



OACI

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

NOTA DE ESTUDIO

GTE/18 — NE/05

13/09/18

Décimo octava Reunión del Grupo de Trabajo de Escrutinio (GTE/18) del Grupo Regional de Planificación y Ejecución CAR/SAM (GREPECAS)

Ciudad de México, México, 22 – 26 de octubre de 2018

Cuestión 1 del

Orden del Día:

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

**RIESGO DE COLISIÓN VERTICAL (CRM) DEL AÑO 2016 EN LAS REGIONES CAR/SAM
(incluyendo TODOS los LHD validados)**

(Presentada por CARSAMMA)

RESUMEN EJECUTIVO	
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.	
Acción:	Tomar nota y revisar el contenido de esta Nota de Estudio.
Objetivos Estratégicos:	Seguridad Operacional
Referencias:	- ICAO Doc 9574 - <i>Manual sobre una separación vertical mínima de 300 m (1 000 ft) entre FL 290 y FL 410 inclusive</i>, AN/934, Tercera Edición - 2012. - ICAO Doc 9937 - <i>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</i>, AN/477, Primera Edición - 2012. - Movimiento de Aeronaves en el espacio RVSM en 2016. - Reportes de Grandes Desviaciones de Altitud (LHD) en 2016.

1. Introducción

1.1 El propósito de esta Nota de Estudio es mostrar que los criterios de seguridad operacional definidos en el Doc 9574 y en el Doc 9937 de la OACI continúan 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 Sudamérica. 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 operacional 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 operacional 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 intensos fundamentos matemáticos 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 operacional (TLS) de la Región de Información 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 continua de la seguridad operacional 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:

- o Todas las aeronaves que operan en espacio aéreo de separación vertical mínima reducida están certificadas RVSM;
- o La certificación de la aeronave es actual;
- o Se sigue cumpliendo el nivel deseado de seguridad operacional (TLS) de 5×10^{-9} accidentes mortales por hora de vuelo (para el seguimiento de la altura en una muestra representativa de aeronaves);
- o El uso de RVSM no aumenta el nivel de riesgo debido a errores operacionales y procedimientos de contingencia;
- o Hay evidencia de estabilidad del error del sistema de altimetría de las aeronaves (ASE);
- o 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;
- o Se adoptan medidas adicionales de seguridad eficaces para reducir el riesgo de colisión y cumplir con las metas de seguridad operacional debido a errores operacionales y procedimientos de contingencia;

O 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 34 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 Por lo tanto, el total de LHD analizados por los parámetros del CRM fueron:

Código	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	L	Total
#LHD	6	8	2	6	1007	16	2	3	11	1	3	1065

Tabla 1 – Total

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

MES	LHD	Duración (min)	Duración promedio (min)
Enero	115	105.58	0.92
Febrero	70	144.97	2.07
Marzo	92	141.02	1.53
Abril	77	107.67	1.40
Mayo	97	489.83	5.05
Junio	70	197.67	2.82
Julio	108	308.53	2.86

MES	LHD	Duración (min)	Duración promedio (min)
Agosto	104	106.67	1.03
Septiembre	102	215.25	2.11
Octubre	74	73.35	0.99
Noviembre	89	105.03	1.18
Diciembre	67	154.92	2.31
Total	1065	2150.48	2.02

Tabla 2

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 operacional del espacio aéreo RVSM, según lo recomendado por la OACI. El número de horas de vuelo utilizado se muestra en la Tabla 3.

Región	Horas de vuelo	%
CAR	329,143.16	28.36 %
SAM	831,471.50	71.64 %
CAR/SAM	1,160,614.66	100.00 %

Tabla 3

4.3 Al recibir los datos de movimiento de las aeronaves, CARSAMMA procedió a filtrar y procesar los datos. En la Tabla 4 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 de ACFT	Longitud λ_x	Envergadura λ_y	Altitud λ_z	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%

Tipo de ACFT	Longitud λ_x	Envergadura λ_y	Altitud λ_z	Vuelos	% de vuelos
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%
Acft típico	0.022923	0.020251	0.007219	212,985	100.00%

Tabla 4 – Aeronaves que volaron RVSM en las FIR CAR/SAM
(Las medidas de las dimensiones se expresan en millas náuticas)

5. Evaluación del riesgo de colisión (CRM)

5.1 En esta sección se analizan los resultados de la evaluación del riesgo de colisión 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 operacional 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 – Fórmula 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 operacional del espacio aéreo RVSM se resumen en la Tabla 5 (*disponible únicamente en inglés*).

Parameter	Description	Values
λ_x	Average length of the aircraft sample	0.022923 Nm
λ_y	Average wingspan of the aircraft sample	0.020251 Nm
λ_z	Average height of the aircraft sample	0.007219 Nm

Parameter	Description	Values
$\bar{V}$	Average speed of the aircraft sample (module)	435.9665 kts
ΔV	Relative speed of the same direction of the sample of the aircraft (module)	32.03411 kts
$\dot{y}$	Average speed relative to the transverse approximation of the sample of the aircraft (module)	13 kts
$\dot{z}$	Average relative vertical velocity during loss of vertical separation of the aircraft sample (module)	1.5 kts
$P_z(0)$	Probability that two aircraft with the same nominal level overlap laterally in the sample of the aircraft	0.408635

Tabla 5 - 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 6**.

Frecuencia de Paso CAR/SAM	Misma dirección	Dirección Opuesta	Equivalente	Horas de vuelo
	0.00496611	0.02762529	0.03591072	1,160,614.66

Tabla 6 – 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 equivalente mostrada en la **Tabla 6 (0.03591072)** se calculó sobre la base de las horas de vuelo de las 32 FIR CAR/SAM.

El valor estimado de **Pz (1000)** utilizado en nuestros cálculos fue de **2.46 x 10-8**.

5.6 Valor estimado del riesgo de colisión

5.6.1 La Tabla 7 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.

CAR/SAM	E (misma)	ΔV (misma)	Ez (opuesta)	ΔV (opuesta)	Ez	V
	0.03898688	32.03411	0.00690632	418.36722	0.047480129	435.9665

Tabla 7 – Parámetros físicos y dinámicos

6. Conclusiones de la evaluación del Riesgo de Colisión (CRM)

6.1 Riesgo de Colisión - Los valores estimados de los Errores Técnicos, Operacionales y el Riesgo mensuales, se presentan en la Tabla 8 y Figura 2, 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 E-09	1.79E-09	1.82E-09
Febrero	0.0261 E-09	1.51E-09	1.54E-09
Marzo	0.0261 E-09	1.48E-09	1.50E-09
Abril	0.0261 E-09	1.36E+09	1.38E-09
Mayo	0.0261 E-09	2.83E-09	2.85E-09
Junio	0.0297 E-09	1.00E-09	1.03E-09
Julio	0.0258 E-09	2.23E-09	2.30E-09
Agosto	0.0260 E-09	1.02E-09	1.05E-09
Septiembre	0.0260 E-09	0.65E-09	0.67E-09
Octubre	0.0260 E-09	0.88E-09	0.91E-09
Noviembre	0.0260 E-09	1.06E-09	1.09E-09
Diciembre	0.0260 E-09	0.96E-09	0.99E-09

Tabla 8 – Riesgo de Colisión mensual

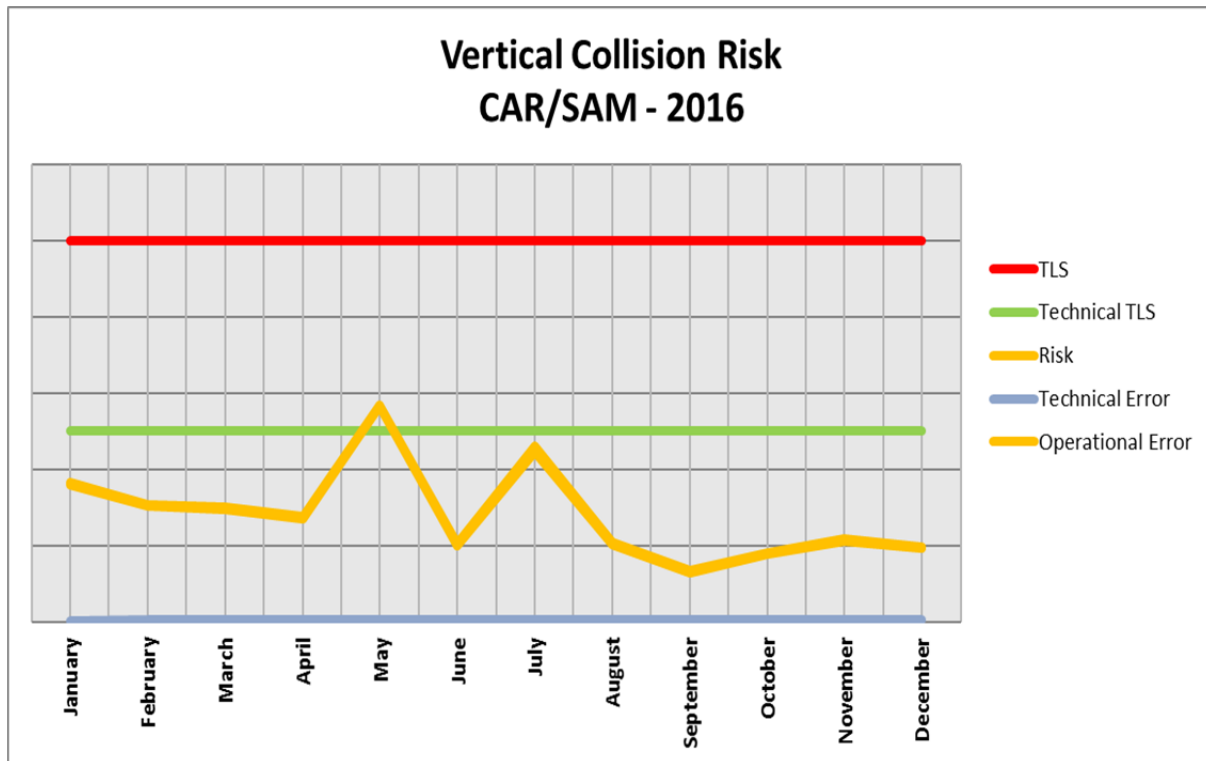


Figura 2 - Riesgo de Colisión mensual

6.2 En la Figura 3 que se muestra a continuación, se presentan los riesgos de colisión calculados para cada FIR de las Regiones CAR/SAM durante el año 2016. Las FIR Amazónica, Bogotá, Guayaquil, Montevideo y Curazao fueron las que sufrieron riesgo por encima del Nivel de Seguridad Deseado (TLS).

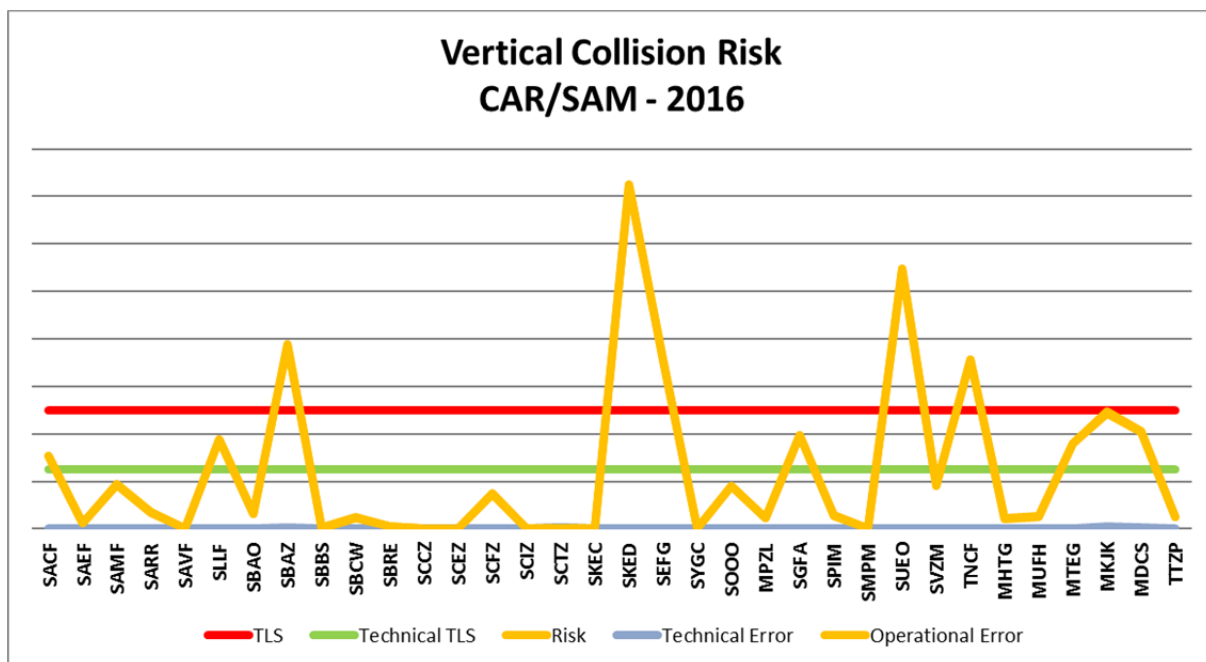


Figura 3 - Riesgo de Colisión Vertical por FIR

6.3 Al final de este trabajo, quisiéramos recordar algunos datos que componen nuestros cálculos:

- o Recibidos 256.867 movimientos de aeronaves que después del procesamiento se validaron 212.985 registros de vuelos. En relación con años anteriores, este aprovechamiento es satisfactorio.
- o Entre los 212.985 movimientos validados, fueron identificados al final de un proceso de auditoría hecho por CARSAMMA, con el apoyo de las RMA y AAC de las regiones CAR \ SAM, algunas aeronaves cuyo registro no constan en la base de datos de aprobación RVSM de CARSAMMA. Esto puede haber sido ocasionado por:
 - a) error en la escritura del F2 por parte de la AAC;
 - b) falta de envío a CARSAMMA del F2 por la AAC;
 - c) error en la escritura del F2 por parte de CARSAMMA en el banco de datos RVSM; o
 - d) que la aeronave NO está certificada RVSM.
- o En el cálculo CRM una aeronave sin certificación que utilice el espacio aéreo RVSM induce a un aumento significativo del riesgo de colisión. Es necesario un esfuerzo mayor por parte de las AAC y de los PSNA de las regiones CAR \ SAM para el uso correcto del espacio RVSM.
- o 1.065 LHD fueron considerados válidos durante las teleconferencias efectuadas durante el año.
- o El parámetro de duración de evento LHD (tiempo) también influye negativamente en el cálculo de CRM. Las FIR que posean áreas con región oceánica, o grandes distancias entre posiciones de reporte obligatorio, son las más afectadas en este cálculo.

6.4 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.

- o El riesgo operacional no tiene un límite predeterminado de acuerdo con el Doc. 9574 de la OACI.
- o En el caso de las Regiones CAR/SAM, el riesgo medio estimado es $1,71 \times 10^{-9}$ por debajo del TLS, que es de $5,0 \times 10^{-9}$.

Espacio aéreo RVSM CAR/SAM Flight Hours estimated = 1,160,614.66 hours			
Source of Risk	Estimated Risk	TLS	Observation
Technical Error	0.0258×10^{-9}	2.5×10^{-9}	Below
Operational Error	1.686×10^{-9}	-	-
Risk	1.71×10^{-9}	5.0×10^{-9}	Below

Tabla 9

7. Acciones Sugeridas

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.

— FIN —