



**Cuestión 3 del  
Orden del Día:**

**Presentación del Cálculo del Riesgo de Colisión Vertical Cuantitativo (CRM)**

**CÁLCULO DEL RIESGO DE COLISIÓN VERTICAL EN EL  
ESPACIO AÉREO RVSM DE LAS FIR CAR/SAM**

(Nota presentada por CARSAMMA)

<b>RESUMEN</b>	
Esta nota presenta un resumen del Cálculo del Riesgo de Colisión Vertical en las FIR CAR/SAM en el año de 2012, y el análisis con la metodología CRM propugnada por la OACI.	
<b>Referencias:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• <i>Manual sobre una separación vertical mínima de 300 m (1 000 ft) entre FL 290 y FL 410 inclusive - ICAO Doc 9574-AN/934, tercera edición - 2012.</i></li><li>• Movimiento de aeronaves en el espacio RVSM en el año 2012.</li><li>• Informes de Grandes Desviaciones de Altitud (LHD) en 2012.</li></ul>	
<b>Objetivos Estratégicos de la OACI:</b>	<i>A - Seguridad Operacional</i>

**1. Introducción**

1.1. El propósito de este trabajo es demostrar que los criterios de seguridad definidos en el Documento 9574 de la OACI continúan cumpliéndose en espacio aéreo RVSM de las Regiones CAR/SAM.

1.2. Este documento es el informe de análisis de los riesgos de colisión vertical del espacio aéreo RVSM en el año 2012 en las Regiones de Información de Vuelo (FIR) del Caribe y América del Sur, y se utilizó la metodología del Cálculo del Riesgo de Colisión Vertical (*Collision Risk Modeling - CRM*), para la realización del trabajo, como recomendado por la OACI, en el espacio aéreo RVSM.

**2. Contexto**

2.1. Entre las actividades de un RMA (como CARSAMMA) están hacer una evaluación constante de la utilización segura del espacio aéreo RVSM, utilizando para ello métodos cuantitativos (CRM) en la evaluación del riesgo de colisión.

2.2. Para la evaluación cuantitativa, se utiliza el Modelo del Riesgo de Colisión Vertical de REICH, recomendado por la OACI. Este es un modelo de base matemática intensiva que al final del tratamiento de los datos recibidos de movimiento aéreo de las FIR (hojas de cálculo que contiene los datos de los vuelos realizados en el espacio RVSM), se estima el TLS - Nivel Deseado de Seguridad - de la región de vuelo en estudio. Se utilizan varias herramientas de cálculo y bases de datos para la realización de los diferentes cálculos durante el proceso, y se emplean muchas horas de análisis de los expertos.

2.3. Esta Nota de Estudio contiene un resumen de los resultados de la evaluación del mantenimiento operativo de la seguridad (CRM) de la Separación Vertical Mínima Reducida de 300 metros (1.000 pies) en el espacio aéreo en las FIR del Caribe y América del Sur en 2012.

2.4. Esta etapa corresponde a la continuación de la estrategia de implementación del Doc 9574 – “*Manual sobre una Separación Vertical Mínima de 300 m (1,000 ft) entre FL 290 y FL 410 inclusive*”, de la OACI, Montreal, tercera edición-2012.

2.5. Según este documento, se debe hacer una evaluación para garantizar que las operaciones en el espacio aéreo RVSM no han inducido un aumento en el riesgo de colisión, y el riesgo total vertical no supere los objetivos de seguridad definidos en el manual citado.

2.6. La evaluación de seguridad RVSM se lleva a cabo en un período de doce meses de evaluación continua.

2.7. Se requiere atención especial para garantizar que:

- Todas las aeronaves que operan en el espacio aéreo de separación vertical mínima reducida tengan la certificación RVSM;
- La validez del proceso de certificación de la aeronave aún esté vigente;
- El Nivel Deseado de Seguridad (TLS) de  $5 \times 10^{-9}$  accidentes mortales por hora de vuelo (para el seguimiento de la realización de mantenimiento de altitud de una muestra representativa de las aeronaves) se siguen cumpliendo;
- El uso de la RVSM no aumenta el nivel de riesgo debido a errores operacionales y procedimientos de contingencia;
- Existe la evidencia de la estabilidad del sistema de altimetría (ASE) de la aeronave;
- La introducción de la RVSM no aumenta el nivel de los factores de riesgo, debido a errores operacionales y contingencias de vuelo, de acuerdo con un nivel predeterminado de confianza estadística;
- Las posibles medidas de seguridad adicionales efectivas sean adoptadas para reducir el riesgo de colisión y cumplir con los objetivos de la seguridad debido a los errores de manejo y en vuelo de contingencia;
- Existe evidencia de la estabilidad del Error del Sistema Altimétrico (ASE);
- Los procedimientos de control de tránsito aéreo siguen siendo eficaces.

2.8. Los procedimientos metodológicos utilizados se basan en la normativa recomendada por la OACI y aceptada internacionalmente como la más adecuada para la evaluación del espacio aéreo RVSM. La evaluación de los datos, las conclusiones y recomendaciones deducidas se presentarán al final.

### **3. Espacio aéreo RVSM CAR/SAM**

3.1. El espacio aéreo RVSM CAR/SAM se compone de 34 Regiones de Información de Vuelo (FIR), que constan de los siguientes Estados: Antigua, Antillas Holandesas, Argentina, Barbados, Belice, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica, Cuba, República Dominicana, Ecuador, El Salvador, Granada, Guadalupe, Guatemala, Guyana, Guyana Francesa, Haití, Honduras, Jamaica, Martinica, Nicaragua, Panamá, Paraguay, Perú, S. Bartolomé, S. Kitts y Nevis, Santa Lucía, San Vicente, Surinam, Trinidad y Tabago, Uruguay y Venezuela.

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

3.3. Se analizaron los datos de 4.276.427,20 horas de vuelo relativos a los aviones en tránsito que utilizaron tramos de 506 aerovías de las 34 (treinta y cuatro) FIR CAR/SAM, entre los niveles de vuelo 290 a 410.

3.4. En cuanto a la ocurrencia de desviaciones verticales (LHD) reportadas en las Regiones CAR/SAM, CARSAMMA ha recibido un total de 1.204 LHD durante el año 2012, que tras el análisis y la validación realizada por teleconferencias con la presencia de representantes de las Oficinas OACI de Lima y México, las FIR involucradas, la IATA y CARSAMMA, se consideraron válidas 1.065 para ser utilizadas en los cálculos del modelo de riesgo de colisión vertical (CRM).

## **FLUJO DE DATOS PARA EL CÁLCULO DEL RIESGO DE COLISIÓN VERTICAL**



### **4. Recopilación de los datos del movimiento de aeronaves**

4.1. Los datos de la muestra para estimar la frecuencia de paso y los parámetros físicos y la dinámica de una aeronave típica en la evaluación del riesgo de colisión vertical, fueron recogidos en el período del 01 a 31 de diciembre de 2012.

4.2. Fueron tratados los datos de movimiento de las aeronaves recibidos de las 34 FIR CAR/SAM, y estos datos se utilizaron para evaluar la seguridad del espacio aéreo RVSM, según lo recomendado por la OACI. El número de horas de vuelo recogido en cada FIR se muestra en la Tabla 1.

Estado	FIR	Horas de Vuelo	%
Antillas Holandesas	Curazao - TNCF	261887,4	6,1%
COCESNA	Central América - MHTG	381303,7	8,9%
Cuba	Habana – MUFH*	239056,4	5,6%
Haití	Port-au-Prince – MTEG	54972,3	1,3%
Jamaica	Kingston – MKJK*	109622,2	2,6%
República Dominicana	Santo Domingo – MDCS*	15742,1	0,4%
Trinidad & Tobago	Piarco – TTZP*	26268,5	0,6%
<b>Subtotal CAR</b>		<b>1.088.852,6</b>	<b>25,5%</b>
Argentina	Córdoba – SACU*	44678,0	1,0%
	Ezeiza – SAEU*	10370,4	0,2%
	Mendoza – SAME*	24462,6	0,6%
	Resistencia – SARU*	10687,4	0,2%
	Comodoro Rivadavia – SAVU*	2122,0	0,0%
Bolivia	La Paz - SLLF	53421,5	1,2%
Brasil	Atlántico - SBAO	125775,4	2,9%
	Amazónica - SBAZ	465886,9	10,9%
	Brasilia – SBBS*	267551,1	6,3%
	Curitiba - SBCW	226002,5	5,3%
	Recife - SBRE	468795,4	11,0%
Chile	Punta Arenas - SCCZ	6188,4	0,1%
	Santiago - SCEZ	54272,6	1,3%
	Antofagasta - SCFZ	77660,7	1,8%
	Isla de Pascua - SCIZ	57523,5	1,3%
	Puerto Montt - SCTZ	626,3	0,0%
Colombia	Barranquilla - SKEC	85131,5	2,0%
	Bogotá - SKED	243719,5	5,7%
Ecuador	Guayaquil – SEGU*	57693,1	1,3%
Guyana	Georgetown – SYGC*	8154,4	0,2%
Guyana Francesa	Rochambeau – SOOO*	15798,1	0,4%
Panamá	Panamá Oceanic – MPZL*	125547,9	2,9%
Paraguay	Asunción - SGFA	32733,3	0,8%
Perú	Lima - SPIM	521339,4	12,2%
Surinam	Paramaribo – SMPM*	7531,5	0,2%
Uruguay	Montevideo - SUEO	59945,4	1,4%
Venezuela	Maiquetía – SVZM*	134582,1	3,1%
<b>Subtotal SAM</b>		<b>3.187.574,6</b>	<b>74,3%</b>
<b>Total Regiones CAR/SAM</b>		<b>4.276.427,2</b>	<b>99,8%</b>

**Tabla 1 - Total de horas de vuelo en las Regiones CAR/SAM**

*En las FIR marcadas con \*(asterisco) se utilizaron datos de colecciones anteriores, actualizados a una tasa del 4,5% a.a.*

## 5. Población de Aeronaves

5.1. Es esencial que el 100% de la población de aeronaves aprobadas RVSM cumplan los requisitos RVSM. Sin embargo, durante esta evaluación de la seguridad, CARSAMMA detectó algunas aeronaves que no estaban en su base de datos RVSM y utilizaron este espacio durante el año 2012.

5.2. Esto llevó a una investigación a nivel mundial, conseguida gracias al apoyo de los organismos de monitoreo de otras regiones de la OACI, con el cruce de información en sus bases de datos. Al final se encontró que algunos de estos aviones en realidad no eran certificados RVSM por cualquier Estado.

5.3. Los informes que contienen la lista de aeronaves no certificadas se enviaron a las Oficinas de la OACI en Lima y México, las Autoridades de Aviación Civil del registro de las aeronaves para hacer los arreglos, y también fueron presentados en reuniones internacionales donde CARSAMMA asistió, siendo este parámetro considerado en el Modelo de Cálculo de Riesgo Vertical.

5.4. Tras la recepción de los datos de movimientos de aeronaves, CARSAMMA realizó una purificación y tratamiento de los mismos, mostrándose en la Tabla 2, los siguientes resultados, donde se visualiza la población de aeronaves que volaron en las FIR CAR/SAM, con sus dimensiones y el porcentaje de horas de vuelo, incluyendo un avión típico, que se utiliza como una dimensión basada en el Modelo de Cálculo de Riesgo Vertical.

Tipo ACFT	Longitud	Envergadura	Altura	Horas de Vuelo	Número de Vuelos	% de ACFT
B737	0.018898	0.018521	0.006749	9271.1	79648	29.06%
A320	0.020286	0.018413	0.000635	8036.3	69040	25.19%
B767	0.033153	0.028024	0.009071	3452.0	26910	9.82%
E190	0.019568	0.015507	0.057073	3067.5	26353	9.62%
B777	0.034395	0.034989	0.010043	2159.3	18551	6.77%
A330	0.034341	0.032559	0.090874	1388.5	11929	4.35%
A340	0.040659	0.03426	0.009341	1042.1	8953	3.27%
B757	0.029428	0.020545	0.007343	970.3	8336	3.04%
B747	0.038153	0.034795	0.010481	258.8	2223	0.81%
MD11	0.033261	0.028077	0.009465	256.1	2200	0.80%
B727	0.02521	0.017765	0.005562	129.0	1108	0.40%
F100	0.019184	0.015161	0.045896	125.4	1077	0.39%
E135	0.014217	0.01082	0.036501	104.6	899	0.33%
H25B	0.084233	0.089632	0.029697	100.0	859	0.31%
<b>Otras</b>	<b>0.031785</b>	<b>0.028505</b>	<b>0.023481</b>	<b>1540</b>	<b>15840</b>	<b>5.83%</b>
<b>Típica</b>	<b>0.024699</b>	<b>0.022407</b>	<b>0.015605</b>			
<b>Total</b>				<b>31901</b>	<b>273926</b>	<b>100.00%</b>

Tabla 2 - Aeronaves volando en niveles RVSM en las FIR CAR/SAM, que incluye niveles entre 290 y 410.  
(Las medidas de tamaño están en millas náuticas)

5.5. Ya en las primeras etapas de los datos tratados introducidos en el procesamiento del cálculo del riesgo, se pueden ver algunos productos en los índices estimados del número de ocurrencias de LHD y características de la población de aeronave que utilizan las aerovías RVSM.

## 6. Tramos más volados en las FIR CAR/SAM

6.1. El Gráfico 1 muestra un índice en que el número de LHD que se produjo en un tramo de la aerovía, se dividió por el movimiento total de aeronaves que voló la misma ruta.

6.2. En el gráfico sólo aparece un índice estimado en los 40 tramos de aerovías voladas sobre las Regiones CAR/SAM, pero los cálculos se basaron en todas las piezas de las aerovías voladas y puede tenerse en cuenta que los tramos de las aerovías en las que existe una mayor tasa son los siguientes:

- VESKA / REPIS - UA315 - FIR CURACAO (TNCF) ANTILLAS
- BUSMO / ASIKO - UA321 - FIR BOGOTA (SKED) COLOMBIA
- ITAKI / DORKA - UL550 - FIR ANTOFAGASTA (SCFZ) CHILE
- UGUPI / BUXOS - UL780 - FIR BOGOTA (SKED) COLOMBIA

6.3. Los índices muestran que en estos tramos hay una mayor ocurrencia de LHD, no siendo necesariamente de responsabilidad de la FIR en la que ocurrió el evento.

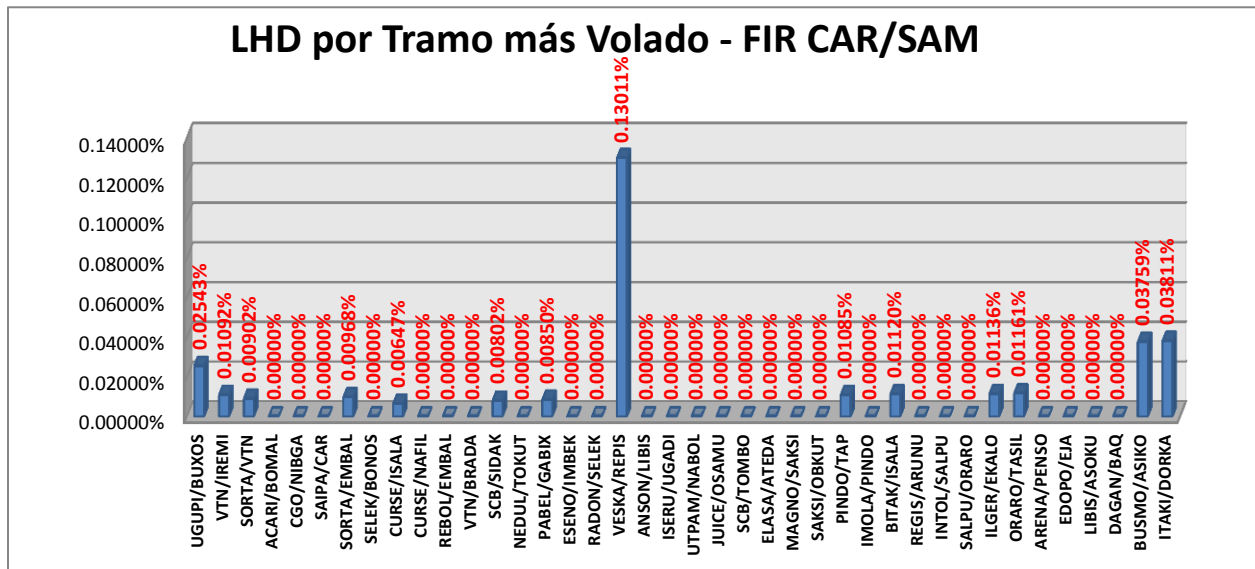


Gráfico 1: LHD por tramo más volado en las FIR CAR/SAM en 2012.

## 7. Índices de las horas del día con mayor número de LHD en las FIR CAR/SAM

7.1. En este punto, se presentan dos gráficos. Al primero le llamaremos Gráfico 2a, donde se muestra la distribución de los movimientos de aeronaves durante las horas diurnas.

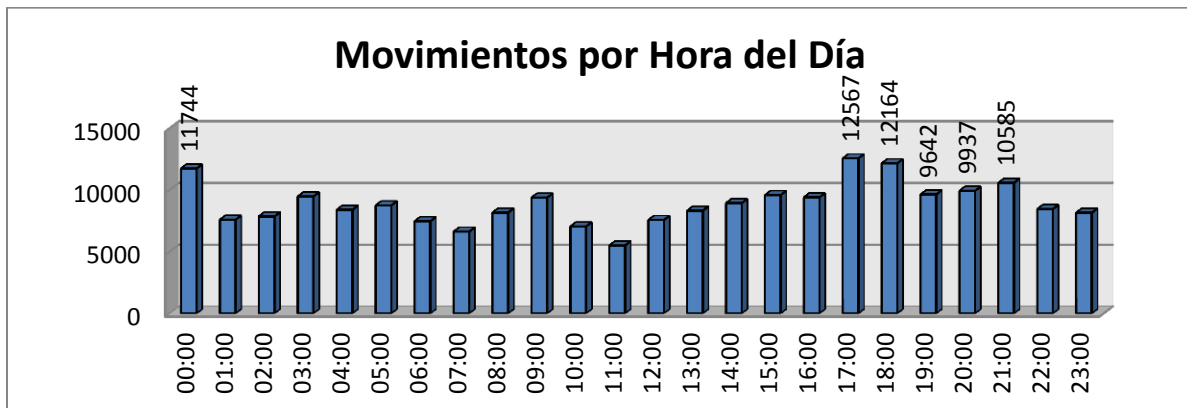


Gráfico 2a - Índice LHD por hora (UTC)

7.2. El segundo gráfico es el Gráfico 2b, y contiene una tabla en la que se hace una comparación entre el número de LHD que se producen en un momento determinado y el número de movimientos de aeronaves en el mismo intervalo de tiempo.

7.3. Cuanto mayor es el número de índice, mayor es el número de LHD que se produjo en ese momento del día, y se dio cuenta que los tiempos en que se presentaron más LHD fueron:

- 16:00-17:00 ... 0.9030
- 14:00-15:00 ... 0.8455
- 18:00-19:00 ... 0.7951
- 15:00-16:00 ... 0.7491

7.4. Para reducir estas tasas, se debe prestar atención en la cuestión de la transferencia de la coordinación del tráfico y la comunicación en los tiempos indicados.

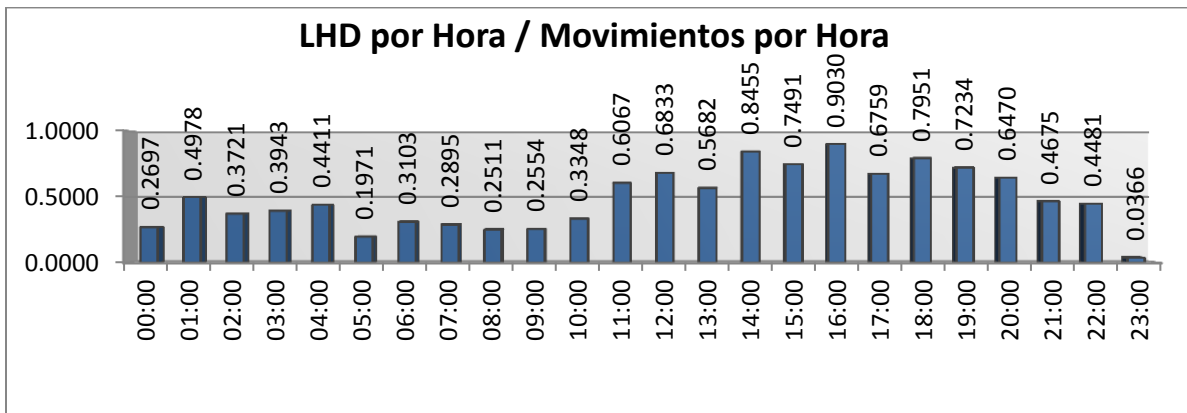


Gráfico 2b – Índice de LHD por hora del día

## 8. Contenido de los días de la semana para alzas del número de LHD en FIR CAR/SAM

8.1. Según consta en los datos de movimiento de las aeronaves sometidas a esta Agencia, el mayor volumen de tráfico se concentra en los fines de semana, decayendo domingos hasta llegar al mínimo los miércoles, cuando vuelve a subir hasta el sábado, como se muestra en el Gráfico 3a.

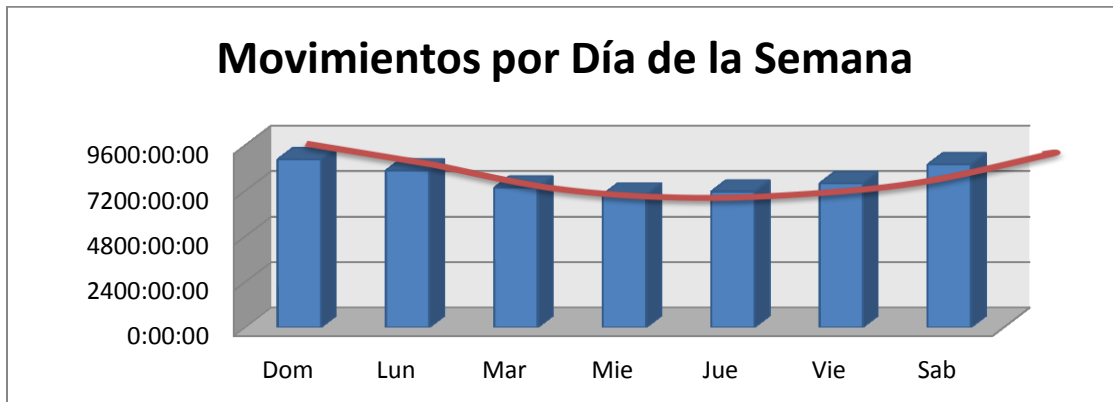


Gráfico 3a - Movimientos por día de la semana

8.2. Los eventos LHD distribuidos por días de la semana no siguen el flujo esperado de los movimientos de aeronaves, como se presente en el índice que se muestra a continuación en el Gráfico 3b, donde se perciben menos LHD los fines de semana.

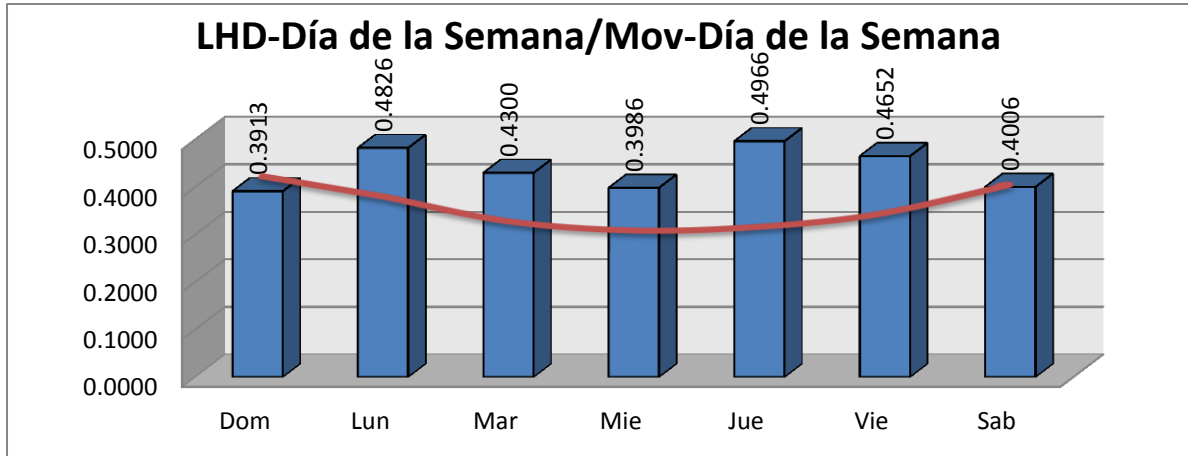


Gráfico 3b – Índice LHD por día de la semana

9. **Índices de tipos de aeronaves con más alto número de LHD en las FIR CAR/SAM**

9.1. Los tipos de aeronave que más volaron sobre la FIR CAR/SAM son de las familias: B737, A320, B767, E190, B777, A330, A340, B757, B747 y MD11. Analizando el Gráfico 4a, se encuentra el porcentaje de LHD de la familia de aviones B777, B767 y B757 muy alto en comparación con otros componentes de la muestra y se debe investigar el por qué de este resultado por un equipo de expertos en aeronavegabilidad.

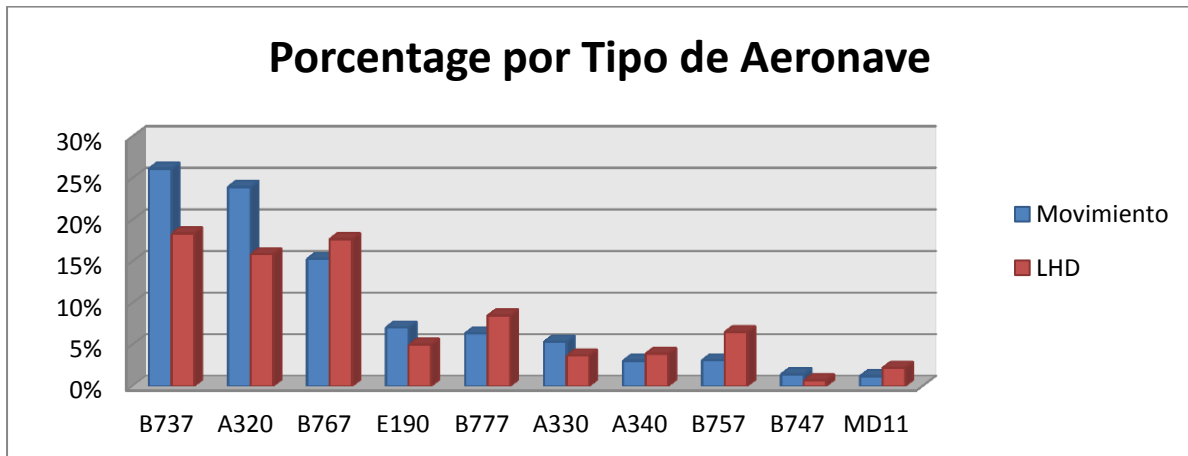


Gráfico 4a - Porcentaje de LHD por tipo de aeronave

9.2. Como se indica en el Gráfico 4b a continuación, la relación de LHD por tipo de movimientos de aeronaves y el avión según su tipo, no sigue la distribución esperada. Cuanto más alto es el índice, mayor es el número de LHD por tipo de aeronave.

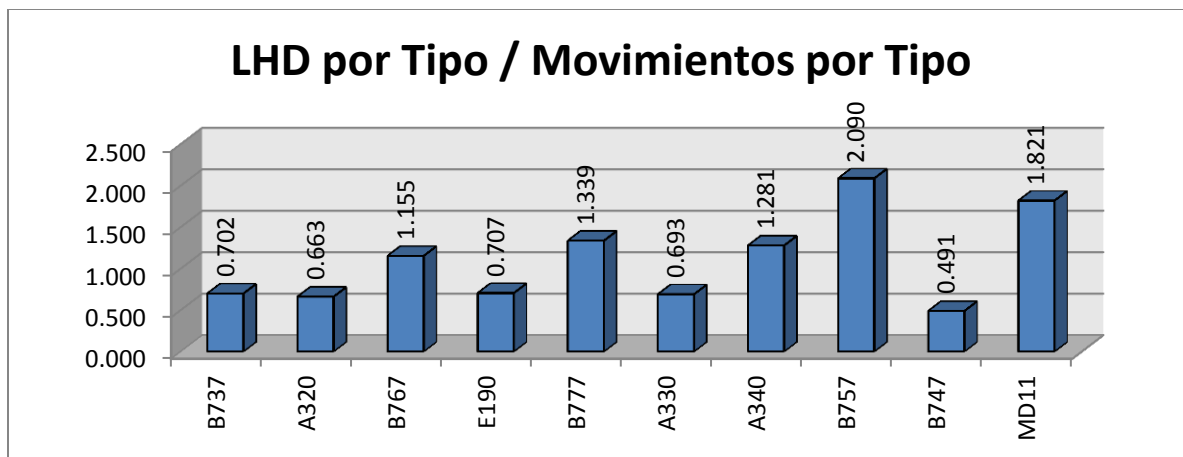


Gráfico 4b – Índice de LHD por tipo de aeronave

10. **Índices de los LHD por aerovías más voladas en las FIR CAR/SAM**

10.1. En la muestra recibida de los movimientos de aeronaves, las diez (10) aerovías más voladas sobre la FIR CAR/SAM son: UA301, UA317, UG439, UL780, UW33, UW24, UL302, UA321, UM782 y UZ37.

10.2. Después de la escisión de los LHD que se produjo en estas aerovías, dividimos estos datos LHD por el movimiento de aeronaves, dando lugar al índice que se muestra en el Gráfico 5.

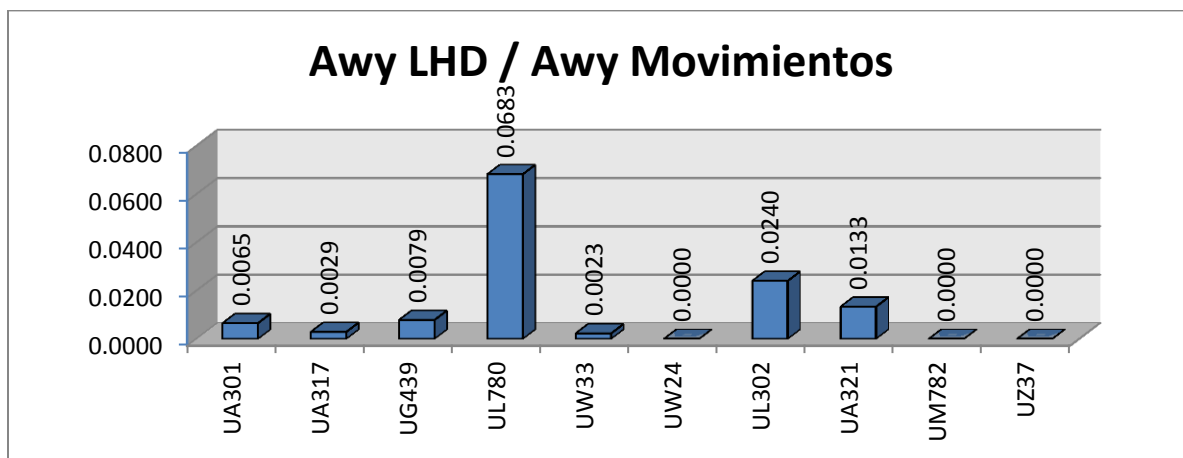


Gráfico 5 - Índice de LHD por aerovía

10.3. Hay que recordar que mientras más alto es el índice, mayor es el número de ocurrencias. Llama la atención el índice 0,0683 atribuido a la aerovía UL780, donde se recomienda especial atención al tráfico de funcionamiento de la misma.

10.4. Esto se representa en la Tabla 3, con los números que se encuentran en nuestro análisis.

Aerovia	Mov	LHD
UA301	1689	11
UA317	1383	4
UG439	1018	8
UL780	952	65
UW33	877	2
UW24	832	0
UL302	832	20
UA321	825	11
UM782	749	0
UZ37	725	0

Tabla 3 - Movimiento en las aerovías y el número de LHD

11. Índices de los niveles de vuelo LHD y niveles de vuelo más utilizados en RVSM

11.1. Con la distribución de los niveles de vuelo de la muestra, se obtiene el Gráfico 6a, donde se puede notar el nivel de vuelo 360 como el más volado en el espacio aéreo RVSM.

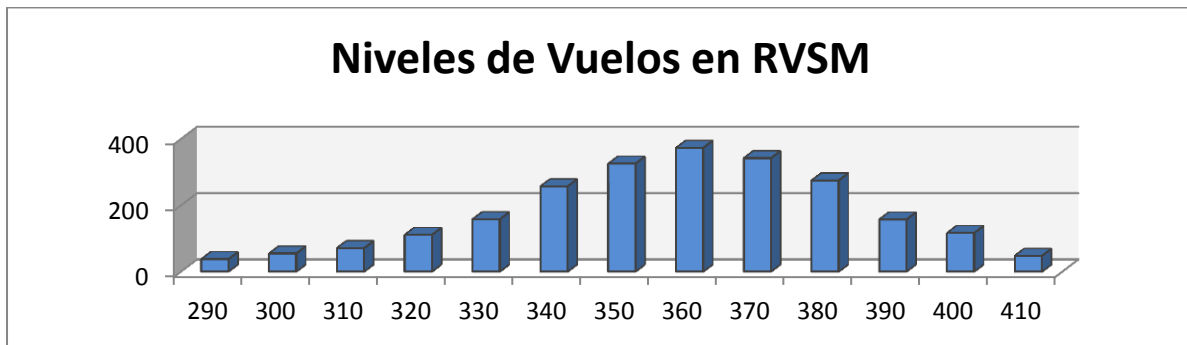


Gráfico 6a - El uso de niveles de vuelo RVSM

11.2. Si se tiene en cuenta el número de LHD por los niveles de vuelo de ocurrencia, dividido por el número de movimientos de aeronaves en sus respectivos niveles, se obtienen los índices que se muestran en el Gráfico 6b.

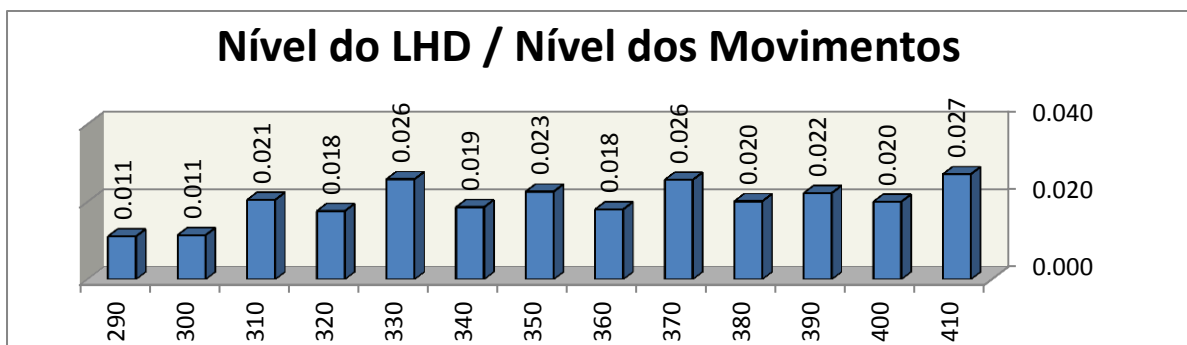


Gráfico 6b - Índice de ocurrencia LHD por niveles de vuelo RVSM

11.3. Entendemos que la mayoría de los proyectos de construcción de aeronaves se calculan para una característica de niveles de crucero óptimos alrededor de FL350 a FL370, por varias razones.

11.4. Sin embargo, hay que tener en cuenta que esto plantea la tasa de ocupación y la frecuencia de paso de estos niveles, a expensas de los demás niveles disponibles en el espacio aéreo RVSM.

11.5. Se recomienda que los fabricantes de aeronaves comprendan y estudien el problema, y si es posible, consigan una alternativa a este hecho, ya que la acumulación en la proximidad de estos niveles afecta directamente el riesgo de colisión y la gestión de flujo aéreo.

## 12. Evaluación de la seguridad del riesgo de colisión (CRM)

12.1. Esta sección concluye y considera los resultados de la evaluación de la seguridad del espacio aéreo RVSM dentro de las FIR CAR/SAM.

12.2. Por lo tanto, la metodología de riesgo de colisión aceptada internacionalmente (CRM) se ha aplicado en la evaluación de la seguridad del espacio aéreo RVSM del Caribe y América del Sur.

12.3. En esta etapa del análisis de la visualización de datos, el uso masivo de la informática se utiliza con el fin de conocer los resultados finales del modelo de riesgo de colisión. Describimos brevemente cómo se utilizan y combinan los datos derivados de la muestra tratada del movimiento aéreo, junto con los datos validados de LHD.

12.4. Los datos de movimiento de las aeronaves ya depurados, fueron añadidos a los datos de Grandes Desviaciones de Altitud (LHD) emitidos durante el año 2012 por la FIR en cuestión, y se recopilaron y analizaron durante teleconferencias mensuales producidas con la participación de expertos de la FIR en cuestión, más funcionarios de las Oficinas Regionales de Lima y México de la OACI, y CARSAMMA. IATA también participa en estas teleconferencias como consultora invitada.

12.5. Durante la Conferencia, el LHD se valida, los valores de los parámetros encontrados se fusionarán y se colocan en la Fórmula General del Modelo del Riesgo de Colisión de REICH, que se muestra en el siguiente capítulo.

12.6. En la Figura 1 se describe geoméricamente una vista del espacio aéreo RVSM en el que dos aviones se mantienen separados a 1000 pies dentro de su envolvente de seguridad.

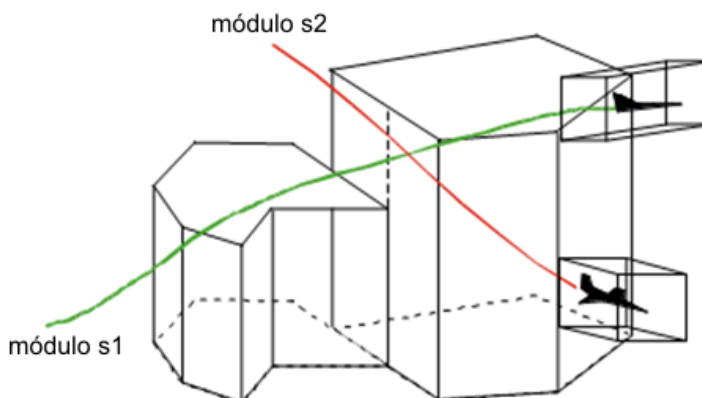


Figura 1 – Figura Geométrica del Modelo del Riesgo de Colisión (CRM)

### 13. Las estimaciones de los parámetros de CRM

$$N_{az}^T = P_z(S_z)P_y(0) \left\{ N_x(\text{mismo}) \left[ 1 + \frac{\lambda_x |\bar{y}|}{\lambda_y |\Delta V|} + \frac{\lambda_x |\bar{z}|}{|\Delta V| \lambda_z} \right] + N_x(\text{op}) \left[ 1 + \frac{\lambda_x |\bar{y}|}{2 \lambda_y |\bar{V}|} + \frac{\lambda_x |\bar{z}|}{2 |\bar{V}| \lambda_z} \right] \right\}$$

Figura 2 - Fórmula General del Modelo del Riesgo de Colisión de REICH

13.1. La cantidad y el material de base utilizado para estimar los valores de cada uno de los parámetros inherentes al modelo de riesgo de colisión aceptado internacionalmente (CRM) que se utiliza para realizar la evaluación de la seguridad para el espacio aéreo RVSM, se resume en la Tabla 4.

Parámetro	Descripción	Valor
$\lambda_x$	Longitud media de la muestra de las aeronaves.	<b>0.024699 nm</b>
$\lambda_y$	Envergadura media de la muestra de las aeronaves.	<b>0.022407 nm</b>
$\lambda_z$	Altura media de la muestra de las aeronaves.	<b>0.015605 nm</b>
$ \bar{V} $	Velocidad media de la muestra de las aeronaves.	<b>441.92 kt/h</b>
$ \Delta V $	Velocidad media en la misma dirección con respecto a la muestra de las aeronaves.	<b>36.96 kt/h</b>
$ \bar{y} $	Velocidad media relativa a la aproximación en cruz de la muestra de las aeronaves.	<b>13 kts</b>
$ \bar{z} $	Velocidad vertical media durante la pérdida de la separación vertical relativa de las aeronaves en la muestra.	<b>1,5 kts</b>
$P_z(0)$	Probabilidad de dos aeronaves con el mismo nivel sean calificadas en superposición vertical de la muestra de las aeronaves.	<b>0,398840</b>

Tabla 4: Estimación de parámetros en CRM

**14. Demostración de la viabilidad técnica de aplicación de la RVSM en las Regiones CAR/SAM**

14.1 Se trata de la evaluación de los resultados del seguimiento de los valores de los parámetros del modelo del riesgo de colisión de REICH:

- Frecuencia de Paso ( $N_x$ );
- Probabilidad de superposición vertical  $P(SZ)$ ; y
- Probabilidad de superposición lateral  $P_y(0)$ .

Para demostrarlo se alcanzaron los siguientes objetivos:

- Proporcionar confianza en el cumplimiento de los TLS técnicos; y
- Acreditar la estabilidad de ASE.

**15. Especificaciones de rendimiento total del sistema**

**15.1 Frecuencia de paso,  $N_x$**

15.1.1 Es el parámetro que caracteriza el espacio aéreo de la aeronave a la exposición al riesgo de colisión vertical. La estimación de la frecuencia de paso se hizo considerando las aeronaves equivalentes volando en la misma dirección y en direcciones opuestas, como se muestra en la Tabla 5.

FIR Región CAR	Frecuencia de Paso			Tiempo de Vuelo Horas
	Misma Dirección	Dirección Opuesta	Equivalente	
Curazao - TNCF	0,024044	0,011425	<b>0,004336</b>	261887,4
Central América - MHTG	0,038108	0,002754	<b>0,039457</b>	381303,7
Habana - MUFH	0,110520	0,029532	<b>0,057007</b>	239056,4
Port au Prince - MTEG	0,018274	0,000922	<b>0,117081</b>	54972,3
Kingston - MKJK	0,020314	0,004873	<b>0,049474</b>	109622,2
Santo Domingo - MDCS	0,039699	0,001619	<b>0,082836</b>	15742,1
Piarco - TTZP	0,117636	0,026668	<b>0,024274</b>	26268,5
<b>Región SAM</b>				
Córdoba - SACU	0,017626	0,001630	<b>0,029310</b>	44678,0
Ezeiza - SAEU	0,008824	0,012425	<b>0,097932</b>	10370,4
Mendoza - SAME	0,079313	0,004619	<b>0,008839</b>	24462,6
Resistencia - SARU	0,029489	0,024363	<b>0,030814</b>	10687,4
Comodoro Rivadavia - SAVU	0,061578	0,030721	<b>0,042071</b>	2122,0
La Paz - SLLF	0,044173	0,006366	<b>0,064891</b>	53421,5
Atlántico - SBAO	0,040483	0,037007	<b>0,054395</b>	125775,4
Amazónica - SBAZ	0,021164	0,004075	<b>0,032771</b>	465886,9
Brasilia - SBBS	0,065161	0,008970	<b>0,043621</b>	267551,1
Curitiba - SBCW	0,040441	0,008619	<b>0,031262</b>	226002,5
Recife - SBRE	0,038304	0,001341	<b>0,019926</b>	468795,4
Punta Arenas - SCCZ	0,006334	0,001730	<b>0,047845</b>	6188,4
Santiago - SCEZ	0,042159	0,039532	<b>0,017739</b>	54272,6
Antofagasta - SCFZ	0,051411	0,005873	<b>0,028543</b>	77660,7
Isla de Pascua - SCIZ	0,000381	0,002320	<b>0,005336</b>	57523,5
Puerto Montt - SCTZ	0,088626	0,050821	<b>0,016696</b>	626,3

FIR Región CAR	Frecuencia de Paso			Tiempo de Vuelo Horas
	Misma Dirección	Dirección Opuesta	Equivalente	
Barranquilla - SKEC	0,031446	0,001564	<b>0,048437</b>	85131,5
Bogotá - SKED	0,027635	0,001619	<b>0,039079</b>	243719,5
Guayaquil - SEGU	0,036594	0,023206	<b>0,055791</b>	57693,1
Georgetown - SYGC	0,032933	0,028708	<b>0,031749</b>	8154,4
Rochambeau - SOOO	0,037253	0,009715	<b>0,061991</b>	15798,1
Panamá Oceanic - MPZL	0,034550	0,029543	<b>0,051922</b>	125547,9
Asunción - SGFA	0,019023	0,004873	<b>0,014106</b>	32733,3
Lima - SPIM	0,020871	0,001491	<b>0,046225</b>	521339,4
Paramaribo - SMPM	0,042259	0,035079	<b>0,010640</b>	7531,5
Montevideo - SUEO	0,024592	0,015808	<b>0,027409</b>	59945,4
Maiquetia - SVZM	0,057762	0,032294	0,042071	134582,1
<b>Total</b>				<b>4.276.427,2</b>

**Tabla 5 – Frecuencia de Paso en las FIR CAR/SAM**

15.1.2 Los valores son relativos al sistema de espacio aéreo CAR/SAM, que está representado por 34 FIR consideradas. La frecuencia máxima de paso indica los lugares con mayor riesgo potencial de colisión. Es importante destacar que las frecuencias de paso indicadas en la Tabla 5 se calcularon basándose en el total de horas de vuelo en las Regiones CAR/SAM. Algunas observaciones se hacen a continuación:

- El pico más alto de frecuencia de paso equivalente, lo que representa la mayor exposición al riesgo de colisión vertical es en la FIR Port-au-Prince - MTEG ocupando el puesto 18º con un tiempo total de vuelo de 54.972,3h;
- La FIR Lima - SPIM es la que tiene el mayor número de horas de vuelo (521.339,4h), pero tiene sólo el 13º de mayor frecuencia de paso;
- La FIR Curazao - TNCF tiene la más baja frecuencia de paso y es el 6º en el número total de horas de vuelo (261.887,4 h); y
- La FIR Puerto Montt - SCTZ tiene el menor número total de horas de vuelo (626.3h), y es el 29º en el paso de frecuencia.

## 15.2 Probabilidad de superposición vertical, $P_z$ (1000)

15.2.1 El software utilizado por CARSAMMA fue amablemente cedido por RMA Australia (AAMA) para el seguimiento de los errores totales verticales (TVE). El software utilizado fue desarrollado originalmente por la FAA (EE.UU.).

15.2.2 El valor estimado de  $P_z$  (1000) utilizado en nuestros cálculos era  $2,46 \times 10^{-8}$ , de acuerdo con el software descrito anteriormente.

## 15.3 Probabilidad de superposición lateral, $P_y$ (0)

15.3.1 De acuerdo con el Doc 9574, la probabilidad de superposición lateral debe de ser evaluada periódicamente.

15.3.2 Para evaluar el riesgo de colisión operativo se consideró que  $P_y(0)$  no supera el valor de 0,058 de acuerdo con el Doc 9574.

### 15.4 Estimación del riesgo total de colisiones

15.4.1 La Tabla 6 contiene los grupos de parámetros físicos y dinámicos estimados con el Modelo del Riesgo de Colisión de REICH, así como los parámetros clave de supervisión, separados por FIR.

15.4.2 Todos los parámetros se determinan con base en el espacio aéreo de cada Región como un sistema aislado.

FIR	Ez(mismo)	$\Delta V$ (mismo)	Ez(op)	$\Delta V$ (op)	Ez(cruz)	V
TNCF	0,024044	32,7920784	0,011425	745,8876	0,004336	446,4603
SACU	0,038108	20,3980840	0,002754	773,2106	0,039457	457,9589
SAEU	0,11052	18,7151208	0,029532	720,7874	0,057007	424,4376
SAMV	0,018274	32,0485215	0,000922	0	0,117081	449,2757
SARU	0,020314	32,2620879	0,004873	727,6941	0,049474	437,2073
SAVU	0,039699	30,3197728	0,001619	0	0,082836	427,6777
SLLF	0,117636	44,0907429	0,026668	740,3905	0,024274	445,9972
SBAO	0,017626	43,5924565	0,00163	766,4929	0,02931	452,1522
SBAZ	0,008824	36,1706131	0,012425	730,3422	0,097932	436,8739
SBBS	0,079313	34,9274625	0,004619	715,5527	0,008839	421,2162
SBCW	0,029489	40,5096000	0,024363	694,6865	0,030814	374,3227
SBRE	0,061578	24,0313240	0,030721	748,4618	0,042071	435,0341
SCCZ	0,044173	34,4827580	0,006366	744,8582	0,064891	435,6851
SCEZ	0,040483	59,5626021	0,037007	0	0,054395	408,8836
SCFZ	0,021164	19,2924965	0,004075	808,6304	0,032771	433,6195
SCIZ	0,065161	38,1231600	0,00897	823,1373	0,043621	473,1188
SCTZ	0,040441	33,9622640	0,008619	0	0,031262	572,7655
MHTG	0,038304	10,0791209	0,001341	789,1645	0,019926	460,9762
SKEC	0,006334	20,6620171	0,00173	768,2203	0,047845	466,8695
SKED	0,042159	26,5693414	0,039532	787,2296	0,017739	458,388
MUFH	0,051411	12,2695355	0,005873	757,4365	0,028543	447,1952
SEGU	0,000381	72,5207544	0,00232	797,4456	0,005336	456,2195
SYGC	0,088626	40,2439020	0,050821	783,2017	0,016696	457,3999
SOOO	0,031446	34,1296920	0,001564	837,4134	0,048437	485,221
MTEG	0,027635	1,6309600	0,001619	631,8305	0,039079	383,6303
MKJK	0,036594	9,8873674	0,023206	761,8324	0,055791	452,8507
MPZL	0,032933	28,0766388	0,028708	725,2353	0,031749	431,3895
SGFA	0,037253	38,6951724	0,009715	606,8332	0,061991	383,7195
SPIM	0,03455	28,5799246	0,029543	781,7613	0,051922	457,1201
MDCS	0,019023	30,7812320	0,004873	691,0607	0,014106	433,7309
SMPM	0,020871	24,7667801	0,001491	816,9272	0,046225	455,6119
TTZP	0,042259	31,0312619	0,035079	797,8035	0,01064	433,0915
SUEO	0,024592	28,3135467	0,015808	823,1415	0,027409	449,854
SVZM	0,057762	47,5936158	0,032294	812,1153	0,042071	469,7325

Tabla 6: Parámetros físicos y dinámicos usados en el modelo del riesgo de colisión de REICH

### 15.5 Gráfico del Riesgo de Colisión Vertical en las FIR CAR/SAM

15.5.1 El Grafico 4a presenta el riesgo de colisión vertical por mes en las FIR CAR/SAM en 2012. Se nota que en febrero el riesgo era  $1,119E-08$ , muy por encima del TLS.

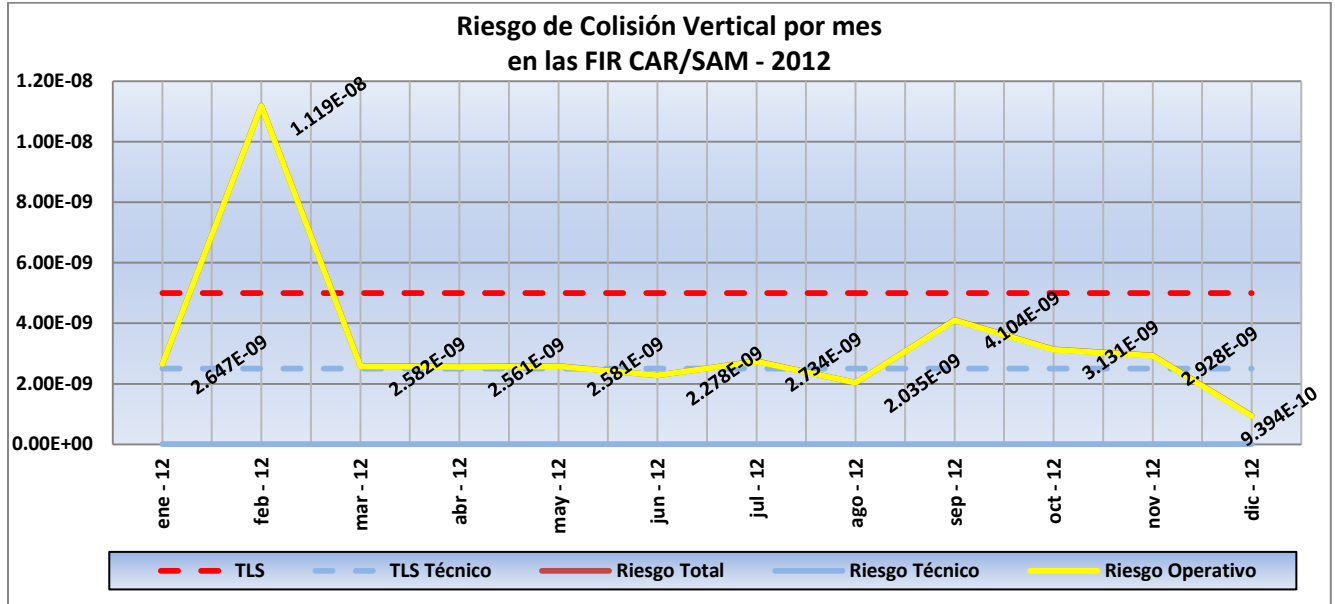


Gráfico 4a: Riesgo de Colisión Vertical 2012

15.5.2 En el Gráfico 4b se amplió esta tabla para mostrar qué FIR tuvo su mayor riesgo en febrero. Este aumento del riesgo se debe a LHD llenados por las FIR Piarco, Maiquetía, Guayaquil y Resistencia. Debe entenderse que la FIR que llenó los informes LHD tiene mayor riesgo, pero debido a las fallas causadas por las FIR adyacentes de su espacio aéreo.

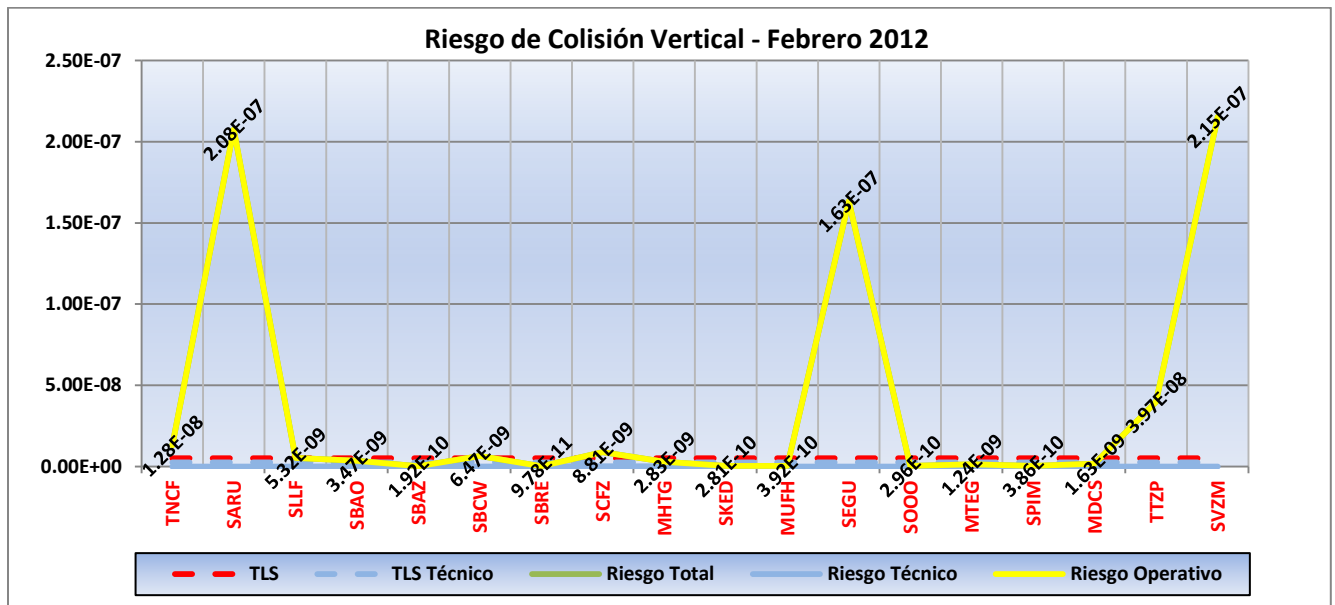


Gráfico 4b: Riesgo de Colisión Vertical en febrero 2012

15.5.3 En las figuras 3abcd que se muestran abajo están condensados algunos de los informes LHD de febrero 2012, lo que contribuyó al aumento de los riesgos operativos por encima de los TLS.

Report #: 171	POSITION: MINDA	MINDA	MODE C: NO	HT LHD: 2,000
DATE: 02/16/12	HOUR: 5:56	FLIGHT ID: AAL992	REGISTRATION: N353AA	CLRD FL: 360
ROUTE: SBCF (Confins) UA324 POS UL337 KMIA (Miami)		ACFT TYPE: B763	EVENT FL: 380	DURATION: 180
REPORTING UNIT: PIARCO	FIR ERROR: GEORGETOWN	IMC / VMC: V	XFL SAME: 1	CODE: M
OTHER ACFT (2º): 0		DISTANCE: 80	POSITION 2º ACFT: 0	XFL OPS: 1
CAUSE: ATC LOOP ERROR			GTE TIME: 180	FL 2º ACFT: 0
			GTE CODE: M	

1. AT TIME 05:22 GEORGETOWN ACC COORDINATED NA ESTIMATE ON AAL992 WITH PIARCO ACC AT MINDA AT 05:52 FL360. 2. PIARCO ACC APPROVED FL360 ON AAL992. 3. AT 05:56 GEORGETOWN ACC REQUESTED A CONFIRMATION ON THE LEVEL APPROVED BY PIARCO ACC ON AAL992 AT MINDA AND WAS ADVISED THE LEVEL APPROVED. 4. GEORGETOWN ACC THEN ADVISED PIARCO ACC THAT AAL992 CROSSED POSITION MINDA AT 05:53 AND WAS AT FL380. (THREE MINUTES INTO PIARCO FIR AT FL380) GEORGETOWN ACC THEN REQUESTED APPROVAL OF FL380 FOR AAL992. 5. PIARCO ACC WAS UNABLE TO APPROVE AAL992 MAINTAINING FL380 AND THE A/C WAS DESCENDED TO FL360. 6. NO OTHER A/C IN PIARCO FIR WAS AFFECTED BY THIS ERROR.

**LHD de la FIR Piarco reporta FIR de Georgetown. El nivel de vuelo era diferente, en el tiempo de 3 minutos.**

Report #: 188	POSITION: VUMPI	VUMPI	MODE C: NO	HT LHD: 0
DATE: 02/19/12	HOUR: 18:44	FLIGHT ID: ANS614	REGISTRATION: 0	CLRD FL:
ROUTE: UL304		ACFT TYPE: A320	EVENT FL: 340	DURATION: 2,460
REPORTING UNIT: MAIQUETIA	FIR ERROR: AMAZONICA	IMC / VMC: V	XFL SAME: 0	CODE: N
OTHER ACFT (2º): 0		DISTANCE: 80	POSITION 2º ACFT: 0	XFL OPS: 0
CAUSE: ERROR OPERACIONAL EN EL CICLO DE LAS COORDINACIONES ATC			GTE TIME: 2,460	FL 2º ACFT: 0
			GTE CODE: N	

EL ACC AMAZONICO NO EFECTUO LA COORDINACIÓN NI ESTIMADO DEL ANS614 CON FL340 SOBRE LA POSICION VUMPI. ANS614 REPORTO AL ACC DE MAIQUETIA EN LA POSICION LOGON, 328 NM PASADA LA POSICION VUMPI QUE ES EL PUNTO DE TRANSFERENCIA DE CONTROL. EN LA POSICION VUMPI COBERTURA RADAR INOPERATIVA.  
\*\*\*CARSAMMA: DE VUMPI HASTA LOGON SON 328 = 41 MINUTOS = 2460 SEGUNDOS.\*\*\*

**LHD llenado por FIR Maiquetía reporta la total falta de coordinación de la FIR Amazónica. Tiempo 41 minutos.**

Report #: 207	POSITION: UGADI	UGADI	MODE C: NO	HT LHD: 2,000
DATE: 02/25/12	HOUR: 8:22	FLIGHT ID: AMX028	REGISTRATION: XAMAT	CLRD FL: 350
ROUTE: MMMX (Ciudad de México) UL308 UGADI AMPAL SAEZ (Buenos Aires)		ACFT TYPE: B763	EVENT FL: 370	DURATION: 1,020
REPORTING UNIT: GUAYAQUIL - (CENTRAL AMERICA)	FIR ERROR: CENTRAL AMERICA	IMC / VMC: V	XFL SAME: 1	CODE: M
OTHER ACFT (2º): 0		DISTANCE: 80	POSITION 2º ACFT: 0	XFL OPS: 1
CAUSE: ERROR OPERACIONAL EN EL CICLO DE LAS COORDINACIONES ATC			GTE TIME: 1,020	FL 2º ACFT: 0
			GTE CODE: M	

ACC CENAMER PASO ESTIMADO UGADI 08:22 FL360 A GUAYAQUIL. 17 MINUTOS DESPUES DE LA HORA DE PASO POR PUNTO DE TRANSFERENCIA, GUAYAQUIL RECLAMA PORQUE DICE HABER RECIBIDO DE CENAMER CAMBIO DE FL370, PERO NUNCA SE DIO REVISADO DE NIVEL.

**Autoreporte de la FIR CENAMER. El nivel de vuelo era diferente de la coordinación.**

Report #: 210	POSITION: KUBIR	KUBIR	MODE C: NO	HT LHD: 2,000
DATE: 02/25/12	HOUR: 15:25	FLIGHT ID: LVCCO	REGISTRATION: LVCCO	CLRD FL: 370
ROUTE: UL793		ACFT TYPE: LJ60	EVENT FL: 390	DURATION: 90
REPORTING UNIT: RESISTENCIA	FIR ERROR: ASUNCION	IMC / VMC: V	XFL SAME: 1	CODE: M
OTHER ACFT (2º): 0		DISTANCE: 80	POSITION 2º ACFT: 0	XFL OPS: 1
CAUSE: ERROR OPERACIONAL EN EL CICLO DE LAS COORDINACIONES ATC			GTE TIME: 90	FL 2º ACFT: 0
			GTE CODE: M	

ASUNCION ACC COORDINO LVCCO SLVR / SABE (Buenos Aires) KUBIR 15:25 FL370. LVCCO LLAMA KUBIR CON FL390.

**LHD llenado por FIR Resistencia; la FIR Asunción coordinó un nivel de vuelo diferente. Tiempo de 3 minutos.**

**Figuras 3abcd: LHD en febrero de 2012**

## 15.6 Conclusiones de la Evaluación de Seguridad (CRM)

15.6.1 El riesgo operativo se estimó por FIR, con los valores mostrados en la Tabla 7, que se obtuvieron al final del procesamiento de todos los datos recibidos, compilados y procesados en el *software* específico de CRM.

FIR	Risco Total	Risco Técnico	Risco Operativo
TNCF	7,71E-09	8,31E-12	7,7011E-09
SACU	7,55E-10	6,80E-13	7,5435E-10
SAEU	3,79E-12	6,80E-13	3,1053E-12
SAME	6,34E-10	3,21E-11	6,0170E-10
SARU	1,90E-07	6,80E-13	1,9043E-07
SAVU	2,53E-10	2,53E-10	0,0000E+00
SLLF	1,11E-09	5,56E-12	1,1092E-09
SBAO	2,24E-09	1,34E-11	2,2249E-09
SBAZ	2,04E-10	1,24E-11	1,9145E-10
SBBS	1,42E-11	6,80E-13	1,3522E-11
SBCW	6,74E-10	1,06E-11	6,6379E-10
SBRE	2,34E-10	1,58E-11	2,1835E-10
SCCZ	6,80E-13	6,80E-13	0,0000E+00
SCEZ	2,93E-10	2,15E-11	2,7189E-10
SCFZ	3,29E-09	3,84E-11	3,2542E-09
SCIZ	3,95E-12	6,80E-13	3,2736E-12
SCTZ	2,18E-09	1,05E-11	2,1706E-09
MHTG	6,77E-10	1,26E-11	6,6412E-10
SKEC	4,03E-10	6,80E-13	4,0222E-10
SKED	4,14E-10	6,80E-13	4,1355E-10
MUFH	1,65E-09	6,80E-13	1,6536E-09
SEGU	3,22E-08	6,80E-13	3,2202E-08
SYGC	1,69E-08	6,80E-13	1,6936E-08
SOOO	7,61E-09	6,80E-13	7,6099E-09
MTEG	3,23E-10	6,80E-13	3,2264E-10
MKJK	3,98E-11	6,80E-13	3,9074E-11
MPZL	3,79E-11	6,80E-13	3,7178E-11
SGFA	1,44E-09	6,80E-13	1,4367E-09
SPIM	6,56E-10	6,80E-13	6,5516E-10
MDCS	2,06E-09	6,80E-13	2,0587E-09
SMPM	4,19E-11	6,80E-13	4,1248E-11
TTZP	6,19E-08	6,80E-13	6,1935E-08
SUEO	1,60E-08	6,80E-13	1,5949E-08
SVZM	3,02E-08	6,80E-13	3,0210E-08
<b>Total Ponderado</b>	<b>3,39E-09</b>	<b>7,48E-12</b>	<b>3,378E-09</b>

Tabla 7: Riesgo Operativo estimado por FIR

\* La razón de la secuencia aparentemente repetida de los valores en la columna de riesgo técnico se debe, entre otros factores, a pequeña incidencia de aerovías de dos vías o intersecciones en la FIR en cuestión.

15.6.2 El riesgo técnico **satisface** el valor TLS no superior a  $2,5 \times 10^{-9}$  accidentes mortales por hora de vuelo debido a la pérdida del patrón de separación vertical de 1.000 pies y todas las demás causas.

15.6.3 El riesgo operativo no tiene ningún valor límite predeterminado de acuerdo con el Doc 9574.

15.6.4 El Riesgo Total se estima en caso de las FIR evaluadas desde menos  **$3,39 \times 10^{-9}$** , por TLS, que es  **$5,0 \times 10^{-9}$** .

<b>Espacio Aéreo RVSM CAR/SAM</b>			
<b>Horas de vuelo anuales estimadas = 4.276.427,2 horas</b>			
<i>(nota: Tiempo estimado en base a muestra diciembre 2012)</i>			
<b>Fuente del Riesgo</b>	<b>Riesgo Estimado</b>	<b>TLS</b>	<b>Observación</b>
<b>Riesgo Técnico</b>	<b><math>7,48 \times 10^{-12}</math></b>	<b><math>2,5 \times 10^{-9}</math></b>	<b>Abajo</b>
<b>Riesgo Operativo</b>	<b><math>3,38 \times 10^{-9}</math></b>	-	-
<b>Riesgo Total</b>	<b><math>3,39 \times 10^{-9}</math></b>	<b><math>5,0 \times 10^{-9}</math></b>	<b>Abajo</b>

**Tabla 8: Las estimaciones del riesgo anual para las Regiones CAR / SAM RVSM en el espacio RVSM**

15.6.5 En resumen, el espacio aéreo RVSM en las Regiones CAR/SAM tiene un riesgo de colisión vertical anual estimado por debajo del TLS que la OACI recomienda (TLS = 5), teniendo en cuenta la metodología CRM, puede considerarse un espacio aéreo seguro (Tabla 8).

**16 Acción sugerida:**

16.1 Se invita a la Reunión a:

- a) Reconocer los términos de la presente Nota de Estudio, y los Estados que están dispuestos, pueden utilizar la información que aquí se presenta como una referencia para la mitigación de sus LHD; y
- b) presentar dicha decisión a los miembros del GTE para su conocimiento y aprobación.