



OACI

Organización de Aviación Civil Internacional
Oficina para Norteamérica, Centroamérica y Caribe

NOTA DE ESTUDIO

GTE/20 — NE/03
09/10/20

Vigésima Reunión del Grupo de Trabajo de Escrutinio (GTE/20) del Grupo Regional de Planificación y Ejecución CAR/SAM (GREPECAS)
En línea, 9 – 11 de noviembre de 2020

Cuestión 3 del Orden del Día: Actividades y tareas a reportar al GREPECAS

RIESGO DE COLISIÓN VERTICAL EN LAS REGIONES CAR/SAM EN 2019

(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 2019, utilizando la metodología CRM.	
Acción:	Las Acciones Sugeridas se encuentran en la Sección 8
Objetivos Estratégicos:	<ul style="list-style-type: none">• Seguridad Operacional
Referencias:	<ul style="list-style-type: none">• ICAO Doc 9574 - Manual sobre una separación vertical mínima de 300 m (1 000 ft) entre FL 290 y FL 410 inclusive, AN/934. tercera edición - 2012• ICAO Doc 9937 - Procedimientos y métodos operacionales para los organismos regionales de vigilancia en relación con el uso de una separación vertical mínima de 300 m (1 000 ft) entre FL 290 y FL 410 inclusive, AN/477. primera edición - 2012• Movimientos de aeronaves en el espacio RVSM en 2019• Reportes de Grandes Desviaciones de Altitudes (LHD) en 2019

1. Introducción

1.1 El propósito de este trabajo es mostrar que los criterios de seguridad operacional definidos en el Doc 9574 y Doc 9937 de la OACI continúan cumpliéndose en el espacio aéreo RVSM CAR/SAM.

1.2 Este documento informa sobre el análisis del riesgo de colisión vertical en el espacio aéreo RVSM en 2019 en las Regiones de información de vuelo (FIR) del Caribe y América del Sur. Para este análisis se utilizó la metodología de cálculo del modelo de riesgo de colisión vertical (CRM), según lo recomendado por la OACI para el espacio aéreo RVSM.

1.3 El proceso de cálculo del CRM involucra básicamente dos entradas: archivos de Movimiento Aéreo RVSM de las FIR estudiadas y ocurrencias de LHD en estas FIR.

1.4 La validación del LHD es realizada por CARSAMMA y las FIR involucradas a lo largo del año, trayendo consigo una mejor distribución del trabajo de análisis. Con los archivos RVSM de Movimientos Aéreos, hay una concentración del trabajo de depuración, ya que todos se entregan a principios del año en curso. Por esta razón, todos los miembros de CARSAMMA están destinados a la labor de depuración de estos archivos, ya que la mayoría de los archivos recopilados no se entregan de acuerdo con los ejemplos solicitados por esta Agencia, requiriendo tiempo y esfuerzo para utilizar al menos el 85% de la información enviada.

1.5 Nótese que tres paquetes de datos de Movimientos Aéreos de las FIR no pudieron ser considerados, ya que les falta una cantidad considerable de información (FIR SAEF, SOOO y MKJK).

1.6 Teniendo en cuenta la información anterior, en los últimos años CARSAMMA se ha ido adaptando de manera proactiva a sus funciones, mejorando su estructura de personal con la inclusión de nuevos empleados, capacitaciones intensivas y la adquisición de herramientas actualizadas para su desarrollo.

2. Análisis

2.1 De acuerdo con el Doc 9574 y Doc 9937, la evaluación es necesaria para asegurar 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 objetivos de seguridad definidos.

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

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

2.4 Se debe prestar especial atención para asegurarse de que:

- i. Todas las aeronaves que operan en un espacio aéreo con una separación vertical mínima reducida están certificadas RVSM;
- ii. La certificación de la aeronave está vigente;
- iii. Se sigue cumpliendo el objetivo del nivel de seguridad (TLS) de 5×10^{-9} accidentes mortales por hora de vuelo (para el seguimiento de una muestra representativa de aeronaves);
- iv. El uso de RVSM no incrementa el nivel de riesgo por errores operacionales y procedimientos de contingencia;
- v. Existe evidencia de la estabilidad del sistema altimétrico de la aeronave (ASE);

- vi. La introducción de RVSM no aumenta el nivel de riesgo por errores operacionales y contingencias de vuelo, de acuerdo con un nivel predefinido de confianza estadística;
- vii. Se adoptan medidas de seguridad adicionales efectivas para reducir el riesgo de colisión debido a errores operacionales y procedimientos de contingencia y cumplir con las metas de seguridad;
- viii. Los procedimientos de control del tránsito aéreo siguen siendo eficaces.

3. Espacio Aéreo CAR/SAM

3.1 El espacio aéreo CAR/SAM cubre un área amplia que se extiende desde el Golfo de México hasta la Patagonia, abarcando 34 regiones de información de vuelo (FIR) de los siguientes países: Antigua, Antillas Holandesas, Argentina, Barbados, Barbuda, Belice, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica, Cuba, Dominica, El Salvador, Ecuador, Granada, Guadalupe, Guatemala, Guyana, Guayana Francesa, Haití, Honduras, Jamaica, Martinica, Nevis, Nicaragua, Panamá, Paraguay, Perú, República Dominicana, San Bartolomé, St. Kitts, Santa Lucía, San Vicente, Surinam, Trinidad y Tobago, Uruguay y Venezuela.

3.2 Cada parte del espacio aéreo fue tratada como un sistema aislado, con sus propios parámetros estadísticos.

3.3 Recopilación de datos de tráfico - la muestra utilizada para evaluar la frecuencia de paso y los parámetros físicos y dinámicos de aeronaves típicas para determinar el riesgo de colisión se recopiló del 1 de diciembre al 31 de diciembre de 2019 en las 31 FIR CAR/SAM. En la muestra recolectada se recibieron **347,537** líneas de registros de vuelo de las FIR antes mencionadas. Todos los registros fueron depurados, dejando **303,760** líneas de registros de vuelo validados en el proceso. Sin embargo, todos los datos enviados se utilizaron en otro producto de CARSAMMA, a saber, la auditoría del espacio aéreo RVSM. Como en años anteriores, una gran parte de los datos recibidos de algunos Estados no pudieron ser utilizados en el CRM por diversas razones, incluyendo errores en los tiempos de entrada y salida del espacio aéreo RVSM (menor o igual tiempo de entrada de vuelo), falta de información completa para identificar y localizar rutas fijas e informes, o incluso enviar datos más allá de la fecha límite.

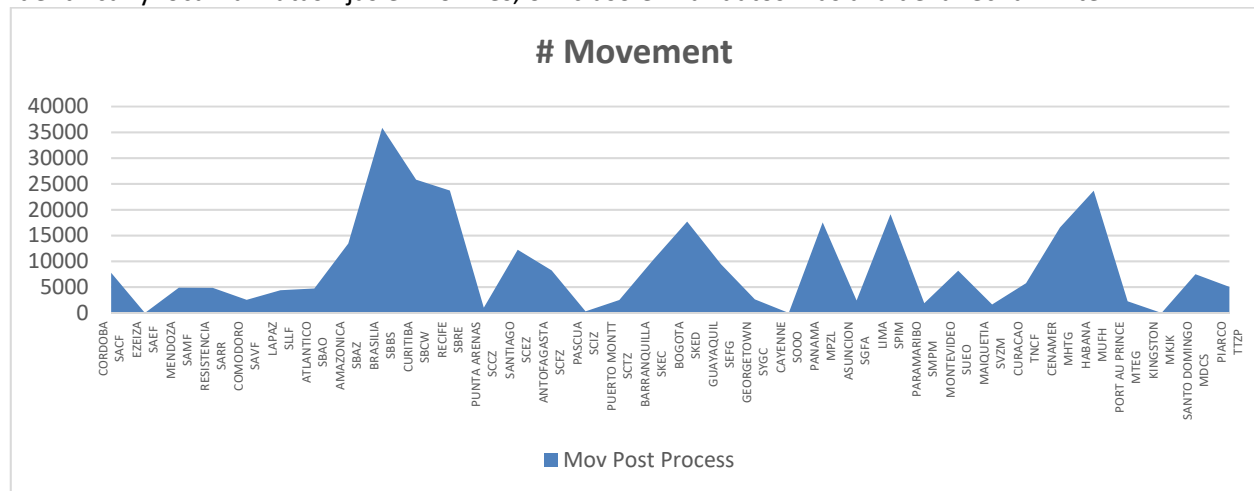


Tabla 1

3.4 Con respecto a la ocurrencia de desviaciones verticales (LHD) en las Regiones CAR/SAM, **CARSAMMA recibió un total de 1039 informes de LHD en 2019. Luego del análisis y validación con base en los parámetros de Riesgo del CRM, 965 de estos LHD fueron considerados válidos en las Regiones CAR/SAM.**

3.5 Por lo tanto, los LHD analizados de acuerdo con los parámetros de CRM fueron los siguientes:

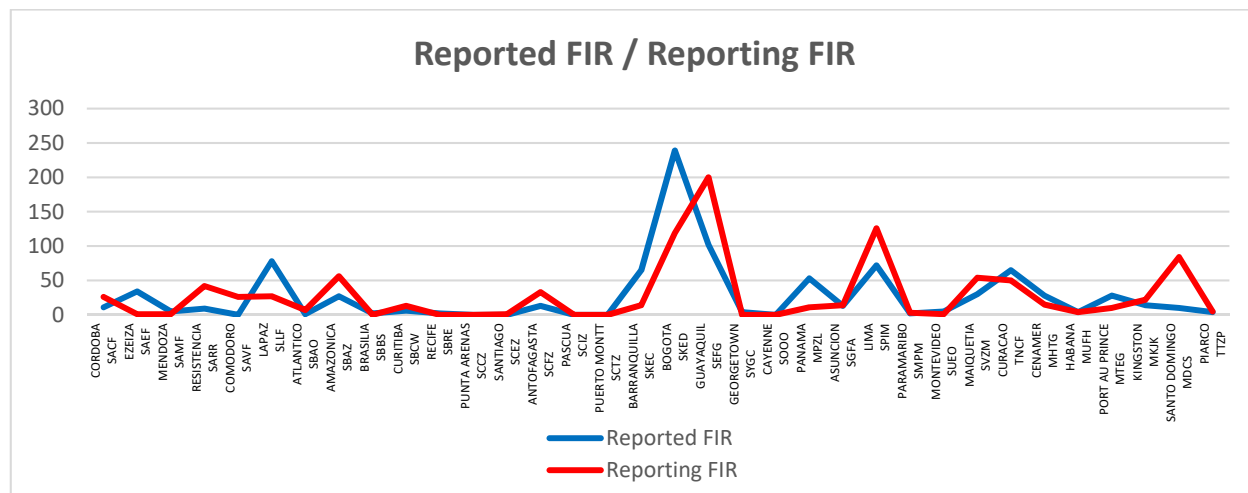


Tabla 2

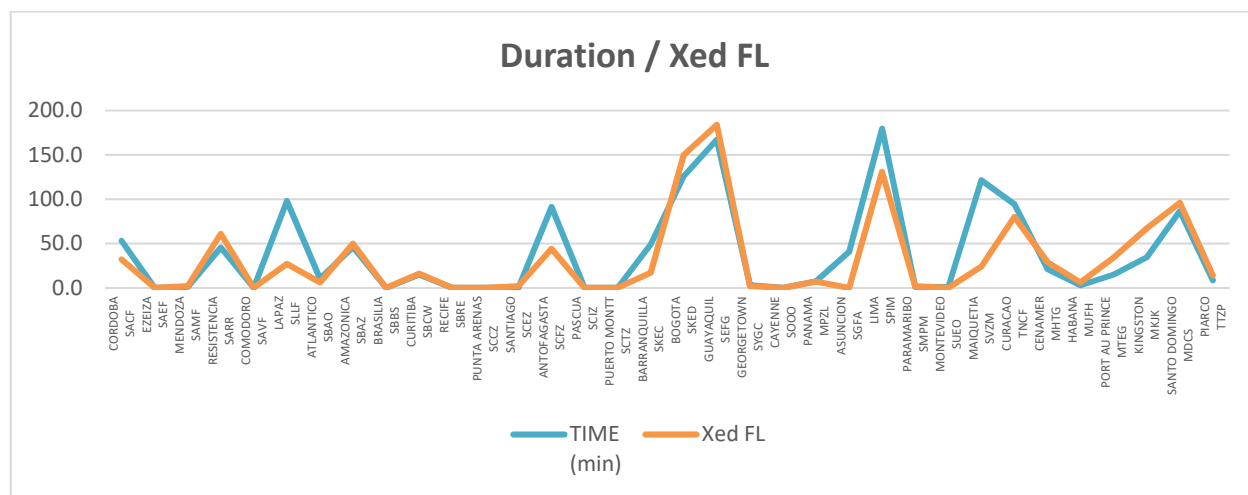


Tabla 3

4. Recopilación de datos de movimiento de aeronaves

4.1 Los datos de muestra para estimar la frecuencia de paso y los parámetros físicos, así como la dinámica de una aeronave típica para la evaluación del riesgo de colisión vertical, se recopilaron del 1 al 31 de diciembre de 2019.

4.2 Los datos de movimiento de aeronaves recibidos de las 31 FIR CAR/SAM fueron procesados y utilizados para evaluar la seguridad operacional del espacio aéreo RVSM, según lo recomendado por la OACI.

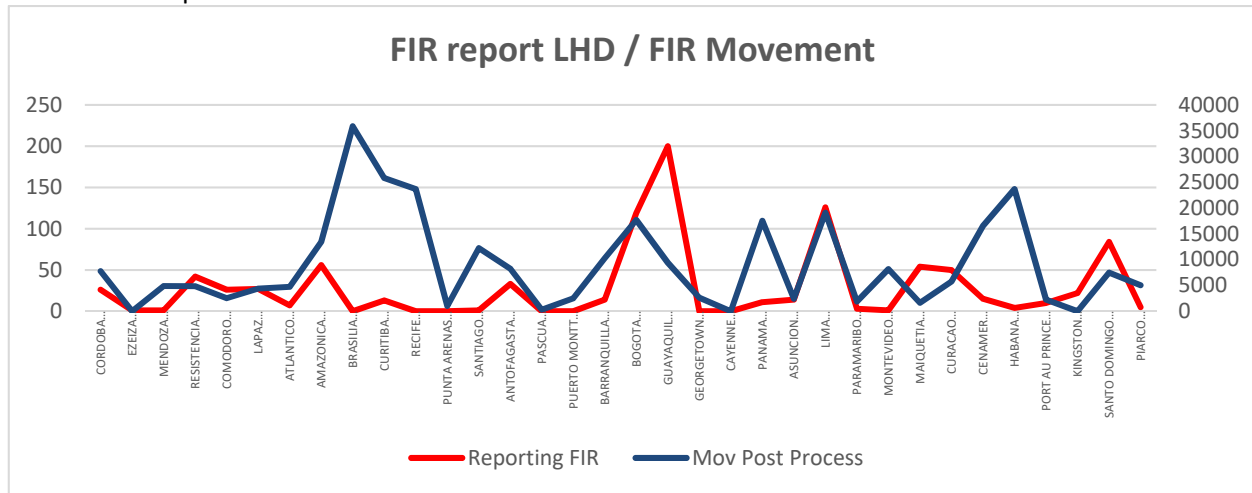


Tabla 4

4.3 Al recibir los datos de movimiento de la aeronave, CARSAMMA procedió a su filtrado y procesamiento. La Tabla 5 muestra los resultados y enumera las aeronaves que pasaron por las FIR CAR/SAM, con sus dimensiones, número y porcentaje de vuelos, incluyendo un avión típico, utilizado como dimensión del modelo de cálculo de riesgo vertical.

Type ACFT	Length	Wingspan	Height	# Flights	% ACFT
B738	0.021328	0.018521	0.006749	77,372	25.47
A320	0.020286	0.018413	0.00635	74,055	24.37
A319	0.018272	0.018413	0.00635	20,266	6.67
A321	0.024033	0.018413	0.00635	18,361	6.04
B763	0.029644	0.025702	0.007559	16,884	5.55
B737	0.018898	0.018521	0.006749	16,607	5.46
E190	0.019568	0.015507	0.005707	14,470	4.76
A332	0.031749	0.032559	0.009395	11,231	3.69
E195	0.019568	0.015507	0.005707	10,109	3.32
B789	0.034017	0.034017	0.009179	8,229	2.70
Others				36,176	11.97%
Typical	0.023736	0.021557	0.00701	303,760	100.00%

Tabla 5 - Aeronaves que volaron RVSM en FIR CAR/SAM (Las medidas de dimensiones se expresan en millas náuticas)

5. Evaluación de la 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 La metodología de riesgo de colisión (CRM) aceptada internacionalmente se ha utilizado para la evaluación de la seguridad operacional del espacio aéreo RVSM en el Caribe y América del Sur.

5.3 Estimaciones del parámetro 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 de REICH

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

Parameter	Description	Values
λ_x	Mean length of the aircraft sample	0.023736 nm
λ_y	Mean wingspan of the aircraft sample	0.021557 nm
λ_z	Mean height of the aircraft sample	0.00701nm
$ \dot{V} $	Mean speed of the aircraft sample (module)	458.763 kt
$ \Delta\dot{V} $	Relative same-direction speed of the aircraft sample (module)	12.33 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 se estimó teniendo en cuenta las aeronaves que vuelan en la misma dirección y en direcciones opuestas, como se muestra en la Tabla 7.

CAR/SAM Pass frequency	Same direction	Opposite direction	Equivalent	Hours of flight
	0.00858	0.04518	0.067844	1,420,564

Tabla 7

5.5.2 Los valores están relacionados con el sistema de espacio aéreo CAR/SAM. Cabe señalar que la frecuencia de paso equivalente que se muestra en la Tabla 7 (0.067844) se calculó con base en las horas de vuelo en las 31 FIR CAR/SAM.

5.5.3 El valor estimado de P_z (1000) utilizado en nuestros cálculos fue $2,46 \times 10^{-8}$.

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 CAR/SAM. Todos los parámetros se determinaron con base en el espacio aéreo de cada Región que se considera un sistema aislado.

CAR/SAM	E (same)	E_z (opposite)	E_z	ΔV (same)	ΔV (opposite)	V
	0.015975	0.011294	0.052193	12.0100	428.7624	458.763 kt

Tabla 8

6.2 La Tabla 9 muestra el riesgo de colisión consolidado en las FIR CAR/SAM para 2019, mostrando el riesgo de colisión vertical estimado por FIR. Debe entenderse que las FIR que presentan un informe LHD tienen un riesgo mayor, pero frecuentemente debido a fallas en las FIR adyacentes a su espacio aéreo.

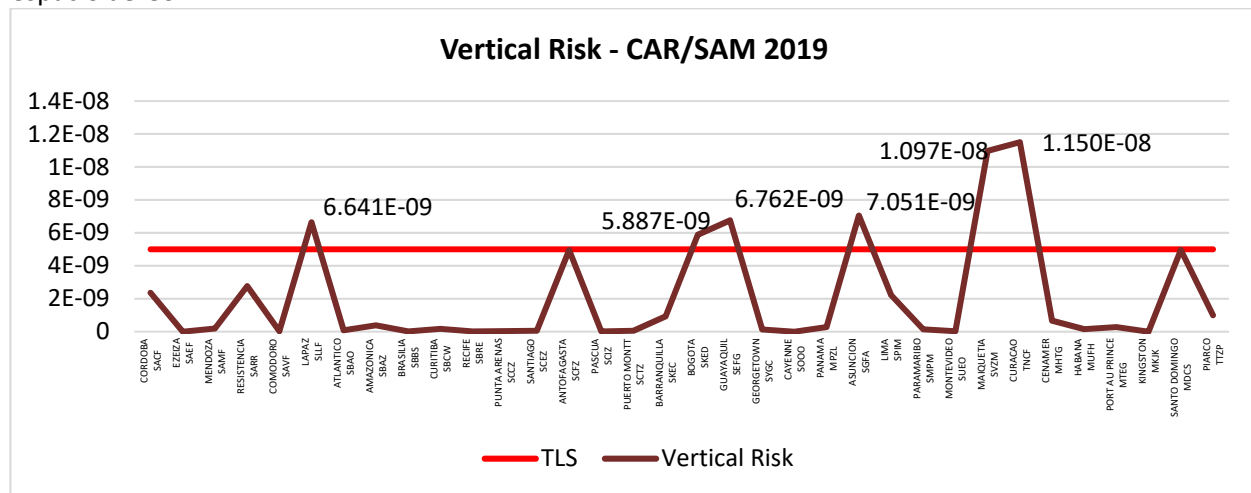


Tabla 9

7. Conclusiones de la evaluación de la seguridad (CRM)

7.1 El riesgo se estimó con base en los valores FIR presentados en la Tabla 10, los cuales fueron obtenidos luego de procesar todos los datos recibidos, compilados y procesados en el software CRM específico.

STATE	FIR	Reporting FIR	Reported FIR	TIME (min)	Xed FL	Vertical Risk
ARGENTINA	CORDOBA - SACF	26	11	53,0	32	2,357E-09
	EZEIZA - SAEF	1	34	0,0	0	0,000E+00
	MENDOZA - SAMF	1	5	1,0	2	1,954E-10
	RESISTENCIA - SARR	42	9	45,5	61	2,770E-09
	COMODORO - SAVF	26	0	0,0	0	2,583E-11
BOLÍVIA	LAPAZ - SLLF	27	78	98,0	27	6,641E-09
BRASIL	ATLANTICO - SBAO	7	1	10,2	6	8,672E-11
	AMAZONICA - SBAZ	56	27	46,0	50	3,873E-10
	BRASILIA - SBBS	0	2	0,0	0	1,489E-11
	CURITIBA - SBCW	13	6	14,8	16	1,717E-10
	RECIFE - SBRE	0	2	0,0	0	1,931E-11
CHILE	PUNTA ARENAS - SCCZ	0	0	0,0	0	3,578E-11
	SANTIAGO - SCEZ	1	0	0,0	2	5,699E-11
	ANTOFAGASTA - SCFZ	33	13	91,3	44	4,950E-09
	PASCUA - SCIZ	0	0	0,0	0	1,248E-11
	PUERTO MONTT - SCTZ	0	0	0,0	0	6,036E-11
COLOMBIA	BARRANQUILLA - SKEC	14	65	49,0	17	9,279E-10
	BOGOTA - SKED	119	239	126,0	150	5,887E-09
ECUADOR	GUAYAQUIL - SEFG	200	102	167,3	184	6,762E-09
GUYANA	GEORGETOWN - SYGC	0	4	3,0	2	1,364E-10
FRENCH GUYANA	CAYENNE - SOOO	0	0	0,0	0	0,000E+00
PANAMA	PANAMA - MPZL	11	53	7,4	7	2,751E-10
PARAGUAY	ASUNCION - SGFA	14	13	40,5	0	7,051E-09
PERU	LIMA - SPIM	126	72	179,5	131	2,223E-09
SURINAM	PARAMARIBO - SMPM	3	2	1,0	2	1,405E-10
URUGUAY	MONTEVIDEO - SUEO	1	5	1,0	0	3,106E-11
VENEZUELA	MAIQUETIA - SVZM	54	30	121,5	24	1,097E-08
NETHERLANDS ANTILLES	CURACAO - TNCF	50	65	94,3	80	1,150E-08
CENTRAL AMERICA	CENAMER - MHTG	15	28	21,0	29	6,689E-10
CUBA	HABANA - MUFH	4	4	2,8	6	1,498E-10
HAITI	PORT AU PRINCE - MTEG	10	28	15,0	34	2,825E-10
JAMAICA	KINGSTON - MKJK	22	14	34,5	67	0,000E+00
DOMINICAN REPUBLIC	SANTO DOMINGO - MDCS	84	10	86,5	96	4,961E-09
TRINIDAD & TOBAGO	PIARCO - TTZP	5	4	8,5	14	1,003E-09
TOTAL CAR/SAM		965	926	1318,63	1083	1,540E-09
MOUNT PLEASANT	EGYP	0	15			
TOTAL		965	941	1318,63	1083	1,540E-09

Tabla 10

7.2 El riesgo técnico de las FIR CAR/SAM cumple con el valor TLS, que no excede de 2.5×10^{-9} accidentes fatales por hora de vuelo debido a la pérdida de la separación vertical estándar de 1,000 pies 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 $1,54 \times 10^{-9}$ por debajo del TLS (5.0×10^{-9}).

7.5 En seguimiento de los informes presentados por la Secretaría durante el GTE 19, mostramos a continuación tablas/gráficos con la evolución de los datos para 2019.

GTE	GTE 14	GTE 15	GTE 16	GTE 17	GTE 18	GTE 19	GTE 20
Year of the analysis	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Annual hours	944,628	967,135	1,044,378	1,392,732	2,555,136	1,038,066	1,420,564
Risk value	4,62 E-09	1,85 E-09	1,29 E-09	1,41 E-09	2,32 E-09	2,32 E-09	1,54 E-09

Tabla 11

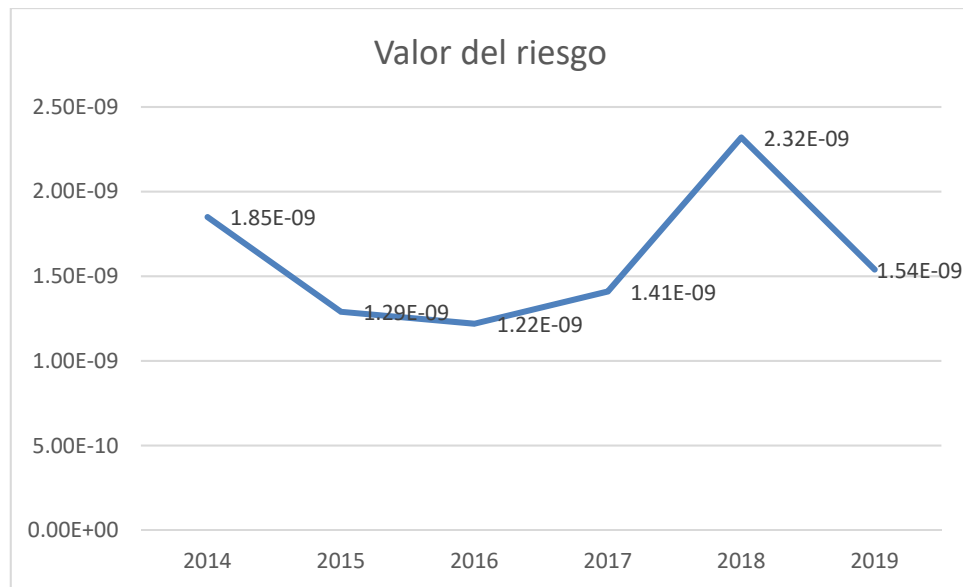


Figura 2

FIR	RVSM SPACE	2016 GTE17		2017 GTE18		2018 GTE19		2019 GTE20			
		RISK	# LHD	RISK	# LHD	RISK	# LHD	RISK	# LHD	no RVSM	Mov (hour)
CURACAO	TNCF	7,15E-09	69	8,2E-09	66	1,86E-08	72	1,15E-08	50	1	12942
SANTO DOMINGO	MDCS	2,82E-09	24	4,13E-09	99	5,6E-09	58	--	--	--	--
LA PAZ	SLLF	0,189E-09	37	3,79E-09	13	114,0E-09	35	6,64E-09	27	--	31767
GUAYAQUIL	SEFG	0,0307E-09	144	7,13E-09	123	5,61E-09	108	6,76E-09	200	6	36276
ASUNCION	SGFA	0,0405E-09	12	3,94E-09	12	10,4E-09	13	7,05E-09	14	1	9317
MAIQUETIA	SVZM	0,029E-09	20	1,84E-09	17	6,54E-09	21	1,10E-08	54	1	13682
BOGOTA	SKED	--	--	--	--	--	--	5,89E-09	119	4	7990

Tabla 12

8. Acciones sugeridas

8.1 Se invita a la Reunión a:

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