden del Día:**

Actividades y tareas a reportar al GREPECAS

- a) **Resultados de la evaluación de seguridad operacional (CRM) en el espacio aéreo con separación vertical mínima reducida (RVSM) en 2020**

RIESGO DE COLISIÓN VERTICAL EN LAS REGIONES CAR/SAM EN 2020

(Presentada por CARSAMMA)

RESUMEN EJECUTIVO	
Esta nota de estudio presenta un resumen del cálculo del riesgo de colisión vertical en las Regiones CAR/SAM para 2020, utilizando la metodología CRM.	
Acción:	Supervisión y documentación
Objetivos estratégicos:	<ul style="list-style-type: none">• Seguridad operacional
Referencias:	<ul style="list-style-type: none">• Doc 9574 de la OACI - AN/934. Tercera edición, 2012• Doc 9937 de la OACI - AN/477. Primera edición, 2012• Movimiento de aeronaves en el espacio aéreo RVSM en 2020• Informes de grandes desviaciones de altitud (LHD) en 2020

1. Introducción

1.1 El objetivo de esta nota de estudio es demostrar que los criterios de seguridad operacional definidos en el Doc 9574 y Doc 9937 de la OACI se siguen cumpliendo en el espacio aéreo RVSM de las Regiones CAR/SAM.

1.2 Este documento informa sobre el análisis del riesgo de colisión vertical en el espacio aéreo RVSM en 2020 en las regiones de información de vuelo (FIR) del Caribe y Sudamérica. Para este análisis

se utilizó la metodología de cálculo del modelo de riesgo de colisión vertical (CRM) recomendada por la OACI para el espacio aéreo RVSM.

1.3 El proceso de cálculo del CRM tiene dos insumos: los datos de movimientos de aeronaves en el espacio aéreo RVSM de las FIR analizadas, y las ocurrencias de LHD en estas FIR.

1.4 La validación de las LHD es realizada por CARSAMMA y las FIR involucradas a lo largo del año, lo cual permite una mejor distribución del trabajo de análisis. En el caso de los archivos de movimientos de aeronaves en el espacio aéreo RVSM, el trabajo de depuración se concentra al inicio del año, ya que es en ese momento del año en curso que todos los archivos son enviados. Por este motivo, todos los miembros de CARSAMMA son asignados al trabajo de depuración de estos archivos, ya que la mayoría de los archivos recibidos no siguen los ejemplos planteados por esta Agencia, requiriendo tiempo y esfuerzo para utilizar al menos el 85% de la información enviada.

1.5 Sin embargo, debido a la pandemia del COVID-19, que generó una reducción significativa de las actividades de transporte aéreo y la adopción de diversas restricciones en todas las regiones, como prohibiciones de viaje, restricciones de viaje, cuarentenas obligatorias, etc., los movimientos aéreos disminuyeron significativamente, lo que llevó a la ausencia de datos estadísticamente significativos para el año 2020. Por ello, excepcionalmente para el año 2020, en la reunión virtual GTE20, se solicitó utilizar el promedio de los movimientos ocurridos en los meses de enero a diciembre, lo cual fue aceptado e implementado gracias a la entrega de estos datos por parte de las FIR de nuestras regiones.

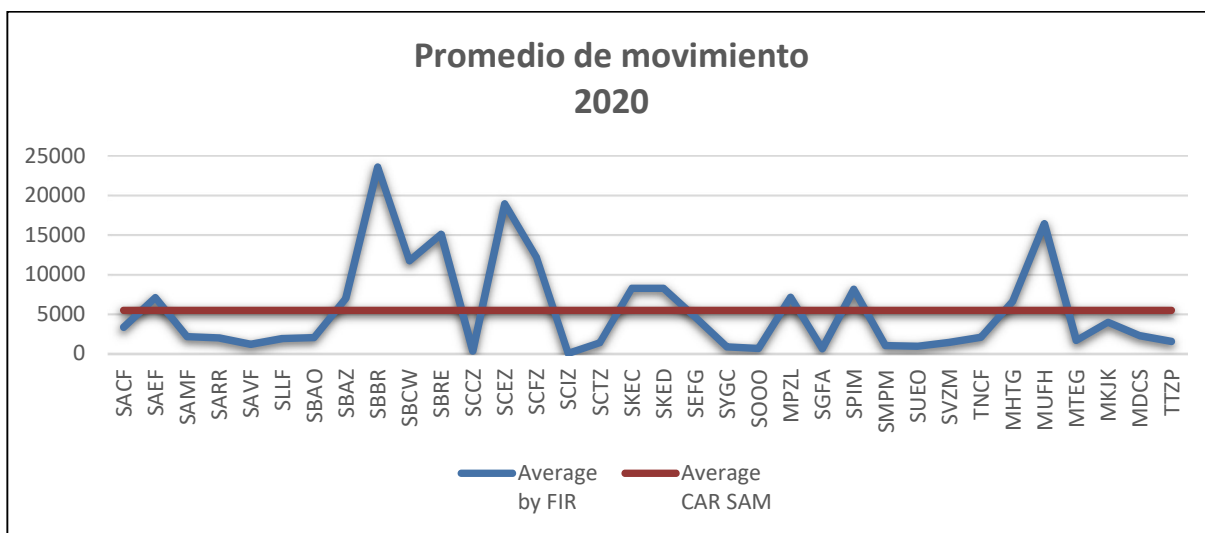


Tabla 1

Nota 1: No se pudo considerar los movimientos RVSM de una FIR, debido a que CARSAMMA no recibió los datos. Fue la FIR SMPM.

Nota 2: Los movimientos RVSM de SKED\SKEC tardaron mucho tiempo en ser depurados por nuestro equipo, debido a la ausencia de varios datos, como el punto de referencia de entrada/salida, las aerovías y la hora de paso.

Nota 3: Cuando se compara los movimientos RVSM de 2020 con los de 2019, el tráfico regular se redujo en un 46.25% específicamente en nuestras Regiones, como se puede ver en la Tabla 2.

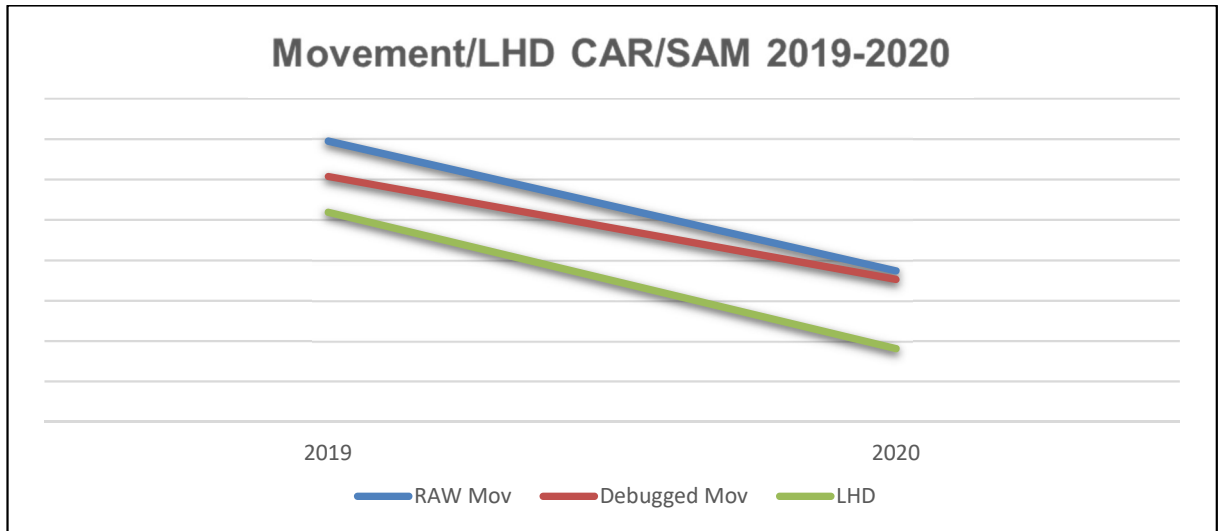


Tabla 2

2. Discusión

2.1 Según el Doc 9574 y el Doc 9937, la evaluación es necesaria para garantizar que las operaciones en el espacio aéreo RVSM no generen un aumento del riesgo de colisión, de modo que el riesgo vertical total no supere los niveles deseados de seguridad operacional establecidos.

2.2 Para la evaluación cuantitativa, se utiliza el modelo de riesgo de colisión vertical de Reich, recomendado por la OACI. Se trata de un modelo de fundamentos matemáticos intensivos que, tras analizar los movimientos de aeronaves (hojas de cálculo que contienen datos sobre los vuelos realizados en el espacio aéreo RVSM), calcula el nivel de seguridad operacional (TLS) de la región de información de vuelo objeto de estudio.

2.3 La evaluación de seguridad operacional de la RVSM abarca un período de doce meses consecutivos.

2.4 Se debe prestar especial atención para asegurarse que:

- a) Todas las aeronaves que operan en el espacio aéreo de separación vertical mínima reducida tengan la certificación RVSM;
- b) La certificación de la aeronave esté al día;
- c) Se siga cumpliendo el nivel deseado de seguridad operacional (TLS) de 5×10^{-9} accidentes mortales por hora de vuelo (para el seguimiento de una muestra representativa de aeronaves);
- d) El uso de la RVSM no aumente el nivel de riesgo debido a errores operacionales y procedimientos de contingencia;
- e) Haya evidencia de la estabilidad del sistema altimétrico de la aeronave (ASE);

- f) La introducción de la RVSM no aumente el nivel de riesgo debido a errores operacionales y contingencias de vuelo, de conformidad con un nivel de confianza estadística predefinido;
- g) Se adopte medidas de seguridad adicionales eficaces para reducir el riesgo de colisión debido a errores operacionales y procedimientos de contingencia y cumplir las metas de seguridad operacional;
- h) Los procedimientos de control de tránsito aéreo sigan siendo eficaces.

3. El espacio aéreo de las Regiones CAR/SAM

3.1 El espacio aéreo de las Regiones CAR/SAM cubre una extensa zona que se extiende desde el Golfo de México hasta la Patagonia, abarcando 34 regiones de información de vuelo (FIR) de los países que figuran en la tabla a continuación. Cada parte del espacio aéreo fue tratada como un sistema aislado, con sus propios parámetros estadísticos.



Tabla 3 – Espacio aéreo de las Regiones CAR/SAM

3.2 Recolección de datos de tráfico – La muestra utilizada para evaluar la frecuencia de paso y los parámetros físicos y dinámicos de las aeronaves típicas con el fin de determinar el riesgo de colisión fue recolectada entre el 1 y el 31 de diciembre de 2020 en las 33 FIR de las Regiones CAR/SAM. En la muestra recolectada, se recibió 186,802 líneas de registros de vuelo de las FIR arriba mencionadas. Todos los registros fueron depurados, quedando 176,379 líneas de registros de vuelo validados en el proceso. Sin embargo, todos los datos enviados fueron utilizados en otro producto de CARSAMMA, a saber, la auditoría del espacio aéreo RVSM. Al igual que en años anteriores, gran parte de los datos recibidos de algunos Estados no pudo ser utilizada en el CRM por diversos motivos, como errores en las horas de entrada y salida del espacio aéreo RVSM (igual o menor tiempo de entrada del vuelo), falta de información completa para identificar y localizar las rutas fijas y las notificaciones, o incluso el envío de datos fuera de plazo.

3.3 En cuanto a la ocurrencia de desviaciones verticales (LHD) en las Regiones CAR/SAM, CARSAMMA recibió un total de 433 informes de LHD en 2020. Tras el análisis y validación basados en los parámetros del CRM, 356 de estas LHD fueron consideradas válidas en las Regiones CAR/SAM.

3.4 Sólo a modo de comparación, mostramos a continuación una tabla con los eventos LHD divididos entre la cantidad de movimientos de aeronaves por FIR, obteniendo un promedio de 0.002 para las Regiones CAR/SAM.

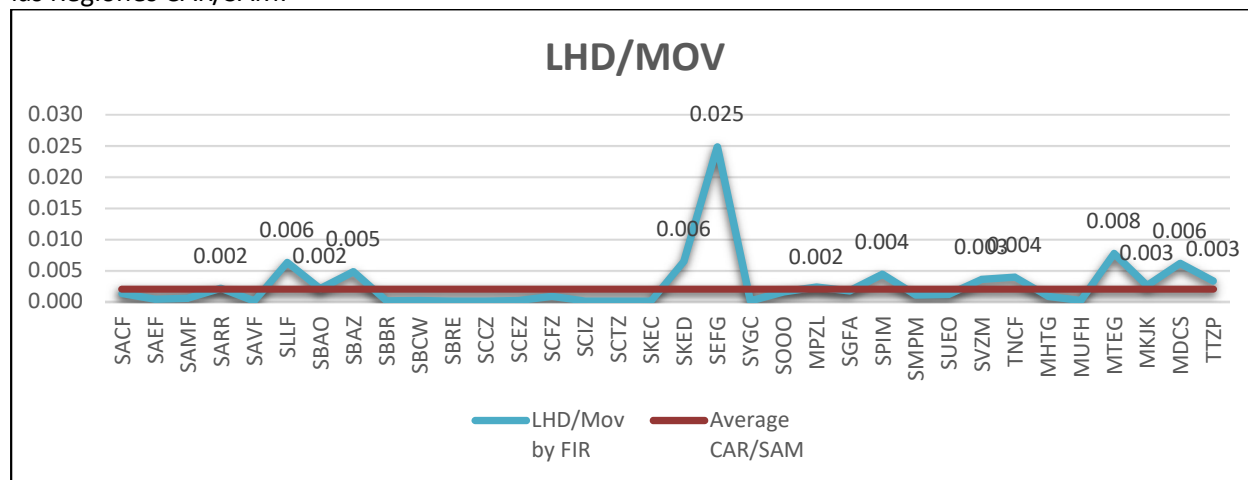


Tabla 4

4. Recolección de datos sobre movimientos de aeronaves

4.1 Los datos de la muestra para estimar la frecuencia de paso y los parámetros físicos, así como la dinámica de una aeronave típica para fines de la evaluación del riesgo de colisión vertical fueron recogidos del 1 de diciembre al 31 de diciembre de 2020.

4.2 Los datos sobre movimientos de aeronaves recibidos de las 33 FIR de las Regiones CAR/SAM fueron procesados y utilizados para evaluar la seguridad operacional del espacio aéreo RVSM, según la recomendación de la OACI.

4.3 Una vez recibidos los datos de movimientos de aeronaves, CARSAMMA procedió a su filtrado y procesamiento. La Tabla 5 muestra los resultados y enumera las aeronaves que volaron en las FIR de las Regiones CAR/SAM, con sus dimensiones, cantidad y porcentaje de vuelos, incluyendo un avión típico, utilizado como una dimensión del modelo de cálculo del riesgo vertical.

Tipo de aeronave	Longitud	Envergadura	Altura	# vuelos	% aeronaves
B738	0.021328	0.018521	0.00674	33631	21.42
A320	0.020286	0.018413	0.00635	28009	17.84
A20N	0.020286	0.018413	0,00635	10065	6.41
B763	0.029644	0.025702	0.00755	8453	5.38
A321	0.024033	0.018413	0.00635	8204	5.22
A319	0.018272	0.018413	0.00635	6157	3.92

E195	0.019568	0.015507	0.00570	5380	3.43
B789	0.034017	0.034017	0.00917	4494	2.86
B737	0.018898	0.018521	0.00674	3554	2.26
A332	0.031749	0.032559	0.00939	3503	2.23
B77W	0.034395	0.034989	0,01004	3001	1.91
E190	0.019568	0.015507	0.00570	2905	1.85
B788	0.030778	0.032397	0,00917	2830	1.80
B752	0.025551	0.020788	0,00732	2017	1.28
B772	0.034395	0.032883	0,00998	1992	1.27
Otros				32835	20.92
Típico	0.029081	0.027894	0.008577	157030	100.00%

Tabla 5 – Aeronaves que volaron en espacio aéreo RVSM en las FIR de las Regiones CAR/SAM

5. Evaluación de seguridad del riesgo de colisión (CRM)

5.1 Esta sección analiza los resultados de la evaluación del riesgo de colisión en el espacio aéreo RVSM de las FIR CAR/SAM.

5.2 Se ha utilizado la metodología de riesgo de colisión (CRM) internacionalmente aceptada para la evaluación de la seguridad del espacio aéreo RVSM en el Caribe y Sudamérica.

5.3 Estimado de los parámetros CRM:

$$N_{ax} = 2P_y(0)P_z(0) \left(\frac{|\dot{x}(m)|}{2\lambda_x} + \frac{|\dot{y}_0|}{2\lambda_y} + \frac{|\dot{z}_0|}{2\lambda_z} \right) \frac{2\lambda_x}{|\dot{x}(m)|} \frac{1}{T} \sum_s E(s)Q(s)$$

Figura 1 – Fórmula general del modelo de riesgo de colisión REICH

5.4 La Tabla 6 resume el material y la cantidad de la fuente utilizada para estimar los valores de cada parámetro del modelo de riesgo de colisión (CRM) internacionalmente aceptado y aplicado para la evaluación de la seguridad del espacio aéreo RVSM.

λ_x	Mean length of the aircraft sample	0.029081 nm
λ_v	Mean wingspan of the aircraft sample	0.027894nm
λ_z	Mean height of the aircraft sample	0.008577 nm
$ V $	Mean speed of the aircraft sample (module)	447.656 kt
$ \Delta V $	Relative same-direction speed of the aircraft sample (module)	31.57 kt
$ \dot{y} $	Mean speed relative to the transverse approach of the aircraft sample (module)	13 kt
$ \dot{z} $	Mean relative vertical speed during loss of vertical separation of the aircraft sample (module)	1.5 kt
$P_z(0)$	Probability that two aircraft with the same nominal level overlap laterally in the aircraft sample	0.298265

Tabla 6

5.5 Especificaciones de rendimiento del sistema

5.5.1 Frecuencia de paso, N_x – Este es el parámetro del espacio aéreo en el que la aeronave está expuesta al riesgo de colisión vertical. La frecuencia de paso equivalente fue estimada teniendo en cuenta las aeronaves que vuelan en la misma dirección y en direcciones opuestas, como se muestra en la Tabla 7.

Frecuencia de paso CAR/SAM	Misma dirección	Dirección opuesta	Equivalente
	0.009937	0.083167	0.058727

Tabla 7

5.5.2 Los valores están relacionados con el sistema del espacio aéreo CAR/SAM. Hay que tener en cuenta que la frecuencia de paso equivalente que aparece en la Tabla 7 (0.058727) se ha calculado a partir de las horas de vuelo en las 33 FIR de las Regiones CAR/SAM.

5.5.3 El valor estimado de $P_z(1000)$ utilizado en nuestros cálculos fue 2.46×10^{-8} .

6. Estimación del riesgo de colisión

6.1 La Tabla 8 contiene los conjuntos de parámetros físicos y dinámicos estimados en el perfil de riesgo, así como el seguimiento de los principales parámetros para las FIR de las Regiones CAR/SAM. Todos los parámetros fueron determinados en función del espacio aéreo de cada Región que se considera como un sistema aislado.

CAR/SAM	Ez (misma dirección)	Ez (dirección opuesta)	Ez	ΔV (misma dirección)	ΔV (dirección opuesta)	V
	0.08277	0.02079	0.04113	31.5762	886.344	447.656 kt

Tabla 8

6.2 La Tabla 9 muestra el riesgo de colisión consolidado en las FIR CAR/SAM para 2020, mostrando el riesgo de colisión vertical estimado por FIR. Hay que entender que las FIR que presentan un informe LHD sufren mayor riesgo, pero, frecuentemente, es debido a fallas en las FIR adyacentes a su espacio aéreo.

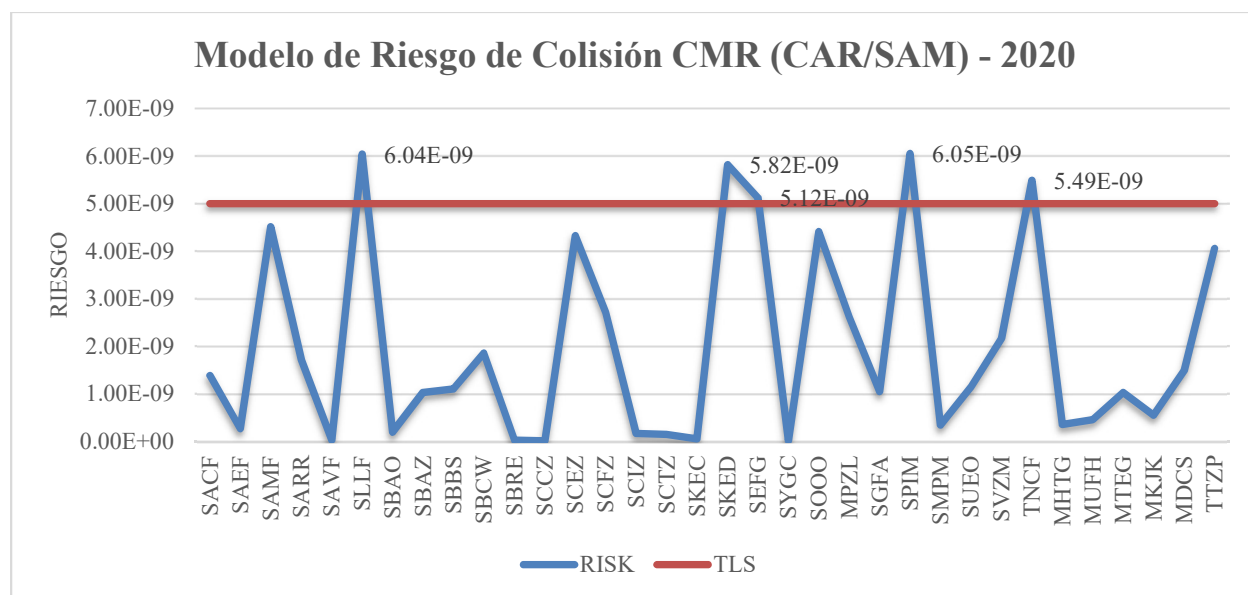


Tabla 9

7. Conclusiones de la evaluación de seguridad (CRM)

7.1 Se estimó el riesgo a partir de los valores para las FIR presentados en la Tabla 10, los cuales se obtuvieron tras procesar todos los datos recibidos, compilados y procesados en el soporte lógico específico del CRM.

ESTADO	FIR	Riesgo vertical
ARGENTINA	CORDOBA - SACF	1.38E-09
	EZEIZA - SAEF	0.26E-09
	MENDOZA - SAMF	4.51E-09

	RESISTENCIA - SARR	1.71E-09
	COMODORO - SAVF	0.24E-09
BOLIVIA	LAPAZ - SLLF	6.04E-09
BRASIL	ATLANTICO - SBAO	0.19E-09
	AMAZONICA - SBAZ	1.02E-09
	BRASILIA - SBBS	1.10E-09
	CURITIBA - SBCW	1.86E-09
	RECIFE - SBRE	0.20E-09
CHILE	PUNTA ARENAS - SCCZ	0.12E-09
	SANTIAGO - SCEZ	4.33E-09
	ANTOFAGASTA - SCFZ	2.71E-09
	PASCUA - SCIZ	0.16E-09
	PUERTO MONTT - SCTZ	0.14E-09
COLOMBIA	BARRANQUILLA - SKEC	0.46E-09
	BOGOTA - SKED	5.82E-09
ECUADOR	GUAYAQUIL - SEFG	5.12E-09
GUYANA	GEORGETOWN - SYGC	0.11E-09
GUYANA FRANCESA	CAYENA - SOOO	4.41E-09
PANAMA	PANAMA - MPZL	2.62E-09
PARAGUAY	ASUNCION - SGFA	1.05E-09
PERU	LIMA - SPIM	6.05E-09
SURINAM	PARAMARIBO - SMPM	0.34E-09
URUGUAY	MONTEVIDEO - SUEO	1.14E-09
VENEZUELA	MAIQUETIA - SVZM	2.17E-09
ANTILLAS NEERLANDESAS	CURACAO - TNCF	5.49E-09
AMERICA CENTRAL	CENAMER - MHTG	0.35E-09
CUBA	HABANA - MUFH	0.45E-09
HAITI	PORT AU PRINCE - MTEG	1.02E-09
JAMAICA	KINGSTON - MKJK	0.54E-09
REPUBLICA DOMINICANA	SANTO DOMINGO - MDCS	1.49E-09
TRINIDAD Y TOBAGO	PIARCO - TTZP	4.05E-09
TOTAL CAR/SAM		1,78E-09

Tabla 10

7.2 El riesgo técnico de las FIR CAR/SAM cumple con el valor TLS, no superando 2.5×10^{-9} accidentes fatales por hora de vuelo causados por la pérdida de la separación vertical normalizada de 1000 ft y todas las demás causas.

7.3 El riesgo operacional no tiene un límite predefinido, de acuerdo con el Doc 9574 de la OACI.

7.4 El riesgo total estimado para las FIR evaluadas es de 1.78×10^{-9} , por debajo del TLS (5.0×10^{-9}).

8. Acción sugerida

8.1 Se invita a la Reunión a:

- a) tomar nota y revisar el contenido de esta nota de estudio;
- b) compartir experiencias y comentar sobre las acciones de CARSAMMA en relación a este tema; y
- c) utilizar esta información para reducir las LHD y mejorar el nivel de seguridad en el espacio aéreo de las FIR de las Regiones CAR/SAM.

— FIN —