



OACI

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

NOTA DE INFORMACIÓN

GTE/24 — NI/02
15/07/24

**Vigésimo Cuarta Reunión del Grupo de Trabajo de Escrutinio (GTE/24)
del Grupo Regional de Planificación y Ejecución CAR/SAM (GREPECAS)**
Ciudad de México, México, del 5 al 9 de agosto de 2024

**Cuestión 3 del
Orden del Día:**

**Revisión de resultados del análisis de Desviaciones de altitud importante (LHD)
y análisis del Modelo de riesgo de colisión (CRM)**

EVALUACIÓN DEL RIESGO DE COLISIÓN VERTICAL DE LAS REGIONES CAR/SAM EN 2023

(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 2023 utilizando la metodología CRM.	
<i>Objetivos Estratégicos:</i>	<ul style="list-style-type: none">• Seguridad Operacional
<i>Referencias:</i>	<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.• 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.• Movimiento de Aeronaves en el espacio RVSM en 2023.• Reportes de Desviaciones de Altitud Importantes (LHD) en 2023.

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 reporta el análisis de riesgo de colisión vertical en el espacio aéreo RVSM en 2023 en las Regiones de Información de Vuelo (FIR) del Caribe y Sudamérica relevantes de esta Agencia.

2. Análisis

2.1 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 vertical de manera que el riesgo vertical total no exceda los objetivos de seguridad operacional definidos.

2.2 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 los expertos de CARSAMMA.

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

2.4 Herramientas para la evaluación de la seguridad:

- o Metodología del riesgo de colisión de la OACI;
- o Se utiliza para desarrollar la Especificación de Rendimiento del sistema global el Doc. 9574 de la OACI, con la especificación y los requisitos de rendimiento de mantenimiento de altura de aeronaves;
- o Todas las aeronaves que operen en espacio aéreo de separación vertical mínima reducida deben estar 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 (en una muestra representativa de aeronaves);
- 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 vertical y cumplir con las metas de seguridad operacional debido a errores operacionales y procedimientos de contingencia; y
- o Los procedimientos de control del tránsito aéreo continúan siendo efectivos.

2.5 El modelo de riesgo se adaptó para tener en cuenta:

- o Riesgo técnico de la aeronave en la misma aerovía y en las aerovías de intersección; y
- o El efecto de las desviaciones de altura importantes (LHD) en el riesgo del sistema.

3. Espacio Aéreo CAR/SAM

3.1 El espacio aéreo RVSM monitoreado por CARSAMMA está compuesto por 34 Regiones de Información de Vuelo (FIR) del Caribe y Sudamérica. Cada parte de ese espacio aéreo fue tratada como un sistema aislado, con sus propios parámetros estadísticos.

3.2 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 vertical, se recogió en el período comprendido entre el 01 y el 31 de diciembre de 2023 de las 31 FIR de CARSAMMA. En estos datos de movimientos, en términos de horas de vuelo De las muestras recogidas se utilizó 279.534 líneas de vuelos con 772.172 horas de duración de las FIR mencionadas, siendo 197.703 horas de la Región CAR (26%) y 574.469 horas de la Región SAM (74%).

3.3 En cuanto a la ocurrencia de desviaciones de altura importantes (LHD) reportadas en las Regiones CAR/SAM, CARSAMMA recibió un total de 732 LHD en 2023. Tras el análisis y validación realizado a través de teleconferencias con representantes de las Oficinas de la OACI Lima y México, IATA y CARSAMMA, 624 de estos LHD se consideraron válidos en las Regiones CAR/SAM en el estudio CRM.

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

Code	A	B	C	D	E1	E2	F	G	H	I	J	K	L	M	Total
#LHD	0	4	0	5	342	213	0	0	0	3	0	0	56	1	624
Month	# LHD				Duration (min)				Crossed Levels						
January	60				48.50				80						
February	71				131.50				86						
March	56				321.50				58						
April	63				143.50				72						
May	73				106.95				69						
June	41				77.00				49						
July	49				76.17				59						
August	29				29.18				30						
September	40				51.00				38						
October	44				53.00				44						
November	45				48.00				31						
December	53				52.00				38						
Total	624				1138.30				654						

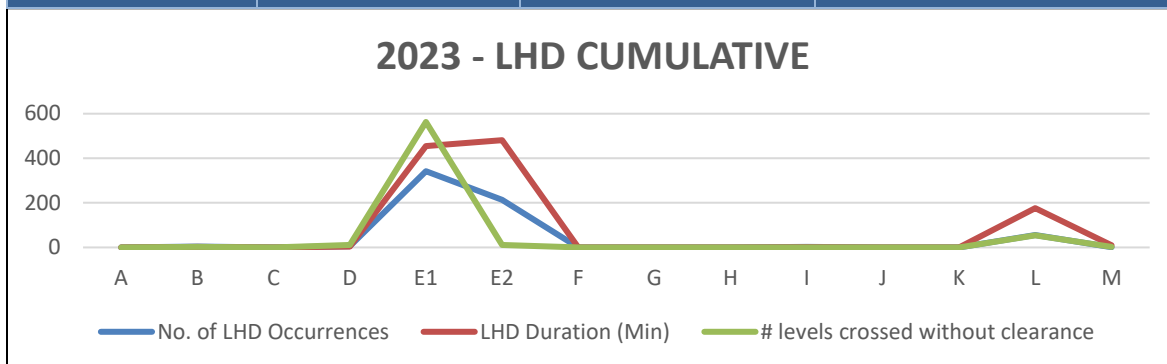


Tabla 1 – LHD

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 2023.

4.2 Al recibir los datos de movimiento de las aeronaves, CARSAMMA procedió a filtrar y procesar los datos. En la Tabla 2 se muestran los resultados y lista los tipos de aviones que volaron a través de las FIR de CAR/SAM, con sus dimensiones y porcentaje de números de vuelo, incluyendo un avión típico, utilizado como uno de los parámetros de dimensión del modelo de cálculo de Riesgo de Colisión Vertical.

ACFT Type(Top 20)	Lenght λ_x	Wingspan λ_y	Height λ_z	Flights
B738	0.021328	0.018521	0.006749	48571
A320	0.020286	0.018413	0.006350	47435
A20N	0.020286	0.018413	0.006350	26679
B38M	0.021312	0.019395	0.006641	19109
A321	0.024033	0.018413	0.006350	17060
B763	0.019568	0.015507	0.005707	11925
B39M	0.018272	0.018413	0.000635	8542
A319	0.029644	0.025702	0.007559	8365
B789	0.018898	0.018521	0.006749	7709
B737	0.034017	0.034017	0.009179	7116
A332	0.031749	0.032559	0.009395	6752
A21N	0.030778	0.032397	0.009179	6741
E190	0.024033	0.018413	0.006350	6578
B788	0.034395	0.032883	0.009989	6329
A359	0.034395	0.034989	0.010043	4688
B772	0.036123	0.034557	0.009125	3707
B739	0.021328	0.018521	0.006749	3470
B77W	0.025551	0.020788	0.007322	3006
B752	0.025476	0.021823	0.006773	2793
E195	0.019708	0.015605	0.005994	2319
Typical acft	0.023082	0.020762	0.006724	248,894

Tabla 2 – Las 20 Top aeronaves que volaron RVSM en las FIR CAR/SAM en términos de vuelos
(Las medidas de las dimensiones se expresan en millas náuticas)

5. Evaluación del riesgo de colisión vertical (CRE)

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

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

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

Figura 1 – Fórmula general del Modelo del Riesgo de Colisión Vertical de REICH

5.3 El material y la cantidad de la fuente utilizada para estimar los valores de cada parámetro del modelo de riesgo de colisión vertical aceptado internacionalmente (CRM) utilizado para evaluar la seguridad operacional del espacio aéreo RVSM se resumen en la Tabla 3 (disponible únicamente en inglés).

CRM Parameter	Description
N_{az}	Number of fatal accidents per flight hour due to loss of vertical separation.
S_z	Vertical Separation minimum.
$P_z(S_z)$	Probability that two aircraft nominally separated by the vertical separation minimum S_z are in vertical overlap.
$P_y(0)$	Probability that two aircraft on the same track are in lateral overlap.
λ_x	Average aircraft length.
λ_y	Average aircraft wingspan.
λ_z	Average aircraft height with undercarriage retracted.
S_x	Length of longitudinal window used to calculate occupancy.
$E_z(\text{same})$	Same direction vertical occupancy.
$E_z(\text{opp})$	Opposite direction vertical occupancy.
$ \Delta V $	Average relative along track speed between aircraft on same direction routes.
$ V $	Average aircraft ground speed.
$ \dot{y} $	Average relative cross track speed for an aircraft pair nominally on the same track.
$ \dot{z} $	Average relative vertical speed of an aircraft pair that have lost all vertical separation

Tabla 3 - Estimaciones de parámetros de CRM

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

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

Para demostrar esto, se establecieron los siguientes objetivos:

- Generar confianza en el cumplimiento del TLS técnico; y
- Certificar la estabilidad del ASE.

5.4.1 Frecuencia de paso, Nx - Este es el parámetro del espacio aéreo en el que la aeronave está expuesta al riesgo. La frecuencia de paso equivalente se estimó teniendo en cuenta dos aviones que vuelan en la misma dirección y en direcciones opuestas, como se muestra en la Tabla 4.

	Same Direction	Opposite Direction	Equivalent	Flight Hours
Pass Frequency	0.027476	0.094817	0.132312	772172

Tabla 4 – Frecuencia de Paso

5.4.2 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 4 (0.132312) se calculó sobre la base de las horas de vuelo de las 31 FIR CAR/SAM que presentaron sus datos de movimientos.

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

5.4.4 La Tabla 5 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	Ez (same)	Ez (opp)	V	ΔV (same)	ΔV (opp)
	0.116142	0.023704	434.88 kt	28.7538 kt	909.5235 kt

Tabla 5 – Parámetros físicos y dinámicos

6. Conclusiones de la evaluación del Riesgo de Colisión Vertical (CRE)

6.1 Riesgo de Colisión - La Figura 2 muestra los riesgos de colisión vertical calculados para cada FIR de las Regiones CAR/SAM durante el año 2023. Las FIR Port-au-Prince, La Paz, Guayaquil, Curazao, Panamá y Santo Domingo fueron las que SUFRIERON riesgo por encima del Nivel de Seguridad Deseado (TLS).

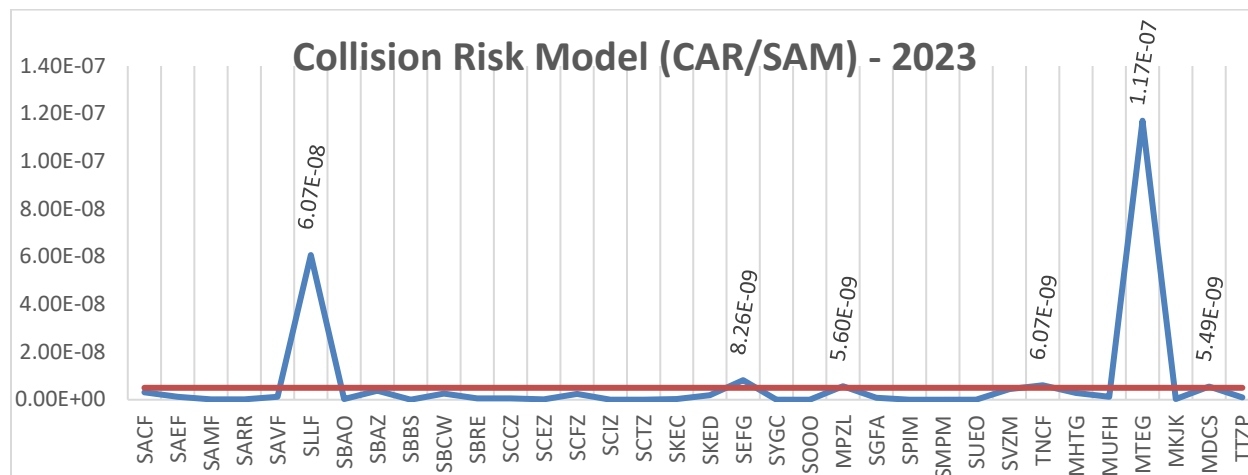


Figura 2 - Riesgo de Colisión

6.2 El Laboratorio de Altimetría de CARSAMMA adjuntó a este estudio un trabajo que señala los principales parámetros cuantitativos que influyen en el cálculo del CRM en general, y consideraciones especiales para mitigar los factores de riesgo de colisión en las 6 FIR que superaron el TLS en el año 2023.

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

- Fueron recibidos 305.381 líneas de movimientos de aeronaves que después del procesamiento se validaron 279.561 registros de vuelos. En relación con años anteriores, este aprovechamiento es satisfactorio.
- En el cálculo CRM una aeronave sin certificación que utilice el espacio aéreo RVSM induce a un aumento significativo del riesgo de colisión vertical. 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.
- Entre los 279.561 movimientos validados, fueron identificados al final de un proceso de auditoría hecho por CARSAMMA, con el apoyo de las otras 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:

- ✓ error en la escritura del F2 (aprobación RVSM) por parte de la AAC;
- ✓ falta de envío a CARSAMMA del F2 por la AAC;
- ✓ error en la escritura del F2 por parte de CARSAMMA en el banco de datos RVSM;
- o
- ✓ que la aeronave en verdad NO está certificada RVSM.
- Considerando las ocurrencias en el espacio RVSM CAR/SAM, 624 LHD fueron validados durante las teleconferencias efectuadas durante el año por el sector de los LHD en CARSAMMA.
- Los parámetros de duración de evento LHD (tiempo) y cruce de niveles, 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 las 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 $2,371 \times 10^{-9}$ por debajo del TLS, que es de $5,0 \times 10^{-9}$.

CAR/SAM RVSM airspace – Estimated Flight Hours = 772,172 hours			
Source of Risk	Estimated Risk	TLS	Observation
Technical Error	0.0709×10^{-9}	2.5×10^{-9}	Below
Operational Error	2.258×10^{-9}	-	-
Risk	2.371×10^{-9}	5.0×10^{-9}	Below

Tabla 6 – CAR/SAM Risk

APÉNDICE

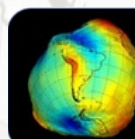


ANÁLISIS DEL RIESGO DE COLISIÓN VERTICAL

ESPACIO AÉREO RVSM DEL CARIBE Y SUDAMÉRICA 2023

Resumen

En general, ¿Cuáles son las condiciones encontradas en el espacio aéreo RVSM que pueden conducir a un aumento en el nivel de riesgo de colisión vertical?



Altimetry & Audit
CARSAMMA

RIESGO DE COLISIÓN VERTICAL – RESTRICCIONES GENERALES

SUMARIO

APPENDIX A.....	Error! Bookmark not defined.
RIESGO DE COLISIÓN VERTICAL – RESTRICCIONES GENERALES.....	2
DEFINICIONES	2
CONDICIONES METEOROLÓGICAS ATMOSFÉRICAS.....	3
CONFIRMACIÓN DEL ESTADO DE CERTIFICACIÓN RVSM DE LA AERONAVE	4
PARÁMETROS PRINCIPALES, TIPOS DE AERONAVES, GRUPOS DE MONITOREO Y ERROR DEL SISTEMA DE ALTIMETRÍA DE TRÁFICO	5
ESTIMACIÓN DE ASE	7
MONITOREO DE LA FRECUENCIA DE PASO	8
RECEPCIÓN DE MUESTRAS DE TRÁFICO Y DEPURACIÓN	9
ANÁLISIS DE FIR QUE HAN SUPERADO EL TLS.....	11
PORT AU PRINCE – MUESTRA DE TRÁFICO	12
LA PAZ – MUESTRA DE TRÁFICO	14
GUAYAQUIL – MUESTRA DE TRÁFICO	16
CURACAO – MUESTRA DE TRÁFICO	18
PANAMA – MUESTRA DE TRÁFICO	20
SANTO DOMINGO – MUESTRA DE TRÁFICO	22

DEFINICIONES
<i>AAD – Desviación de Altitud Asignada</i>
<i>ASE – Error del Sistema de Altimetro</i>
<i>ATC – Control de Tráfico Aéreo</i>
<i>CFL – Nivel de Vuelo Actual</i>
<i>FIR – Region de Información de Vuelo</i>
<i>FTE – Erro Técnico de Vuelo</i>
<i>MMR – Requisito Mínimo de Monitoreo</i>
<i>NOTAM – Aviso a los Aviadores</i>
<i>RMA – Agência Regional de Monitoreo</i>
<i>RVSM – Mínimos de Separación Vertical Reducida</i>
<i>SAA – Anomalía del Atlántico Sur</i>
<i>TVE – Error Total Vertical</i>
<i>TLS – Objetivo del Nivel de Seguridad</i>

Este estudio fue elaborado por CARSAMMA, para ayudar a las FIR de las regiones CAR/SAM a comprender mejor y de manera general, qué condiciones se encuentran en el espacio aéreo RVSM que pueden conducir a un aumento en el nivel de riesgo de colisión vertical, si no se toman medidas de mitigación satisfactorias.

CONDICIONES METEOROLÓGICAS ATMOSFÉRICAS

Las condiciones climáticas que causan turbulencias pueden ser perjudiciales para el mantenimiento preciso de la altura e incluyen:

- a) onda de corte gravitacional;
- b) tormentas;
- c) flujo orográfico;
- d) cenizas volcánicas;
- e) Anomalía magnética de América del Sur (AMAS/SAA).

a) La onda de corte gravitacional está presente cuando la atmósfera está estratificada de forma estable, es decir, las capas de aire frío están situadas debajo de capas de aire más cálido en la troposfera. La región de interfaz entre estas capas de aire de diferentes densidades es donde se encuentra el nivel de equilibrio del movimiento vertical, que es el lugar preferido para el desarrollo de ondas gravitacionales de gravedad, que pueden causar fuertes turbulencias.

b) Cuando se reciban informes de tormentas con turbulencias severas, el ATC verificará la capacidad de la aeronave para mantener la CFL.

Tras la confirmación de que las condiciones meteorológicas están afectando, o es probable que afecten, a la precisión del mantenimiento de la altura, el ATC debe proporcionar una separación alternativa lo antes posible.

c) El flujo orográfico, más comúnmente conocido como actividad de las olas de montaña, se ha identificado como particularmente perjudicial para el mantenimiento preciso de la altura.

Con la aplicación del RVSM, los Estados que se sabe que tienen un espacio aéreo susceptible al flujo orográfico deben:

- ser responsable de la provisión de dichas condiciones; y
- detallar las medidas requeridas por el ATC al recibir dichas previsiones.

d) Durante el proceso de erupción volcánica, aunque no sea muy intenso, se produce la formación de un tipo de nube muy concreto, el **pirocúmulo** o nube de fuego, que arroja a la atmósfera una extensa nube de escombros, que puede causar graves daños en los motores y sensores de las aeronaves. Este tipo de nubosidad tiene intensas turbulencias, lo que a su vez provoca fuertes ráfagas de viento en la superficie e incluso se pueden observar relámpagos. Esto se debe a que las partículas de rocas formadas por el magma también se liberan a la atmósfera en forma de cenizas. Estas rocas chocan entre sí y acaban generando cargas eléctricas que dan lugar a rayos.

e) La anomalía magnética del Atlántico Sur (SAA) afecta a satélites y naves espaciales con órbitas a una altitud de unos pocos cientos de kilómetros y con inclinaciones orbitales entre 35° y 60°. En estas órbitas, los satélites pasan periódicamente por SAA, estando expuestos durante varios minutos a la fuerte radiación que allí existe. La Estación Espacial Internacional, que orbita con una inclinación de 51,6°, requirió un recubrimiento especial para hacer frente al problema. El Telescopio Espacial Hubble no realiza observaciones mientras pasa por la región. Los satélites del Sistema de Posicionamiento Global

(GPS) también experimentan interferencias al pasar por estas posiciones, especialmente durante las tormentas solares.

SAA experimenta un desplazamiento hacia el oeste, cuya velocidad de desplazamiento es de 0,3° por año.

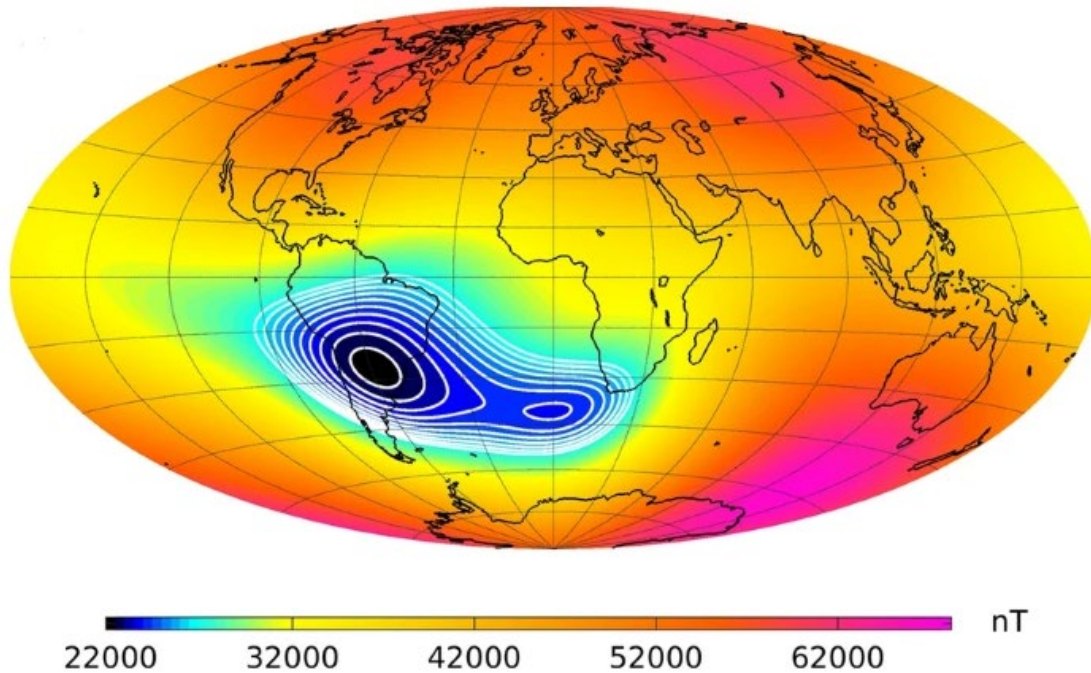


Figura 1 - Anomalía del Atlántico Sur

Además, cuando se prevea que cualquiera de las condiciones meteorológicas enumeradas en los puntos anteriores prevalezca en una zona durante un período prolongado, la autoridad competente del ATC tendrá en cuenta:

- (a) expedir un NOTAM en el que se especifiquen las rutas o la zona afectada; y
- (b) suspender temporalmente el uso de 300 m (1.000 pies) de MVE en el área afectada.

CONFIRMACIÓN DEL ESTADO DE CERTIFICACIÓN RVSM DE LA AERONAVE

La continuación de la aplicación del RVSM depende del establecimiento de un proceso de confirmación de la certificación de las aeronaves, que tiene por objeto excluir a las aeronaves y a los operadores no cualificados de operar en el espacio aéreo del RVSM, a menos que se aplique la separación adecuada. El proceso puede tener variaciones regionales, pero la responsabilidad principal de confirmar el estado de certificación de una aeronave/operador recaerá en el Estado del operador/Estado de registro.

El proceso de confirmación se verá facilitado por la aplicación de las siguientes medidas:

- a) mantener un registro exhaustivo de todas las certificaciones concedidas para operaciones en el espacio aéreo RVSM;
- b) proporcionar los registros de certificación a la agencia regional de monitoreo (CARSAMMA) para su inclusión en su base de datos regional de certificaciones RVSM; y

c) incluir una verificación del estado de certificación de las aeronaves y los operadores en el calendario de inspecciones rutinarias en vuelo.

Al nivel apropiado, los Estados proveedores de ATS deben asumir la responsabilidad secundaria de instituir controles estatales de certificación rutinarios de las aeronaves que operen en su zona de autoridad y que tengan la intención de operar en el espacio aéreo RVSM. Además de las actividades de control llevadas a cabo por CARSAMMA, esta responsabilidad podría cumplirse mediante:

- a) el control de los planes de vuelo ATS;
- b) la verificación cruzada con la base de datos regional de certificaciones RVSM; y
- c) consultar a los operadores sospechosos de no cumplir los requisitos de este espacio aéreo.

Dependiendo de las regulaciones estatales, las autorizaciones de ATC pueden ser retenidas para operaciones que no cumplan con los requisitos del espacio aéreo RVSM.

Junto con los Estados proveedores, CARSAMMA puede llevar a cabo un nivel adicional de confirmación de certificación. Esto puede lograrse mediante la acción de la RMA, tras una consulta de una autoridad aeronáutica, para obtener la confirmación del estado de aprobación del Estado del operador/Estado de matrícula de las aeronaves que no figuran en una base de datos regional de certificaciones RVSM.

Con el trabajo de auditoría realizado mensualmente por CARSAMMA, se identifican algunas aeronaves que han utilizado el espacio aéreo RVSM pero que no figuran en la base de datos mundial como certificadas RVSM. Estas aeronaves, tras la confirmación de la falta de certificación efectuada por el Estado de matrícula o de explotación, contribuyen a aumentar el riesgo en el estudio CRM del sobrevuelo de la FIR.

PARÁMETROS PRINCIPALES, TIPOS DE AERONAVES, GRUPOS DE MONITOREO Y ERROR DEL SISTEMA DE ALTIMETRÍA DE TRÁFICO

Se analizan las muestras de tráfico enviadas por el FIR CAR/SAM y se recogen diversos parámetros para su uso en la fórmula de riesgo de colisión vertical.

Algunos ejemplos: Se separan los distintos tipos de aeronaves, se recopilan sus dimensiones, y con estos datos se crea una aeronave típica a la que se le tendrá en cuenta su dimensión como el estándar de las aeronaves que ocupaban el espacio RVSM en la FIR.

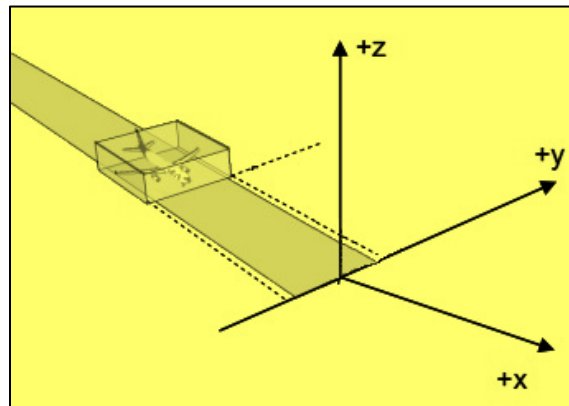


Figura 2 – Dimensiones de la aeronave

Si este tráfico está volando en un cruce de ruta o en rutas paralelas, el modelado de la situación será diferente, como vemos en la siguiente figura.

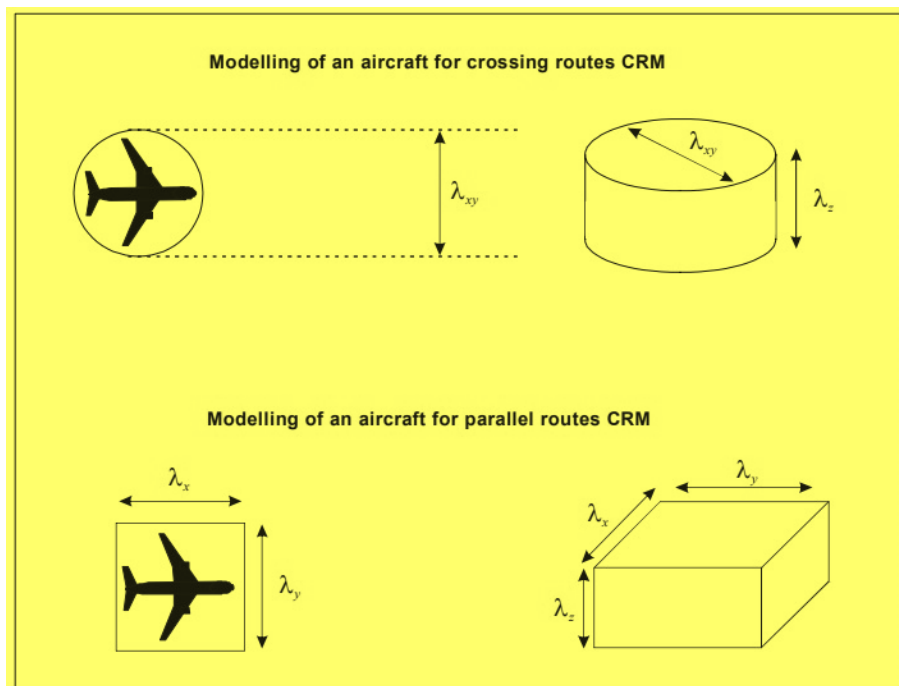


Figura 3 – Dimensiones de la aeronave (rutas transversales/paralelas)

Para cada FIR estudiado, se separaron y contaron los distintos tipos de aeronaves, se identificó el **grupo de monitoreo (MMR)** al que pertenecen y se calculó el **error medio de los sistemas de altimetría (ASE)** de la muestra. Esto se hace en base al documento de los RMAs "**MMR - Minimum Monitoring Requirements**" disponible en el Portal CARSAMMA, junto con la base de datos de los vuelos de monitorización realizados para calcular los errores del sistema de altimetría de la aeronave, del Laboratorio de Altimetría CARSAMMA, teniendo como límites una variación máxima de altitud de más o menos 200 pies, cuanto mayor sea este número, mayor será la probabilidad de que no se mantenga la altitud de la aeronave.

A continuación, se presentan algunos parámetros encontrados durante el análisis de riesgo de colisión en 2023:

<i>Descripción</i>	<i>Valor</i>
<i>Probability of lateral overlap ($P_y(0)$)</i>	0.0616
<i>Frequency of passage in opposite direction ($N_x(opp)$)</i>	0.0948
<i>Frequency of passage in the same direction ($N_x(same)$)</i>	0.0275
<i>Crossover Crossing Frequency ($N_{xy}(cross)$)</i>	0.0948
<i>Average length of aircraft (λ_x)</i>	0.0231 Nm
<i>Average width of aircraft (λ_y)</i>	0.0208 Nm
<i>Average height of the aircraft (λ_z)</i>	0.00668 Nm
<i>Relative average speed of the aircraft in the same direction (ΔV)</i>	28.1 kt
<i>Average aircraft speed (V)</i>	435 kt
<i>Average relative speed of aircraft at airway crossing (y)</i>	13 kt
<i>Average Relative Vertical Speed of Aircraft During Vertical Separation Loss (z)</i>	1.5 kt

Cuadro A-1. Valores de parámetro utilizados para definir la especificación de rendimiento de mantenimiento de altura.

Hay que tener en cuenta que, con el desarrollo tecnológico de nuevos proyectos de aeronaves con procesos y tecnologías avanzadas, el número de ASE calculado tiende a disminuir. Es decir, las aeronaves más antiguas tienen un número ASE más alto, incluso si están dentro de los parámetros RVSM deseados, lo que puede influir en el riesgo de colisión vertical.

Sumado a esto, tenemos las aeronaves que utilizaron este espacio aéreo especial y cuyos registros no se encontraron en las bases de datos de aeronaves certificadas RVSM, lo que aumenta en gran medida el riesgo calculado en esa región de vuelo.

ESTIMACIÓN DE ASE

Se espera que el **error del sistema de altimetría (ASE)** de una aeronave varíe, dentro de algunos límites, en algún valor medio que sea característico de cada aeronave individual para un conjunto determinado de condiciones de funcionamiento. Se espera que esta característica sea en gran medida invariante en muchos vuelos, a menos que haya alguna intervención, como daños o reparaciones, que altere las

características de error. No se conoce con precisión el intervalo durante el cual el ASE permanece relativamente constante, en ausencia de intervención, pero los datos y la experiencia indican un aumento moderado en la magnitud del ASE a medida que envejece un sistema de altimetría. Los datos y la experiencia también indican que los errores de los sistemas de altimetría independientes del piloto y del copiloto no son necesariamente los mismos.

El ASE real de una aeronave en un momento dado es la diferencia entre su TVE real y el FTE real contemporáneo. Dada una medida de TVE y un TDA contemporáneo para la aeronave, la diferencia entre TVE y TDA proporciona una estimación de ASE. La precisión de esta estimación se ve afectada por la granularidad de la cuantificación de 30 m (100 pies) inherente al modo C y por cualquier desajuste entre el retorno del modo C y la visualización de la altitud. Sin embargo, cuando se promedian varias muestras repetidas, este enfoque debe permitir establecer un valor representativo del ASE.

La antigüedad de la flota en una muestra es directamente proporcional al número de ASE, es decir, cuanto más antigua es la flota, mayor es el ASE promedio encontrado, y esto impacta en el CRM.

MONITOREO DE LA FRECUENCIA DE PASO

La proporción de tiempo durante la cual las aeronaves en niveles de vuelo adyacentes están expuestas al riesgo de colisión debido a la pérdida de separación vertical se tiene en cuenta en la especificación general de funcionamiento del sistema, que define una frecuencia máxima de aeronaves que se aproximan en la misma ruta. En la práctica, la exposición puede producirse debido a que las aeronaves pasan en la misma dirección o en direcciones opuestas en la misma ruta a niveles de vuelo adyacentes o debido a que las aeronaves pasan a niveles de vuelo adyacentes en rutas separadas en un punto de referencia.

Un parámetro estrechamente relacionado y de uso frecuente es la "ocupación", que es una medida del número de aeronaves en niveles de vuelo adyacentes dentro de una distancia específica de una aeronave típica. La supervisión independiente de la calidad de funcionamiento del sistema requiere que el efecto combinado de la frecuencia de estos diversos tipos de pases se estime utilizando datos de movimiento de tráfico del espacio aéreo RVSM, o datos simulados antes de la implementación de RVSM. Esto debe compararse con 2,5 pasadas de avión en la dirección opuesta por hora de vuelo. Estas estimaciones deben determinarse en todo el espacio aéreo que se evalúa, si es práctico hacerlo. Si el espacio aéreo abarca una zona regional, debe evaluarse el espacio aéreo de tres FIR adyacentes que cubran los flujos de tráfico más intensos de esa región o la mayor frecuencia de adelantamiento para abordar el problema de los flujos de tráfico elevados, en los que puede producirse un riesgo de colisión superior a la media.

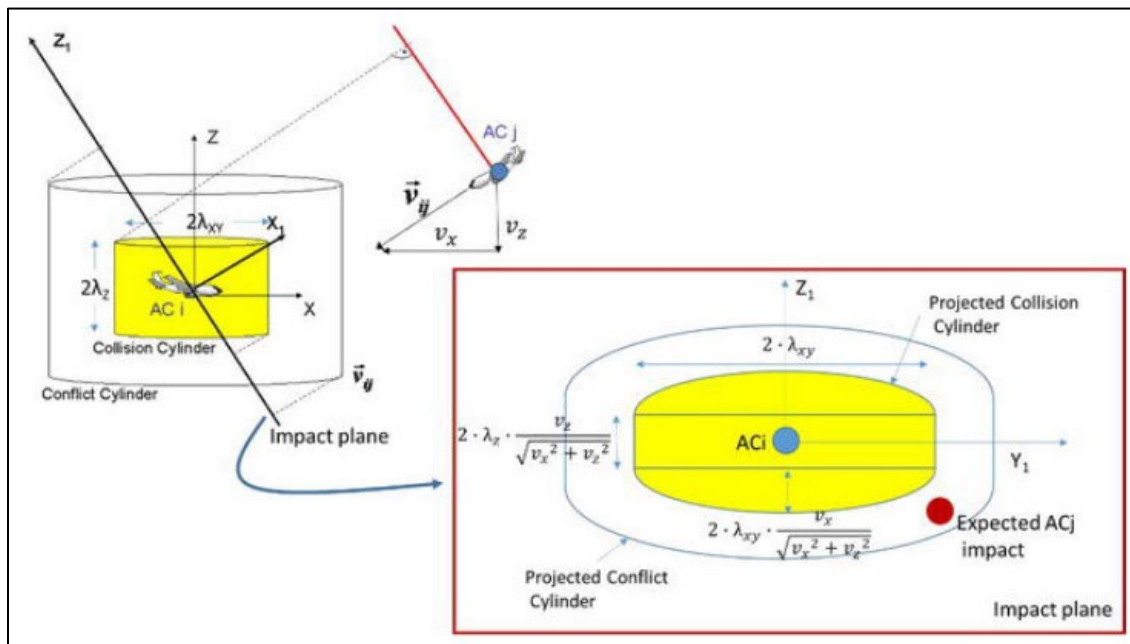


Figura 4 – Cilindro de conflicto proyectado

RECEPCIÓN DE MUESTRAS DE TRÁFICO Y DEPURACIÓN

Para esta fase, que CARSAMMA denomina "depuración de datos", se realiza una comprobación de la compatibilidad y consistencia de los datos enviados, ya que muchas veces se encuentran varias diferencias con respecto al patrón solicitado en las muestras de tráfico, como la falta de información valiosa para una correcta evaluación de riesgos, además de la no presentación de ningún dato por parte de algunos FIR.

Ejemplos de deficiencias o ausencias encontradas en los datos presentados son: vías aéreas desconocidas voladas, falta de tiempo de entrada y salida del espacio RVSM, niveles volados fuera del espacio RVSM, tipo de aeronave desconocido, etc. Por lo tanto, esta depuración lleva muchas horas de trabajo por parte de la RMA para corregirla, y aun así, debido a la cantidad de datos que se invalidan por las inconsistencias encontradas durante esta fase, es posible que no tengamos una imagen fiel de lo que ocurre en el espacio aéreo de la FIR en estudio, y el consiguiente cálculo del riesgo vertical.

Para tener un resumen general de las deficiencias encontradas, se identificaron las siguientes:

- Los archivos presentaban una cantidad notable de información de vuelos repetidos (duplicados);
- En algunos vuelos, hubo un cambio de rumbo y una salida fija; esta se colocó como una entrada fija y viceversa;
- En algunas FIR, varias veces no son ascendentes, es decir, el tiempo de entrada en el espacio RVSM es mayor que el tiempo de salida de este espacio aéreo;
- En algunas informaciones de vuelo hubo un cambio de vías aéreas, en lugar de la vía aérea X, se utilizó la vía aérea Y y viceversa;
- Se observó que varios vuelos fueron descritos como volando en una FIR, cuando en realidad estaban volando en una FIR vecina, y no aparecieron en la otra FIR, donde deberían aparecer.

Es importante mencionar que la ausencia de datos de movimiento aéreo RVSM de 03 FIR en el año 2023 no permitirá calcular el nivel de riesgo de estos segmentos del espacio aéreo CAR/SAM, pero también que tendrá un impacto en el cálculo del nivel de riesgo de las regiones CAR/SAM. Por lo tanto, estos datos tienen una relevancia muy importante en el proceso de seguridad del espacio aéreo CAR/SAM RVSM.

ANÁLISIS DE FIR QUE HAN SUPERADO EL TLS

Durante los cálculos del CRM con la metodología recomendada por la OACI, se utiliza la Fórmula REICH, con un uso intensivo de definiciones y parámetros matemáticos y estadísticos. Las principales entradas de datos, como se indicó anteriormente, son los LHD recibidos y validados por CARSAMMA, y los movimientos aéreos en el espacio RVSM enviados por la FIR del Caribe y América del Sur.

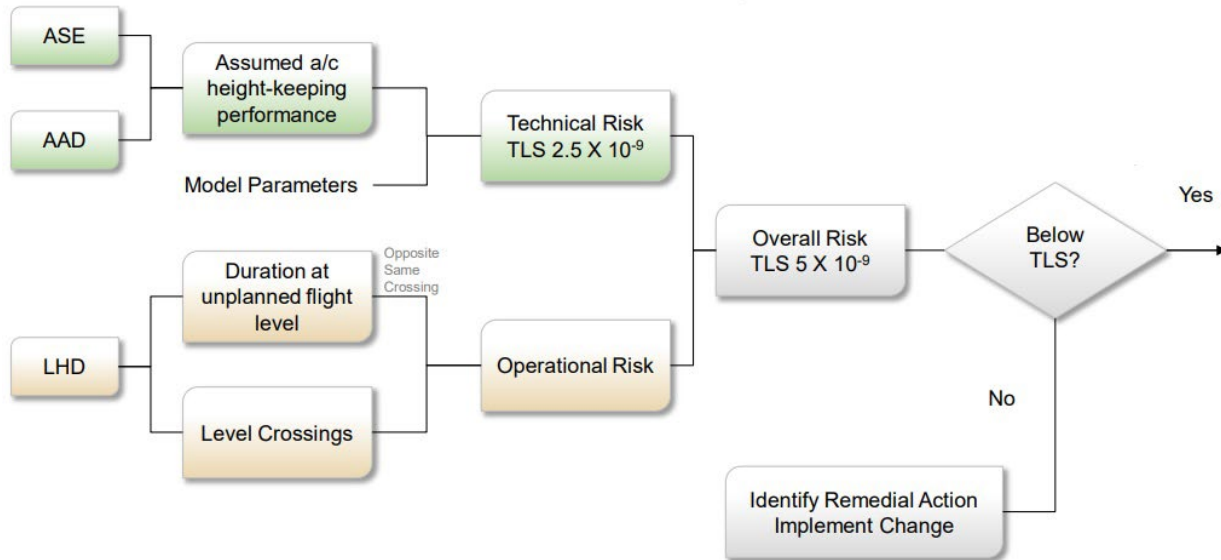


Figura 5 – Flujo del estudio comparativo TLS

1. En cuanto a los LHD, estos son analizados y validados unitariamente por el sector LHD de CARSAMMA, y el resultado de este análisis se pone a disposición del Laboratorio de Altimetría de CARSAMMA.
2. Por otro lado, se reciben los movimientos de aire, se comprueba la correcta cumplimentación de los datos y se depuran como se explica en el punto anterior.

Lo que suele suceder es que, al pasar por la depuración, estos datos pierden varias líneas de información debido a la ausencia o inexactitud de los datos enviados. Esto puede dar lugar a un resultado inexacto para el cálculo del riesgo de esa FIR.

Pz(0) = Probabilidad de superposición vertical
Q = Tiempo en el nivel incorrecto
Ez(same) = Ocupación vertical en la misma dirección
ΔV = Velocidad relativa entre aeronaves en la misma dirección
Nz(same) = Frecuencia de paso entre 2 aeronaves en la misma dirección
Nz(0pp) = Frecuencia de paso entre 2 aeronaves en sentido contrario
C1 = $1 + \lambda x / \Delta V(\text{same}) * (Ex(\text{opp}) / \lambda y + \Delta V(\text{opp}) / Ez(\text{same}))$
C2 = $1 + \lambda x / (2 * \Delta V(\text{same})) * (Ex(\text{opp}) / \lambda y + \Delta V(\text{opp}) / Ez(\text{same}))$

PORT AU PRINCE – MUESTRA DE TRÁFICO

Type	# flight	Length	Wingspan	Height	Lx	Ly	Lz	ASE	Total ASE
A320	82	0,020290	0,018410	0,006350	1,663780	1,509620	0,520700	65,73	5389,86
B738	78	0,021330	0,018520	0,006750	1,663740	1,444560	0,526500	12,53	977,34
B38M	75	0,021310	0,019400	0,006640	1,598250	1,455000	0,498000	32,56	2442
A321	70	0,024030	0,018410	0,006350	1,682100	1,288700	0,444500	37,76	2643,2
B763	34	0,029640	0,025700	0,007560	1,007760	0,873800	0,257040	-53,28	-1811,52
A319	20	0,018270	0,018410	0,000640	0,365400	0,368200	0,012800	29,26	585,2
A332	20	0,031750	0,032560	0,009400	0,635000	0,651200	0,188000	69,99	1399,8
B789	19	0,034020	0,034020	0,009180	0,646380	0,646380	0,174420	41,31	784,89
A21N	16	0,024030	0,018410	0,006350	0,384480	0,294560	0,101600	70,45	1127,2
B739	16	0,021330	0,018520	0,006750	0,341280	0,296320	0,108000	21,38	342,08
B772	14	0,034400	0,032880	0,009990	0,481600	0,460320	0,139860	32,13	449,82
B77W	12	0,034400	0,034990	0,010040	0,412800	0,419880	0,120480	24,55	294,6
CL60	12	0,011260	0,010590	0,003400	0,135120	0,127080	0,040800	11,17	134,04
A20N	11	0,020290	0,018410	0,006350	0,223190	0,202510	0,069850	55,38	609,18
B733	11	0,017280	0,016200	0,006480	0,190080	0,178200	0,071280	-33,80	-371,8
B788	11	0,030780	0,032400	0,009180	0,338580	0,356400	0,100980	34,10	375,1
E145	11	0,016130	0,010820	0,003650	0,177430	0,119020	0,040150	-14,98	-164,78
B737	10	0,018900	0,018520	0,006750	0,189000	0,185200	0,067500	8,58	85,8
A359	9	0,036120	0,034560	0,009130	0,325080	0,311040	0,082170	-19,04	-171,36
B734	9	0,020290	0,018410	0,006350	0,182610	0,165690	0,057150	-67,56	-608,04
Top 20	540								
					12,643660	11,353680	3,621780	Average ASE	26,88
Typical ACFT					0,023414	0,0210253	0,006707		
					Lx	Ly	Lz		

LHD fueron 40: 32 “E1”, 1 “E2”, 7 “L”
 Ocupación en FL incorrecto: 58 minutos
 FL cruzado sin autorización: 67
 ANV no RVSM confirmada: 8
 ANV no RVSM no confirmada: 14
 Vuelos enviados por MTEG: 1913 líneas
 Vuelos utilizados: 675 líneas, 64,5% perdidas
 ASE promedio de la muestra: 26.88 Ft.

Principales factores que aumentan el riesgo de colisión vertical en el FIR MTEG:

- En cuanto al **movimiento de aire** recibido por CARSAMMA, notamos las siguientes diferencias con respecto a lo solicitado:



- 04 aeronaves con registro en blanco;
- 188 aeronaves con error de tipo o en blanco;
- 04 líneas sin Origen;
- 04 líneas sin Destino;
- 123 líneas con aerovías en blanco o inexistentes;
- 150 líneas sin FIJOS;
- 126 líneas con tiempos equivocados; y

La pérdida por error en el llenado de los datos de movimiento de aire (F0) aumentó significativamente el resultado encontrado para el riesgo de este FIR.

- El tiempo de ocurrencia LHD en una aerovía bidireccional y en sentido opuesto fue de **58 min** (alto).
- La pérdida **del 64,6%** de los datos de movimiento aéreo durante la depuración.
- Tiempo a un nivel no autorizado de los LHD validados **67**.
- El tiempo total de los LHD, que en la fórmula REICH se calcula como la probabilidad de superposición vertical total $Pz(0)*Q = 9,15 E-6$ donde: $Pz(0)$ probabilidad de superposición vertical, y Q el tiempo total en el nivel incorrecto.
- Otro punto de la fórmula de Reich tiene que ver con la ocupación del espacio RVSM, y tiene un alto resultado en el FIR en estudio, cómo:

$Ez(\text{mismo}) = 2Th(0) H 0,0384$. Donde: **2** número (constante) de accidentes; $Th(0)$ tiempo de proximidad a la aeronave; **H** horas de vuelo de la muestra;

$\Delta V = 1,9$ Velocidad relativa entre aeronaves en la misma dirección;

$Nz(\text{mismo}) 0,003$ = Frecuencia de separación perdida entre 2 aeronaves en la dirección longitudinal. O frecuencia de paso en la misma dirección;

$Nz(Op) 0,1534$ = Frecuencia de paso en la dirección opuesta;

$Nz(\text{equiv}) 0,1571 = Nz(op) + Nz(\text{mismo})$ **C1, 11,3845**
C2 1,02168

Donde:

$$c_1 = \left[1 + \frac{\lambda_x |\bar{y}|}{\lambda_y |\Delta V|} + \frac{\lambda_x |\bar{z}|}{\lambda_z |\Delta V|} \right]$$

$$c_2 = \left[1 + \frac{\lambda_x |\bar{y}|}{\lambda_y 2|V|} + \frac{\lambda_x |\bar{z}|}{\lambda_z 2|V|} \right]$$

- Hay que prestar atención al número de **22** aviones "NO RVSM" que sobrevuelan esta región.
- El paso del control de tráfico en un espacio geográfico y temporal reducido requiere de un tiempo oportuno y más preciso de coordinación.
- Se debe prestar más atención al completar el formulario F0, evitando la pérdida excesiva de datos durante la depuración de datos.

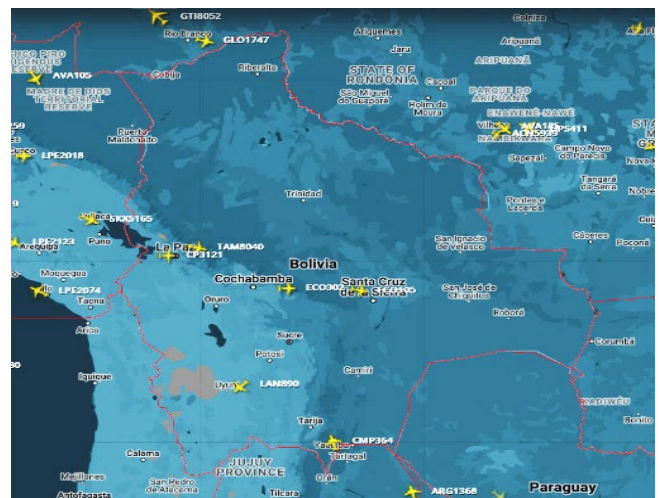
LA PAZ – MUESTRA DE TRÁFICO

Type	# flight	Length	Wingspan	Height	Lx	Ly	Lz	ASE	Total
B738	1061	0,021330	0,018520	0,006750	22,631130	19,649720	7,161750	12,53	13296,63
B737	279	0,018900	0,018520	0,006750	5,273100	5,167080	1,883250	8,58	2393,95
A320	178	0,020290	0,018410	0,006350	3,611620	3,276980	1,130300	65,73	11699,65
B733	108	0,017280	0,016200	0,006480	1,866240	1,749600	0,699840	-33,80	-3649,97
CRJ2	96	0,014450	0,011450	0,003360	1,387200	1,099200	0,322560	-4,59	-440,90
A332	78	0,031750	0,032560	0,009400	2,476500	2,539680	0,733200	63,06	4918,81
E190	76	0,019570	0,015510	0,005710	1,487320	1,178760	0,433960	18,92	1438,20
A319	59	0,018270	0,018410	0,000640	1,077930	1,086190	0,037760	29,26	1726,11
B38M	57	0,021310	0,019400	0,006640	1,214670	1,105800	0,378480	32,56	1855,93
A20N	53	0,020290	0,018410	0,006350	1,075370	0,975730	0,336550	55,38	2935,37
B763	40	0,029640	0,025700	0,007560	1,185600	1,028000	0,302400	-53,28	-2131,26
B789	22	0,034020	0,034020	0,009180	0,748440	0,748440	0,201960	41,31	908,78
C550	18	0,007770	0,008590	0,002470	0,139860	0,154620	0,044460	-0,43	-7,83
B734	17	0,019710	0,015610	0,005990	0,335070	0,265370	0,101830	-67,56	-1148,59
B788	15	0,030780	0,032400	0,009180	0,461700	0,486000	0,137700	34,10	511,51
F900	11	0,010920	0,010440	0,004070	0,120120	0,114840	0,044770	15,36	168,93
FA50	7	0,010000	0,010180	0,003770	0,070000	0,071260	0,026390	55,50	388,52
A333	6	0,034340	0,032560	0,009100	0,206040	0,195360	0,054600	36,60	219,58
B744	5	0,038180	0,034770	0,010480	0,190900	0,173850	0,052400	-63,37	-316,84
LJ60	4	0,009654	0,007203	0,002397	0,038616	0,028812	0,009588	36,21	144,86
Top 20	2190								
					45,597426	41,095292	14,093748	Average ASE	15,94
					0,020821	0,018765	0,0064355		
					Lx	Ly	Lz		

- LHD fueran 45: 1 "B", 29 "E1", 10 "E2", 5 "L"**
- Ocupación en FL incorrecto: 95 minutos**
- FL cruzado sin autorización: 59**
- ANV no RVSM confirmada: 5**
- ANV no RVSM no confirmada: 14**
- Vuelos enviados por SLLF: 4303 líneas**
- Vuelos utilizados: 2206 líneas, 48,73% de pérdida**
- ASE promedio de la muestra: 15,94 Ft.**

Principales factores que aumentan el riesgo de colisión vertical en el FIR SLLF:

- En cuanto al movimiento aéreo recibido por CARSAMMA, notamos las siguientes diferencias con respecto a lo solicitado:



07 aeronaves con registro en blanco;
 15 aeronaves sin Tipo;
 58 líneas con aerovías en blanco o inexistentes;
 1211 líneas sin FIJOS;
 2837 líneas con tiempos equivocados;
 428 líneas duplicadas; y

En el 68% del archivo no había conexión entre el fijo RVSM de entrada y el fijo RVSM de salida.

La pérdida por error en el llenado de los datos de movimiento aéreo (F0) aumentó significativamente el resultado encontrado para el riesgo de este FIR.

- El tiempo de LHD en una aerovía bidireccional y en sentido contrario fue de **95 min** (alto).
- El tiempo total del LHD, que en la fórmula REICH se calcula como la probabilidad de superposición vertical total $Pz(0)*Q = 3,4 E-6$ donde: $Pz(0)$ probabilidad de superposición vertical, y Q el tiempo total en el nivel incorrecto.
- Otro punto de la fórmula de Reich tiene que ver con la ocupación del espacio RVSM, y tiene un alto resultado en el FIR en estudio, cómo:

$Ez(mismo) = 2Th(0) H 0,0779$. Donde: **2** número (constante) de accidentes; **Th(0)** tiempo de proximidad a la aeronave; **H** horas de vuelo de la muestra;

$\Delta V = 30,6$ Velocidad relativa entre aeronaves en la misma dirección;

$Nz(mismo) 0,0107$ = Frecuencia de separación perdida entre 2 aeronaves en la dirección longitudinal. O frecuencia de paso en la misma dirección;

$Nz(Op) 0,2424$ = Frecuencia de paso en la dirección opuesta;

$Nz(equiv) 0,2597 = Nz(op) + Nz(mismo)$ **C1, 1,63071**
C2 1,02169

Dónde:

$$c_1 = \left[1 + \frac{\lambda_x}{\lambda_y} \frac{|\dot{y}|}{|\Delta V|} + \frac{\lambda_x}{\lambda_z} \frac{|\dot{z}|}{|\Delta V|} \right]$$

$$c_2 = \left[1 + \frac{\lambda_x}{\lambda_y} \frac{|\dot{y}|}{2|V|} + \frac{\lambda_x}{\lambda_z} \frac{|\dot{z}|}{2|V|} \right]$$

- Hay que prestar atención al número de **19** aviones "NO RVSM" que sobrevuelan esta región.
- Este FIR tiene una larga duración de LHD, lo que aumenta el riesgo de colisión.
- Y como este FIR cubre un tramo de la Cordillera de los Andes, y puede sufrir los efectos del flujo orográfico, recomendamos que se preste mayor atención al aceptar tráfico de FIR adyacentes (el nivel de vuelo puede cambiar).

GUAYAQUIL – MUESTRA DE TRÁFICO

Type	# flight	Length	Wingspan	Height	Lx	Ly	Lz	ASE	Total
A320	1694	0,020290	0,018410	0,006350	34,371260	31,186540	10,756900	65,73	111343,86
B763	1106	0,029640	0,025700	0,007560	32,781840	28,424200	8,361360	-53,28	-58929,24
B738	1065	0,021330	0,018520	0,006750	22,716450	19,723800	7,188750	12,53	13346,75
A319	887	0,018270	0,018410	0,000640	16,205490	16,329670	0,567680	29,26	25950,21
A20N	751	0,020290	0,018410	0,006350	15,237790	13,825910	4,768850	55,38	41593,67
B38M	439	0,021310	0,019400	0,006640	9,355090	8,516600	2,914960	32,56	14293,93
B788	423	0,030780	0,032400	0,009180	13,019940	13,705200	3,883140	34,10	14424,46
B39M	419	0,022770	0,019400	0,006640	9,540630	8,128600	2,782160	-0,70	-293,30
B789	403	0,034020	0,034020	0,009180	13,710060	13,710060	3,699540	41,31	16647,28
A21N	298	0,024030	0,018410	0,006350	7,160940	5,486180	1,892300	70,45	20994,10
B735	204	0,016790	0,015610	0,005990	3,425160	3,184440	1,221960	-37,26	-7601,04
B772	204	0,034400	0,032880	0,009990	7,017600	6,707520	2,037960	32,13	6554,52
B744	188	0,038180	0,034770	0,010480	7,177840	6,536760	1,970240	-63,37	-11913,14
A359	163	0,036120	0,034560	0,009130	5,887560	5,633280	1,488190	19,04	3103,52
B752	154	0,025550	0,020790	0,007320	3,934700	3,201660	1,127280	-12,70	-1955,80
A332	147	0,031750	0,032560	0,009400	4,667250	4,786320	1,381800	69,99	10288,53
B77L	97	0,034400	0,034990	0,010040	3,336800	3,394030	0,973880	-0,49	-47,53
B734	92	0,019710	0,015610	0,005990	1,813320	1,436120	0,551080	-67,56	-6215,92
A321	78	0,024030	0,018410	0,006350	1,874340	1,435980	0,495300	37,76	2945,28
B737	58	0,018900	0,018520	0,006750	1,096200	1,074160	0,391500	8,58	497,67
Top 20	8870								
					214,330260	196,427030	58,454830	Average ASE	21,99
					0,0241635	0,022145099	0,006590172		
					Lx	Ly	Lz		

LHD fueron 44: 17 "E1", 19 "E2" y 8 "L"
Ocupación en FL incorrecto: 45 minutos
FL cruzado sin autorización: 28
ANV no RVSM confirmada: 8
ANV no RVSM no confirmada: 3
Vuelos enviados por SEFG: 9270 líneas
Vuelos utilizados: 9235 líneas, pérdida 0.003%
ASE promedio de la muestra: 21,99 Ft.

Principales factores que aumentan el riesgo de colisión vertical en el FIR de SEFG:



- En cuanto al **movimiento aéreo** recibido por CARSAMMA, notamos las siguientes diferencias con respecto a lo solicitado:

04 aeronaves con registro en blanco;

22 líneas con aerovías en blanco o inexistentes;

617 líneas sin FIJOS;

123 líneas con tiempos equivocados; y

17 líneas duplicadas.

- El tiempo de LHD en una aerovía bidireccional y en sentido opuesto fue de **45 min** (alto).

- El tiempo total del LHD, que en la fórmula REICH se calcula como la probabilidad de superposición vertical total **$Pz(0)*Q = 4,65 E-7$** donde: **$Pz(0)$** probabilidad de superposición vertical, y **Q** el tiempo total en el nivel incorrecto.

- Otro punto de la fórmula de Reich tiene que ver con la ocupación del espacio RVSM, y tiene un alto resultado en el FIR en estudio, cómo:

$Ez(\text{mismo}) = 2Th(0) H 0,2789$. Donde: **$2$** número (constante) de accidentes; **$Th(0)$** tiempo de proximidad a la aeronave; **H** horas de vuelo de la muestra;

$\Delta V = 12,8$ Velocidad relativa entre aeronaves en la misma dirección;

$Nz(\text{mismo}) 0,0207$ = Frecuencia de pérdida de separación entre 2 aeronaves en la dirección longitudinal. O frecuencia de paso en la misma dirección;

$Nz(Op) 0,1007$ = Frecuencia de paso en la dirección opuesta;

$Nz(\text{equiv}) 0,1518 = Nz(op) + Nz(\text{mismo})$ **$C1, 1,833529$**
 $C2 1,021136$

Dónde:

$$c_1 = \left[1 + \frac{\lambda_x}{\lambda_y} \frac{|\bar{y}|}{|\Delta V|} + \frac{\lambda_x}{\lambda_z} \frac{|\bar{z}|}{|\Delta V|} \right]$$

$$c_2 = \left[1 + \frac{\lambda_x}{\lambda_y} \frac{|\bar{y}|}{2|\bar{V}|} + \frac{\lambda_x}{\lambda_z} \frac{|\bar{z}|}{2|\bar{V}|} \right]$$

- Se debe prestar atención al número de aviones "NO RVSM" **11** que sobrevuelan esta región.

- En el FIR SEFG, se recomienda una mayor cautela a la hora de aceptar la transferencia de tráfico desde FIR adyacentes, junto con la posibilidad de cambios en el nivel autorizado sin previo aviso por parte de la tripulación debido a los efectos instantáneos de los flujos orográficos en su ubicación geográfica.

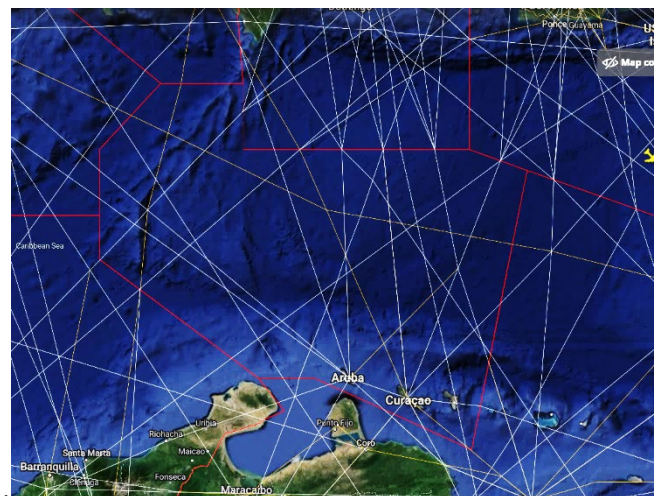
CURACAO – MUESTRA DE TRÁFICO

Type	# flight	Length	Wingspan	Height	Lx	Ly	Lz	ASE	Total
B738	915	0,021328	0,018521	0,00675	19,51512	16,94672	6,175335	12,53	11466,93
A320	582	0,020286	0,018413	0,00635	11,80645	10,71637	3,6957	65,73	38253,91
B38M	560	0,021312	0,019395	0,00664	11,93477	10,86134	3,719223	32,56	18233,72
B788	432	0,030778	0,032397	0,00918	13,2961	13,9955	3,965328	34,10	14731,36
B739	407	0,021328	0,018521	0,00675	8,680496	7,538047	2,746843	21,38	8701,37
A321	402	0,024033	0,018413	0,00635	9,661266	7,402026	2,5527	37,76	15181,37
B737	383	0,018898	0,018521	0,00675	7,237934	7,093543	2,584867	8,58	3286,32
A20N	234	0,020286	0,018413	0,00635	4,746924	4,308642	1,4859	55,38	12959,94
B763	201	0,029644	0,025702	0,00756	5,958444	5,166102	1,519359	-53,28	-10709,56
A332	199	0,031749	0,032559	0,0094	6,318051	6,479241	1,869605	63,06	12549,28
B772	178	0,034395	0,032883	0,00999	6,12231	5,853174	1,778042	32,13	5719,81
B77W	149	0,034395	0,034989	0,01004	5,124855	5,213361	1,496407	24,55	3657,76
B789	146	0,034017	0,034017	0,00918	4,966482	4,966482	1,340134	41,31	6031,02
A359	136	0,036123	0,034557	0,00913	4,912728	4,699752	1,241	-19,04	-2589,78
E190	125	0,019568	0,015507	0,00571	2,446	1,938375	0,713375	18,92	2365,47
A319	113	0,018272	0,018413	0,00064	2,064736	2,080669	0,071755	29,26	3305,95
B39M	103	0,022765	0,019395	0,00664	2,344752	1,997711	0,684071	-0,70	-72,10
MD81	70	0,024352	0,017737	0,00513	1,70464	1,24159	0,35903	-5,50	-385,00
A339	67	0,034341	0,032559	0,0091	2,300847	2,181453	0,609566	0,70	46,75
CRJ2	67	0,014454	0,011452	0,00336	0,968418	0,767284	0,224986	-4,59	-307,71
Top 20	5469								
					132,1113	121,4474	38,83323	Average ASE	26,04
					0,024156	0,022207	0,007101		
					Lx	Ly	Lz		

LHD fueron 27: 17 "E1", 8 "E2" y 2 "L"
Ocupación en FL incorrecto: 28 minutos
FL cruzado sin autorización: 29
ANV no RVSM confirmada: 0
ANV no RVSM no confirmada: 2
Vuelos enviados por TNCF: 6420 líneas
Vuelos utilizados: 6339 líneas, pérdida 0.0126%
ASE promedio de la muestra: 26,04 Ft.

Principales factores que aumentan el riesgo de colisión vertical en el FIR TNCF:

- En cuanto al **movimiento aéreo** recibido por CARSAMMA, notamos las siguientes diferencias con respecto a lo solicitado:



19 aeronaves con registro en blanco;

02 líneas sin Destino; y

14 líneas con tiempos incorrectos.

- El tiempo de LHD en una vía bidireccional y en la dirección opuesta fue de **27,5 min.**

- El tiempo total del LHD, que en la fórmula REICH se calcula como la probabilidad de superposición vertical total $Pz(0)*Q = 1,10 E-6$ donde: $Pz(0)$ probabilidad de superposición vertical, y Q el tiempo total en el nivel incorrecto.

- Otro punto de la fórmula de Reich tiene que ver con la ocupación del espacio RVSM, y tiene un alto resultado en el FIR en estudio, cómo:

$Ez(mismo) = 2Th(0) H 0,01487$. Donde: **2** número (constante) de accidentes; $Th(0)$ tiempo de proximidad a la aeronave; **H** horas de vuelo de la muestra;

$\Delta V = 26,2$ Velocidad relativa entre aeronaves en la misma dirección;

$Nz(mismo) 0,0173$ = Frecuencia de pérdida de separación entre 2 aeronaves en la dirección longitudinal. O frecuencia de paso en la misma dirección;

$Nz(Op) 0,1306$ = Frecuencia de paso en la dirección opuesta;

$Nz(equiv) 0,1602 = Nz(op) + Nz(mismo)$ **C1, 1,749131**
C2 1,021759

Dónde:

$$c_1 = \left[1 + \frac{\lambda_x}{\lambda_y} \frac{|\dot{y}|}{|\Delta V|} + \frac{\lambda_x}{\lambda_z} \frac{|\dot{z}|}{|\Delta V|} \right]$$

$$c_2 = \left[1 + \frac{\lambda_x}{\lambda_y} \frac{|\dot{y}|}{2|V|} + \frac{\lambda_x}{\lambda_z} \frac{|\dot{z}|}{2|V|} \right]$$

- Se debe prestar atención a la cantidad de aviones "NO RVSM" **02** que sobrevuelan esta región.

- La recomendación de esta Agencia (CARSAMMA) para la FIR TNCF es tener mayor cuidado al aceptar/transferir el control del tráfico, para devolver el riesgo a un nivel aceptable.

PANAMA – MUESTRA DE TRÁFICO

Type	# flight	Length	Wingspan	Height	Lx	Ly	Lz	ASE	Total
B738	7051	0,021328	0,018521	0,006749	150,3837	130,5916	47,5872	12,53	88364,28
A320	2645	0,020286	0,018413	0,00635	53,65647	48,70239	16,79575	65,73	173851,5
B39M	2428	0,022764	0,019395	0,006641	55,2724	47,09166	16,12549	-0,70	-1699,60
B763	1201	0,029644	0,025702	0,007559	35,60244	30,8681	9,078359	-53,28	-63990,97
B737	996	0,018898	0,018521	0,006749	18,82241	18,44692	6,722004	8,58	8546,15
A20N	805	0,020286	0,018413	0,00635	16,33023	14,82247	5,11175	55,38	44584,42
B38M	522	0,021312	0,019395	0,006641	11,12491	10,12432	3,466847	32,56	16996,43
B789	390	0,034017	0,034017	0,009179	13,26663	13,26663	3,57981	41,31	16110,27
B752	349	0,025551	0,020788	0,007322	8,917299	7,255012	2,555378	-12,70	-4432,96
B739	315	0,021328	0,018521	0,006749	6,71832	5,834115	2,125935	21,38	6734,48
A332	302	0,031749	0,032559	0,009395	9,588198	9,832818	2,83729	63,06	19044,64
A319	264	0,018272	0,018413	0,000635	4,823808	4,861032	0,16764	29,26	7723,63
A21N	238	0,024033	0,018413	0,00635	5,719854	4,382294	1,5113	70,45	16768,06
A359	175	0,036123	0,034557	0,009125	6,321525	6,047475	1,596875	-19,04	-3332,44
B722	155	0,021922	0,017765	0,005562	3,39791	2,753575	0,86211	48,88	7575,82
B772	126	0,034395	0,032883	0,009989	4,33377	4,143258	1,258614	32,13	4048,86
B744	123	0,038175	0,034773	0,010475	4,695525	4,277079	1,288425	-63,37	-7794,23
B788	113	0,030778	0,032397	0,009179	3,477914	3,660861	1,037227	34,10	3853,34
A321	94	0,024033	0,018413	0,00635	2,259102	1,730822	0,5969	37,76	3549,87
B77W	93	0,034395	0,034989	0,010043	3,198735	3,253977	0,933999	24,55	2283,03
Top 20	18385								
					417,9112	371,9464	125,2389	Average ASE	18,43
Typical ACFT					0,022731	0,020231	0,006812		
					Lx	Ly	Lz		

LHD fueron 75: 44 “E1”, 26 “E2” y 5 “L”
 Ocupación en FL incorrecto: 83 minutos
 FL cruzado sin autorización: 141
 ANV no RVSM confirmada: 0
 ANV no RVSM no confirmada: 7
 Vuelos enviados por TNCF: 19109 líneas
 Vuelos utilizados: 19109 líneas, pérdida 0.0 %
 Promedio de la muestra ASE: 18,43 Ft.

Principales factores que aumentan el riesgo de colisión vertical en el FIR MPZL:

- En cuanto al **movimiento aéreo** recibido por CARSAMMA, notamos que el archivo de datos de movimiento FIR RVSM estaba separado en 30 hojas de cálculo diarias, diferentes a las solicitadas.



- El tiempo de LHD en una vía aérea bidireccional y en sentido opuesto fue de **83,0 min.**
- El tiempo total del LHD, que en la fórmula REICH se calcula como la probabilidad de superposición vertical total $Pz(0)*Q = 3,71 E-7$ donde: $Pz(0)$ probabilidad de superposición vertical, y Q el tiempo total en el nivel incorrecto.
- Otro punto de la fórmula de Reich tiene que ver con la ocupación del espacio RVSM, y tiene un alto resultado en el FIR en estudio, cómo:

$Ez(mismo) = 2Th(0) H 0,01711$. Donde: **2** número (constante) de accidentes; $Th(0)$ tiempo de proximidad a la aeronave; **H** horas de vuelo de la muestra;

$\Delta V = 38,3$ Velocidad relativa entre aeronaves en la misma dirección;

$Nz(mismo) 0,0300 =$ Frecuencia de separación perdida entre 2 aeronaves en la dirección longitudinal. O frecuencia de paso en la misma dirección;

$Nz(Op) 0,0270 =$ Frecuencia de paso en la dirección opuesta;

$Nz(equiv) 0,0714 = Nz(op) + Nz(mismo) C1, 1,513153$

C2 1,022488

Dónde:

$$c_1 = \left[1 + \frac{\lambda_x}{\lambda_y} \frac{|\bar{y}|}{|\Delta V|} + \frac{\lambda_x}{\lambda_z} \frac{|\bar{z}|}{|\Delta V|} \right]$$

$$c_2 = \left[1 + \frac{\lambda_x}{\lambda_y} \frac{|\bar{y}|}{2|\bar{V}|} + \frac{\lambda_x}{\lambda_z} \frac{|\bar{z}|}{2|\bar{V}|} \right]$$

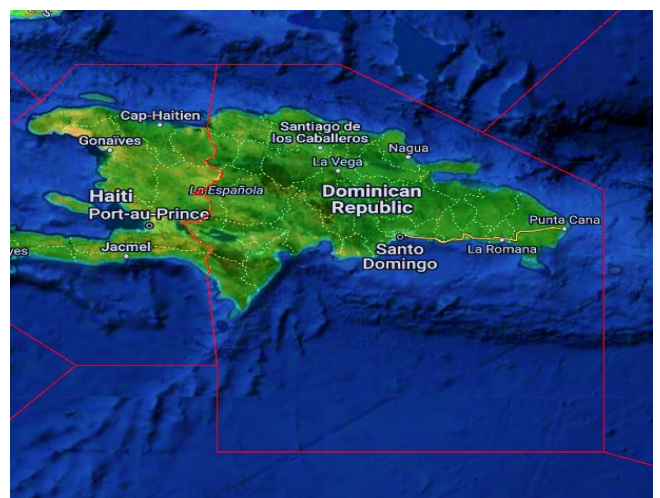
- Se debe prestar atención a la cantidad de aviones "NO RVSM" **07** que sobrevuelan esta región.
- En el caso de la FIR MPZL, debido al gran volumen de tráfico y a la ausencia de pérdidas durante la autorización de los movimientos aéreos, provocó una "dilución" de las ocurrencias de LHD, lo que mantuvo el riesgo por encima y cerca del TLS.
- La recomendación de esta Agencia (CARSAMMA) para el FIR MPZL es tener mayor cuidado al aceptar/transferir el control de tráfico, para devolver el riesgo a un nivel aceptable.

SANTO DOMINGO – MUESTRA DE TRÁFICO

Type	# flight	Length	Wingspan	Height	Lx	Ly	Lz	ASE	Total
B738	1979	0,021330	0,018520	0,006750	42,212070	36,651080	13,358250	12,53	24796,87
B38M	1211	0,021310	0,019400	0,006640	25,806410	23,493400	8,041040	32,56	39430,16
A320	955	0,020290	0,018410	0,006350	19,376950	17,581550	6,064250	65,73	62772,15
A321	729	0,024030	0,018410	0,006350	17,517870	13,420890	4,629150	37,76	27527,04
B739	715	0,034020	0,034020	0,009180	24,324300	24,324300	6,563700	21,38	15286,7
A20N	564	0,020290	0,018410	0,006350	11,443560	10,383240	3,581400	55,38	31234,32
E190	439	0,019570	0,015510	0,005710	8,591230	6,808890	2,506690	18,92	8305,88
B737	419	0,018900	0,018520	0,006750	7,919100	7,759880	2,828250	8,58	3595,02
A332	319	0,031750	0,032560	0,009400	10,128250	10,386640	2,998600	63,06	20116,14
B763	283	0,029640	0,025700	0,007560	8,388120	7,273100	2,139480	-53,28	-15078,2
B752	248	0,025550	0,020790	0,007320	6,336400	5,155920	1,815360	-12,70	-3149,6
B789	225	0,034020	0,034020	0,009180	7,654500	7,654500	2,065500	41,31	9294,75
A21N	223	0,024030	0,018410	0,006350	5,358690	4,105430	1,416050	70,45	15710,35
CRJ2	170	0,014450	0,011450	0,003360	2,456500	1,946500	0,571200	-4,59	-780,3
B39M	162	0,022770	0,019400	0,006640	3,688740	3,142800	1,075680	-0,70	-113,4
A319	158	0,018270	0,018410	0,000640	2,886660	2,908780	0,101120	29,26	4623,08
B772	151	0,034400	0,032880	0,009990	5,194400	4,964880	1,508490	32,13	4851,63
MD82	94	0,024350	0,017710	0,004890	2,288900	1,664740	0,459660	-15,76	-1481,14
B77W	70	0,034400	0,034990	0,010040	2,408000	2,449300	0,702800	24,55	1718,5
MD81	70	0,024352	0,017737	0,005129	1,704640	1,241590	0,359030	-5,50	-385
Top 20	9184								
					215,685290	193,317410	62,785700	Average ASE	27,03
					0,0234849	0,0210494	0,006836		
					Lx	Ly	Lz		

LHD fueron 47: 43 "E1", 02 "E2" y 2 "L"
Ocupación en FL incorrecto: 33 minutos
FL cruzado sin autorización: 27
ANV no RVSM confirmada: 2
ANV no RVSM no confirmada: 15
Vuelos enviados por MDCS: 10302 líneas
Vuelos utilizados: 10291 líneas, pérdida 0.001%
ASE promedio de la muestra: 27,03 Ft.

Principales factores que aumentan el riesgo de colisión vertical en el FIR MDCS:



- En relación con el movimiento aéreo recibido por CARSAMMA, 301 rutas son directas, es decir, sin aerovías incluidas en el AIP. Esto lleva a trabajar en la creación de nuevas rutas virtuales, lo que requiere tiempo y trabajo adicional por parte de los expertos de CARSAMMA.

- El tiempo de LHD en una vía aérea bidireccional y en sentido contrario fue de **33 min** (alto).

- El tiempo total del LHD, que en la fórmula REICH se calcula como la probabilidad de superposición vertical total $Pz(0)*Q = 2,88 E-7$ donde: $Pz(0)$ probabilidad de superposición vertical, y Q el tiempo total en el nivel incorrecto.

- Otro punto de la fórmula de Reich tiene que ver con la ocupación del espacio RVSM, y tiene un alto resultado en el FIR en estudio, cómo:

$Ez(\text{mismo}) = 2Th(0) H 0,1309$. Donde: **2** número (constante) de accidentes; $Th(0)$ tiempo de proximidad a la aeronave; **H** horas de vuelo de la muestra;

$\Delta V = 7,3$ Velocidad relativa entre aeronaves en la misma dirección;

$Nz(\text{mismo}) 0,0041$ = Frecuencia de pérdida de separación entre 2 aeronaves en la dirección longitudinal. O frecuencia de paso en la misma dirección;

$Nz(Op) 0,0962$ = Frecuencia de paso en la dirección opuesta;

$Nz(\text{equiv}) 0,1117 = Nz(op) + Nz(\text{mismo})$ **C1, 3,699827**
C2 1,021096

Dónde:

$$c_1 = \left[1 + \frac{\lambda_x}{\lambda_y} \frac{|\dot{y}|}{|\Delta V|} + \frac{\lambda_x}{\lambda_z} \frac{|\dot{z}|}{|\Delta V|} \right]$$

$$c_2 = \left[1 + \frac{\lambda_x}{\lambda_y} \frac{|\dot{y}|}{2|V|} + \frac{\lambda_x}{\lambda_z} \frac{|\dot{z}|}{2|V|} \right]$$

- Hay que prestar atención al número de **17** aviones "NO RVSM" que sobrevuelan esta región.

- El FIR MDCS se ubica entre rutas con un alto volumen de tráfico, y su extensión geográfica es relativamente pequeña, lo que deja poco tiempo para recibir mensajes y tomar decisiones, con esta Agencia (CARSAMMA) recomendando que se preste mayor atención a la coordinación en los puntos de comunicación transferencia (TCP).