



**Cuestión 1 del  
Orden del Día:**

**Revisión de las conclusiones y recomendaciones de reuniones anteriores de CARSAMMA y el Grupo de Escrutinio**

**a) Resultados 2016 de la evaluación de la Seguridad Operacional (CRM) en el espacio aéreo de Separación Vertical Mínima Reducida (RVSM)**

**RIESGO DE COLISIÓN VERTICAL (CRM) DEL AÑO 2016 EN LAS REGIONES CAR/SAM**

(Presentada por CARSAMMA)

<b>RESUMEN</b>	
Esta nota de estudio presenta un resumen del cálculo del riesgo de colisión vertical en las Regiones CAR/SAM en 2016 utilizando la metodología CRM.	
<b>REFERENCIAS:</b>	
<ul style="list-style-type: none"><li>• ICAO Doc 9574 - AN/934, Tercera Edición - 2012.</li><li>• ICAO Doc 9937 - AN/477, Primera Edición - 2012.</li><li>• Movimiento de aeronaves en el espacio RVSM en 2016.</li><li>• Reportes de Large Height Deviations (LHD) en 2016.</li></ul>	
<i>Objetivos estratégicos de la OACI:</i>	<i>A - Seguridad operacional.</i>

**1. Antecedentes**

1.1 El propósito de este trabajo es mostrar que los criterios de seguridad definidos en el Doc. 9574 y en el Doc. 9937 de la OACI continúa cumpliéndose 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 2016 en las Regiones de Información de Vuelo (FIR) del Caribe y América del Sur. Para este trabajo, se utilizó la metodología de cálculo del modelo de riesgo de colisión vertical (CRM), según lo recomendado por la OACI en el espacio aéreo RVSM.

**2. Análisis**

2.1 En este informe se presentan los resultados de la evaluación de seguridad en el año 2016 en el espacio aéreo RVSM del Caribe y Sudamérica (CAR/SAM). Este paso corresponde a la continuación de la estrategia de implementación de RVSM.

2.2 Según el Doc. 9574 y el Doc. 9937, la evaluación debe hacerse para asegurar que las operaciones en el espacio aéreo RVSM no induzcan un aumento en el riesgo de colisión de manera que el riesgo vertical total no exceda los objetivos de seguridad definidos.

2.3 Para la evaluación cuantitativa, se utiliza el Modelo de Riesgo de Colisión Vertical de Reich, según lo recomendado por la OACI. Este es un modelo de fundamentos matemáticos intensivos que, después de analizar los movimientos de 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 Vuelo en estudio. Varias herramientas de cálculo y bases de datos se utilizan para los diversos cálculos durante el proceso, así como varias horas de análisis por parte de expertos.

2.4 Este documento de trabajo contiene un resumen de los resultados de la evaluación de la seguridad continua del mínimo de separación vertical reducida de 300 m (1000 pies) en el espacio aéreo caribeño y sudamericano en 2016.

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

2.6 Deberá prestarse especial atención a que:

- Todas las aeronaves que operan en espacio aéreo de separación vertical mínima reducida están certificadas RVSM;
- La certificación de la aeronave es actual;
- Se sigue cumpliendo el nivel objetivo de seguridad (TLS) de  $5 \times 10^{-9}$  accidentes mortales por hora de vuelo (para el seguimiento de la altura en una muestra representativa de aeronaves);
- El uso de RVSM no aumenta el nivel de riesgo debido a errores operacionales y procedimientos de contingencia;
- Hay evidencia de la estabilidad del sistema de altimetría de aeronaves (ASE);
- La introducción de RVSM no aumenta el nivel de riesgo debido a errores operacionales y contingencias de vuelo, de acuerdo con un nivel predefinido de confianza estadística;
- Se adoptan medidas adicionales de seguridad eficaces para reducir el riesgo de colisión y cumplir con las metas de seguridad debido a errores operacionales y procedimientos de contingencia;
- Hay evidencia de estabilidad del error del sistema de altimetría (ASE);
- Los procedimientos de control del tránsito aéreo continúan siendo efectivos.

### 3. **Espacio aéreo CAR/SAM**

3.1 El espacio aéreo de las Regiones CAR/SAM está compuesto por 34 Regiones de Información de Vuelo (FIR) compuestas por los siguientes Estados: Antigua y Barbuda, Antillas Neerlandesas, Barbados, Belice, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica, Cuba, Guatemala, Guayana, Guayana Francesa, Haití, Honduras, Jamaica, Martinica, Nevis, Nicaragua, Panamá, Paraguay, República Dominicana, San Bartolomé,

San Cristóbal y Nieves y Santa Lucía, San Vicente y las Granadinas, Surinam, Trinidad y Tabago, Uruguay y Venezuela.

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

3.3 Recolección de Tráfico de Datos - La muestra utilizada para evaluar la frecuencia de pasaje y parámetros físicos y dinámicos de las aeronaves típicas para evaluar el riesgo de colisión, se recogió en el período comprendido entre el 01 y el 31 de diciembre de 2016 de las 32 FIR de CAR/SAM. En estos datos de movimientos, en términos de horas de vuelo de las muestras recogidas se recibieron 1.160.614,66 horas de vuelo de todas las FIR mencionadas, con 329.143,16 horas de la Región CAR (28,36%) y 831.471,50 horas de la Región SAM (71,64%). Al igual que en años anteriores, gran parte de los datos recibidos de algunos Estados no pudieron ser explotados en el CRM por diversas razones, incluyendo errores en los tiempos de entrada y salida del espacio RVSM (menor o igual tiempo de entrada de datos), falta de información completa para identificar y localizar rutas fijas y notificaciones, o incluso enviar datos más allá de la fecha límite. Sin embargo, todos los datos enviados fueron explotados en otro producto de CARSAMMA, que es la Auditoría del espacio aéreo RVSM.

3.4 En cuanto a la ocurrencia de desviaciones verticales (LHDs) reportadas en las Regiones CAR/SAM, CARSAMMA recibió un total de 1.280 LHDs en 2016. Tras el análisis y validación realizado a través de teleconferencias con representantes de las Oficinas de la OACI Lima y México, IATA y CARSAMMA, 1.065 de estos LHD se consideraron válidos en las Regiones CAR/SAM.

3.5 Al igual que durante la última reunión del Grupo de Coordinación de las RMA (RMACG12), celebrada en mayo de 2017 en Salvador - Brasil, se acordó que los factores de riesgo no deberían ser considerados para los LHD cuyas causas involucren el Factor Humano, ya que serían evaluados en la análisis de Sistemas de Gestión de Seguridad Operacional de CARSAMMA. Por lo tanto, los 1.024 LHD que recibieron en las teleconferencias el código "E1" o "E2" no serán considerados en este estudio.

3.6 Por lo tanto, y aplicando las directrices acertadas entre las RMA, el total de LHD analizado por los parámetros del CRM es de 58 LHD, siendo:

Codigo	A	B	C	D	F	G	H	I	J	L
<b>LHD</b>	6	8	2	6	16	2	3	11	1	3

3.7 En la siguiente tabla se describe la distribución de LHD al mes:

MES	LHD	Duración Total (sec.)	Duración Media(sec.)	Medio Riesgo	Mayor Riesgo	Secuencia del Mayor Riesgo
<b>Enero</b>	3	155	52	13	19	27
<b>Febrero</b>	3	213	71	17	25	225
<b>Marzo</b>	4	1826	457	19	37	332

MES	LHD	Duración Total (sec.)	Duración Media(sec.)	Medio Riesgo	Mayor Riesgo	Secuencia del Mayor Riesgo
<b>Abril</b>	4	240	60	22	22	343, 344, 352, 433
<b>Mayo</b>	7	335	48	18	22	500, 501, 512,548
<b>Junio</b>	7	450	64	18	30	617
<b>Julio</b>	5	212	42	21	30	670, 676
<b>Agosto</b>	6	360	60	23	30	777, 790, 859
<b>Septiembre</b>	9	345	38	19	23	891
<b>Octubre</b>	2	216	108	16	19	1015
<b>Noviembre</b>	5	647	129	16	22	1149
<b>Diciembre</b>	3	160	53	15	18	1270
<b>Total</b>	<b>58</b>	<b>5159</b>	<b>89</b>	<b>18</b>	<b>37</b>	<b>332</b>

Tabla 1

#### 4. Recolección de datos de movimiento 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 la evaluación del riesgo de colisión vertical se recolectaron del 1 al 31 de diciembre de 2016.

4.2 Los datos de movimiento de aeronaves recibidos de las 32 FIR CAR/SAM fueron procesados y utilizados para evaluar la seguridad del espacio aéreo RVSM, según lo recomendado por la OACI. El número de horas de vuelo utilizado se muestra en la **Tabla 2**.

Región	Horas de Vuelo	%
<b>CAR</b>	<b>329.143,16</b>	<b>28,36 %</b>
<b>SAM</b>	<b>831.471,50</b>	<b>71,64 %</b>
<b>CAR/SAM</b>	<b>1.160.614,66</b>	<b>100,00 %</b>

Tabla 2

4.3 Al recibir los datos de movimiento de las aeronaves, CARSAMMA procedió a filtrar y procesar los datos. En la **Tabla 3** se muestran los resultados y lista los aviones que volaron a través de las FIR de CAR/SAM, con sus dimensiones y porcentaje de horas de vuelo, incluyendo un avión típico, utilizado como una dimensión del Modelo de Cálculo de Riesgo Vertical.

tipo ACFT	Longitud $\lambda_x$	Extensión $\lambda_y$	Altura $\lambda_z$	Numero de Vuelos	% de Vuelos
A320	0.020286	0.018413	0.00640	55,445	26.03%
B738	0.021328	0.018521	0.00675	47,648	22.37%
E190	0.019568	0.015507	0.00571	22,769	10.69%
A319	0.018272	0.018413	0.00640	14,039	6.59%
B737	0.018898	0.011852	0.00675	12,489	5.86%
B763	0.029644	0.025702	0.00756	10,481	4.92%
A321	0.024033	0.018413	0.00640	9,819	4.61%
A332	0.031749	0.032559	0.00940	7,886	3.70%
B772	0.034395	0.032883	0.00999	5,975	2.81%
B77W	0.034395	0.034989	0.01004	4,330	2.03%
B752	0.025551	0.020788	0.00732	3,433	1.61%
B788	0.030778	0.032397	0.00918	3,140	1.47%
B789	0.034017	0.034017	0.00918	2,037	0.96%
A343	0.034341	0.032559	0.00910	1,913	0.90%
B733	0.017279	0.016199	0.00648	1,824	0.86%
B739	0.021328	0.018521	0.00675	1,778	0.83%
A346	0.040659	0.03426	0.00934	1,677	0.79%
B744	0.038175	0.034773	0.01048	1,327	0.62%
MD83	0.024352	0.01771	0.04887	1,277	0.60%
B767	0.033153	0.028024	0.00907	1,267	0.59%
B77L	0.034395	0.034989	0.010043	1,216	0.57%
B734	0.019708	0.015605	0.00599	823	0.39%
B764	0.033153	0.028024	0.00756	392	0.18%
<b>Acft Tipica</b>	<b>0.022923</b>	<b>0.020251</b>	<b>0.007219</b>	<b>212,985</b>	<b>100.00%</b>

**Tabla 3 – Aeronaves que volaron RVSM en las FIR CAR/SAM**  
(Las medidas de las dimensiones se expresan en millas náuticas)

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

5.1 En esta sección se analizan los resultados de la evaluación de la inocuidad del espacio aéreo RVSM en la FIR CAR/SAM.

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

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 – Formula general del Modelo del Riesgo de Colisión REICH**

5.3.1 El material y la cantidad de la fuente utilizada para estimar los valores de cada parámetro del modelo de riesgo de colisión aceptado internacionalmente (CRM) utilizado para evaluar la seguridad del espacio aéreo RVSM se resumen en la **Tabla 4**.

Parámetro	Descripción	Valores
$\lambda_x$	Longitud media de la muestra de la aeronave	<b>0.022923nm</b>
$\lambda_y$	Extensión media de la muestra de la aeronave	<b>0.020251nm</b>
$\lambda_z$	Altura media de la muestra de la aeronave	<b>0.007219nm</b>
$ \bar{V} $	Velocidad media de la muestra de la aeronave (módulo)	<b>435.9665 kt</b>
$ \Delta V $	Velocidad relativa de la misma dirección de la muestra de la aeronave (módulo)	<b>32.03411 kt</b>
$ \bar{y}^\circ $	Velocidad media relativa a la aproximación transversal de la muestra de la aeronave (módulo)	<b>13 kts</b>
$ \bar{z}^\circ $	Velocidad vertical relativa media durante la pérdida de la separación vertical de la muestra de la aeronave (módulo)	<b>1.5 kts</b>
<b><math>P_z(0)</math></b>	Probabilidad de que dos aviones con el mismo nivel nominal se superpongan lateralmente en la muestra de la aeronave	<b>0.408635</b>

**Tabla 4 - Estimaciones de parámetros de CRM**

5.4 Demostración de la viabilidad técnica de la RVSM en las Regiones CAR / SAM

5.4.1 Esto implica evaluar los resultados de los valores de los parámetros del Modelo de Riesgo de Colisión REICH:

- Frecuencia de paso  **$N_x$** ;
- Probabilidad de superposición vertical  **$P_z (1000)$** ; y
- Probabilidad de superposición lateral  **$P_y (0)$** .

Para demostrar esto, se establecieron los siguientes objetivos:

Generar confianza en el cumplimiento del TLS técnico; y

Certificar la estabilidad del ASE.

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 los aviones que vuelan en la misma dirección y en direcciones opuestas, como se muestra en la **Tabla 5**.

Frecuencia de Paso	Misma dirección	Dirección opuesta	Equivalente	Horas de Vuelo (h)
CAR/SAM	0.00496611	0.02762529	0.03591072	1,160,614.66

Tabla 5 – Frecuencia de Paso

5.5.2 Los valores se relacionan con el sistema del espacio aéreo CAR/SAM. Se debería observar que se ha calculado que la frecuencia de paso mostrada en la Tabla 5 (0.03591072) se calculó sobre la base de las horas de vuelo de las 32 FIR CAR/SAM.

- El valor estimado de  $P_z(1000)$  utilizado en nuestras calculaciones fue de  $2.46 \times 10^{-8}$ .

5.6 Estimación del riesgo de colisión

5.6.1 La **Tabla 6** contiene los conjuntos de los parámetros físicos y dinámicos que se estiman en el perfil de riesgo, así como el seguimiento de los parámetros principales para las FIR CAR/SAM. Todos los parámetros se determinaron basados en el espacio aéreo de cada región que se considera un sistema aislado.

	E (misma)	$\Delta V$ (misma)	Ez (opuesta)	$\Delta V$ (opuesta)	Ez (cruce)	V
CAR/SAM	0.03898688	32.03411	0.00690632	418.36722	0.047480129	435.9665

Tabla 6 – Parámetros físicos y dinámicos

## 6. Conclusiones de la evaluación de la inocuidad (CRM)

6.1 Riesgo de Colisión - Los valores estimados del Error Operacional se presentan en la **Tabla 7**, que resultan del procesamiento de todos los LHD recibidos y validados en 2016, más los archivos que contienen movimientos de aeronaves en el espacio aéreo RVSM, procesados en el software CRM específico.

Mes	Error Técnico	Error Operacional	Riesgo
Enero	$0.0257 \times 10^{-9}$	$1.799 \times 10^{-9}$	$1.825 \times 10^{-9}$
Febrero	$0.0261 \times 10^{-9}$	$1.514 \times 10^{-9}$	$1.540 \times 10^{-9}$
Marzo	$0.0261 \times 10^{-9}$	$1.478 \times 10^{-9}$	$1.504 \times 10^{-9}$
Abril	$0.0261 \times 10^{-9}$	$1.298 \times 10^{-9}$	$1.324 \times 10^{-9}$
Mayo	$0.0261 \times 10^{-9}$	$2.799 \times 10^{-9}$	$2.825 \times 10^{-9}$
Junio	$0.0297 \times 10^{-9}$	$1.255 \times 10^{-9}$	$1.285 \times 10^{-9}$
Julio	$0.0258 \times 10^{-9}$	$0.013 \times 10^{-9}$	$0.039 \times 10^{-9}$
Agosto	$0.0260 \times 10^{-9}$	$1.161 \times 10^{-9}$	$1.187 \times 10^{-9}$
Septiembre	$0.0260 \times 10^{-9}$	$0.060 \times 10^{-9}$	$0.086 \times 10^{-9}$
Octubre	$0.0260 \times 10^{-9}$	$0.738 \times 10^{-9}$	$0.764 \times 10^{-9}$
Noviembre	$0.0260 \times 10^{-9}$	$0.785 \times 10^{-9}$	$0.811 \times 10^{-9}$
Diciembre	$0.0260 \times 10^{-9}$	$0.922 \times 10^{-9}$	$0.948 \times 10^{-9}$

Tabla 7 – Evaluación de la seguridad

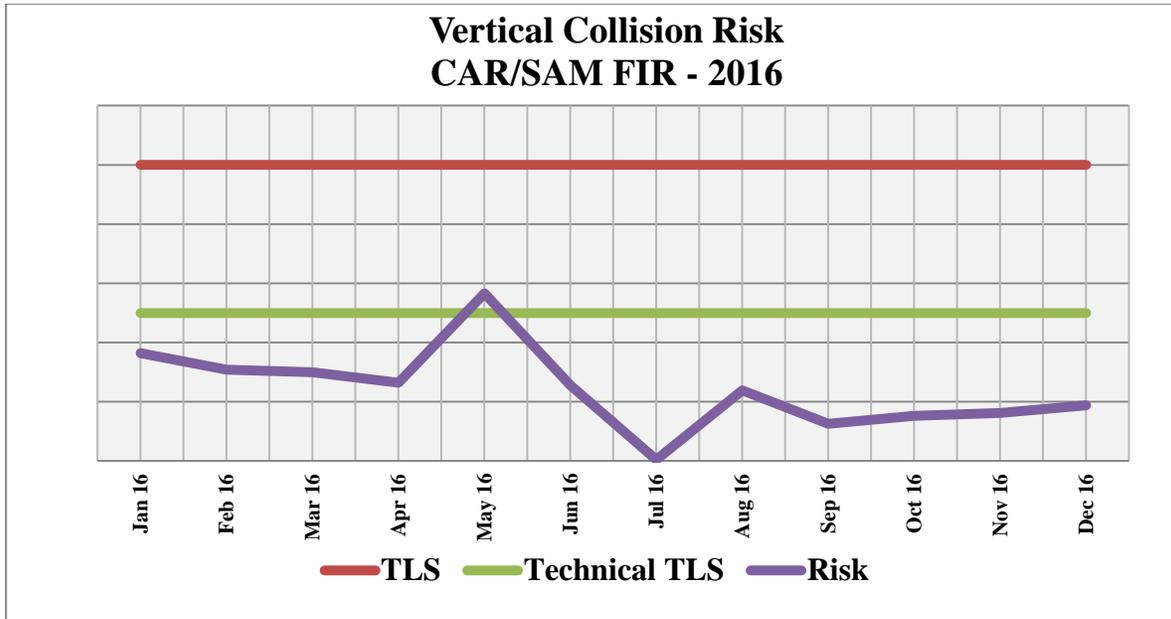


Gráfico 2 - Riesgo de Colisión Vertical

6.2 El error técnico de la FIR CAR/SAM satisface el objetivo que establece que no debe exceder  $2,5 \times 10^{-9}$  accidentes mortales por hora de vuelo debido a la pérdida de la separación vertical estándar de 1000 pies y todas las demás causas.

- El riesgo operacional no tiene un límite predeterminado de acuerdo con el Doc 9574 de la OACI.
- En el caso de las Regiones CAR/SAM, el riesgo medio estimado es  $1,22 \times 10^{-9}$  por debajo del TLS, que es de  $5,0 \times 10^{-9}$ .

Espacio Aéreo RVSM CAR/SAM Estimado de Horas de Vuelo = 1,160,614.66 horas			
Fuente del riesgo	Riesgo Estimado	TLS	Observaciones
Error Tecnico	$0.0261 \times 10^{-9}$	$2.5 \times 10^{-9}$	Por Debajo
Error Operacional	$1.1956 \times 10^{-9}$	-	-
<b>Riesgo</b>	<b><math>1.2203 \times 10^{-9}</math></b>	<b><math>5.0 \times 10^{-9}</math></b>	<b>Por Debajo</b>

Tabla 8

7. **Acción sugerida:**

7.1 Se invita a la Reunión a:

- a) tomar nota y revisar el contenido de este documento de trabajo; y
- b) compartir experiencias y expresar opiniones sobre las acciones de CARSAMMA en esta materia.