



OACI

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

NOTA DE ESTUDIO

GTE/14 — NE/10
26/11/14

Décimo Cuarta Reunión del Grupo de Trabajo de Escrutinio (GTE/14)
Ciudad de México, México, 1 – 5 de diciembre de 2014

**Cuestión 2 del
Orden del Día:**

Revisión del proyecto de evaluación de la seguridad operacional en el espacio aéreo RVSM para las Regiones CAR y SAM

**EVALUACIÓN DE SEGURIDAD DEL ESPACIO AÉREO RVSM DE LAS REGIONES
CAR/SAM**

(Presentada por CARSAMMA)

RESUMEN EJECUTIVO	
<p>El objetivo de esta Nota de Estudio es mostrar a través de argumentos suportados por evidencias como los criterios definidos en el Doc. 9574 - OACI están siendo satisfechos, en el espacio RVSM de las regiones CAR/SAM, y que medidas correctivas adicionales son necesarias.</p>	
<i>Objetivos Estratégicos:</i>	<ul style="list-style-type: none">• Seguridad Operacional
<i>Referencias:</i>	<ul style="list-style-type: none">• Manual sobre una separación vertical mínima de 300 m (1,000 ft) entre FL 290 y FL 410 inclusive; Organización de Aviación Civil Internacional, Doc 9574, Montreal, Marzo 2002.• Manual sobre 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) sobre FL 290; Organización de Aviación Civil Internacional, Doc 9937, Montreal, Febrero 2010.• Programa (software) de Monitoreo RVSM del Instituto de Estudios Avanzados (IEAv - COMAER)• Informe final GTE/13.

1. Introducción

1.1 Este informe presenta los resultados de la evaluación de seguridad en el año de 2013 en el espacio aéreo RVSM de las regiones del Caribe y de la América del Sur, (CAR/SAM). Esta etapa corresponde a la continuación de la estrategia de implantación del *Manual on Implementation of a 300 m (1000 ft) Vertical Separation Minimum between FL 290 and FL 410 inclusive*, ICAO, Montreal, Doc 9574, edition 2002.

1.2 De acuerdo con los Doc. 9574 y Doc. 9937, la evaluación debe de ser efectuada para garantizar que las operaciones en el espacio aéreo RVSM no induzcan un aumento en el riesgo de colisión tal que el riesgo vertical total no exceda los objetivos de seguridad definidos.

2. **Recolección de Datos del Espacio Aéreo**

2.1 El espacio aéreo de las regiones CAR/SAM es constituido de 34 Regiones de Informaciones de Vuelo (FIR) formado por los siguientes Estados: Antigua y Barbuda, Antillas Holandesas, Argentina, Barbados, Belice, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica, Cuba, El Salvador, Ecuador, Granada, Guadalupe, Guatemala, Guyana, Guyana Francesa, Haití, Honduras, Jamaica, Martinico, Nieves, Nicaragua, Panamá, Paraguay, Perú, República Dominicana, St. Bartolomé, St. Kitts y Nieves, St. Lucia, St. Vicente y Granadinas, Surinam, Trinidad & Tobago, Uruguay y Venezuela.

2.2 Recolecta de Datos de Movimiento de Tránsito – La muestra utilizada para evaluar la frecuencia de paso y los parámetros físicos y dinámicos de la aeronave típica para evaluación del riesgo de colisión, fue recolectada en el periodo comprendido entre 01 y 30 de noviembre de 2013, de las 34 FIR de las Regiones CAR/SAM. En estos envíos de datos, en términos de horas de vuelo de las muestras recolectadas, fueron recibidas 157.438 horas de vuelo de todas las FIR mencionadas, siendo 24.702 horas de la Región CAR (~15%) y 132.736 horas de la Región SAM (~85%). Como en los años anteriores, muchos de los datos recibidos de algunos Estados no pudieron ser aprovechados en CRM por diferentes motivos, entre ellos errores en las horas de entrada y salida (hora de salida menor o igual hora de entrada), falta de informaciones completas para identificar y localizar rutas y fijos de notificación, o incluso enviar datos más allá de la fecha límite. Sin embargo, **todos** los datos enviados fueron aprovechados en otro producto de CARSAMMA, que es la Auditoría del Espacio Aéreo RVSM en que las aeronaves no certificadas RVSM son relatadas por CARSAMMA a las otras RMA y Autoridades de Aviación Civil involucradas.

2.3 **Población de aeronaves** – de acuerdo con los Doc. 9574 y Doc. 9937 del RVSM, es esencial que el 100% de la población de aeronaves aprobadas RVSM satisfaga los requisitos RVSM.

2.3.1 Durante la evaluación de la seguridad, CARSAMMA ha detectado algunas aeronaves que no estaban en su base de datos RVSM y utilizaron este espacio durante el año 2013. Esto provocó una investigación a nivel mundial, lograda gracias al apoyo de las agencias de monitoreo de otras regiones de la OACI, mediante la intersección de las informaciones de sus base de datos. Al final del proceso, se encontró que algunos de estas aeronaves realmente no eran certificadas RVSM por cualquier Estado, tal como se describe en la Figura 1 a continuación.

REGION	STATE	FIR	DELIVERED	PROCESSED	# FLIGHTS	NO RVSM	%
SAM	ARGENTINA	CORDOBA	ok	ok	3781	2	0.05%
		EZEIZA	ok	ok	7340	17	0.23%
		MENDOZA	ok	ok	3275	90	2.75%
		RESISTENCIA	ok	ok	2899	9	0.31%
		COMODORO	ok	ok	1763	69	3.91%
	BOLIVIA	LA PAZ	ok	ok	2683	2	0.07%
	BRAZIL	ATLANTICO	ok	ok	31970	14	0.04%
		RECIFE	ok	ok			
	CHILE	AMAZONICA	ok	ok	22414	0	
		BRASILIA	ok	ok	65535	25	0.04%
		CURITIBA	ok	ok	37495	61	0.16%
		PUNTA ARENAS	ok	ok	448	3	0.67%
		SANTIAGO	ok	ok	9748	13	0.13%
	ANTOFAGASTA	ok	ok				
	ISLA DE PASCUA	ok	ok				
	COLOMBIA	PUERTO MONTT	ok	ok	689	1	0.15%
		BARRANQUILLA	ok	ok	6397	15	0.23%
	ECUADOR	BOGOTA	ok	ok	7333	3	0.04%
		GUAYAQUIL					
	GUYANA	GEORGETOWN					
	FRENCH GUYANA	ROCHAMBEAU					
	PANAMA	PANAMA					
	PARAGUAY	ASUNCION	ok	ok	1063	55	5.17%
PERU	LIMA	ok	ok	13234	15	0.11%	
SURINAME	PARAMARIBO						
URUGUAY	MONTEVIDEO	ok	ok	3544	13	0.37%	
VENEZUELA	MAIQUETIA						
SUBTOTAL			21	21	221611	407	0.18%
CAR	COCESNA	CENTRAL AMERICA	ok	ok	11457	37	0.32%
	CUBA	HAVANA	ok	ok	15767	41	0.26%
	HAITI	PORT AU PRINCE	ok	ok	3090	61	1.97%
	JAMAICA	KINGSTON					
	DOMINICAN REP.	SANTO DOMINGO	ok	ok	5982	136	2.27%
	TRINIDAD & TOBAGO	PIARCO	ok	ok	5235	18	0.34%
	NETHERLANDS ANTILLES	CURACAO					
	SUBTOTAL			5	5	41531	293
			DELIVERED	PROCESSED	# FLIGHTS	NO RVSM	%
TOTAL CAR/SAM			26	26	263142	700	0.27%

Figura 1. Aeronaves no aprobadas RVSM relacionadas por CARSAMMA

2.3.2 Estos datos fueron presentados en la Reunión de las Agencias de Monitoreo, que se celebró en mayo de este año, en la Oficina de la OACI París – Francia, cuando las RMA se enteraron de las aeronaves sin aprobación RVSM que utiliza este espacio.

2.4 **Datos Sobre las Desviaciones Verticales** – Fueron utilizadas desviaciones verticales menores que 300 pies, estadísticamente representativas. Los desvíos verticales AAD (atípicos) recolectados en las Regiones CAR/SAM, fueron añadidos a los desvíos AAD típicos de los datos para un nuevo ajuste de la función distribución de probabilidades AAD. Los datos estadísticos (media y desvío estándar) de las funciones distribución ASE para cada grupo de tipos de aeronaves fueron obtenidos del banco de datos del cálculo de los errores de altimetría de CARSAMMA, desarrollado y mantenido por los peritos de esta Agencia, gracias a un intercambio de informaciones hecho entre DECEA (Brasil) y la FAA (Estados Unidos), que posibilitó la creación del Laboratorio de Altimetría en CARSAMMA.

Tipo	Promedio AAD	DesvEst de AAD
A158	-0.020	0.155563
A318	0.052	0.135493
A319	-1.940	3.793161
A320	-0.275	0.459619
A330	0.055	0.063640
AN15	0.090	0.000000
ASTR	-0.020	0.043589
B200	-0.017	0.051962
B300	-0.060	0.088034
B350	0.010	0.311127
B400	0.280	0.593970
B727	-0.020	0.000000
B737	-0.077	0.103712
B747	0.070	0.000000
B767	0.019	0.080078
BA34	-0.320	0.000000
BD10	0.015	0.031091
BD70	-0.085	0.106066
BE20	-0.043	0.089629
BE30	-0.040	0.000000
BE35	-0.550	0.000000
BE40	-0.054	0.023022
C510	0.020	0.068920
C525	-0.065	0.052263
C550	-0.070	0.608346
C551	-8.028	20.756274
C560	0.007	0.297836
C56X	-0.025	0.148492
C650	2.265	4.436759
C680	-0.094	0.072319
C750	-0.030	0.042426
CITA	0.160	0.000000
CL30	0.040	0.000000
CL60	-0.030	0.010000
CRJ9	0.030	0.000000
D7X	0.060	0.000000
DC10	-0.010	0.000000
DC9	-0.020	0.000000
DC91	0.000	0.042426

Tipo	Promedio AAD	DesvEst de AAD
E135	4.722	15.108023
E145	0.467	23.728288
E190	-0.008	0.035162
E50P	-1.496	7.485550
E55P	-0.030	0.036228
F200	-0.010	0.000000
F50	-0.140	0.000000
F7X	-0.110	0.000000
F900	-0.040	0.070000
FA20	-0.097	0.103086
FA50	-0.565	1.195010
FA7X	0.170	0.000000
G150	-0.003	0.005774
G200	0.000	0.014142
G550	0.000	0.000000
G600	0.000	0.014142
GLF2	-0.620	0.000000
GLF4	-0.110	0.000000
H25	-0.005	0.134350
H25A	-0.166	0.396018
H25B	-9.244	20.675807
H400	-0.045	0.091924
I124	0.090	0.000000
I125	0.010	0.000000
K200	-0.090	0.000000
LJ31	-0.001	0.095546
LJ35	0.016	0.177195
LJ40	-0.023	0.075000
LJ45	-0.022	0.134626
LJ55	-0.030	0.084853
LJ60	0.032	0.102831
MD82	-0.010	0.000000
MD83	-0.038	0.084083
MU30	-0.230	0.000000
PA42	-0.080	0.000000
PRM1	0.030	0.084853
TB70	-0.190	0.000000
WW24	-0.010	0.000000
ACFT típica	-0.216	1.332446
	AAD típica	DesvEst típica

Tabla 1. Valores de AAD (promedio y desviación estándar)

3 Demostración de la Viabilidad Técnica de la Aplicación del RVSM en las Regiones CAR/SAM

3.1 Condiciones que cuantifican la especificación de desempeño total del sistema.

3.1.1 Frecuencia de Paso $N_z(\text{tramo})$ - la frecuencia de paso fue determinada individualmente para cada tramo de ruta, para cada aerovía, para cada FIR del espacio aéreo de las Regiones CAR/SAM. El pico de la frecuencia de paso ocurrió en el cruce de FIR SKED, SPIM y SBAZ, tramo LET-AIRES, de la aerovía UA301.

3.1.2 Ocupación Vertical $E_z(\text{cruce})$ - la evaluación de ocupación vertical para los cruces de rutas fue derivada de las muestras de tránsito recibidas de las FIR CAR/SAM en términos de densidad de tránsito. La ocupación vertical en cruce es evaluada en 0,055352. De la misma forma, las evaluaciones para las frecuencias de paso en el mismo sentido y en sentido opuesto fueron derivadas de las muestras de tránsito de las FIR CAR/SAM. Las frecuencias de paso en el mismo sentido y en sentido opuesto fueron evaluadas en 0,009033 y 0,048316, respectivamente.

3.2 Dimensión de la Aeronave

3.2.1 La altura (λ_z) de la aeronave, el largo (λ_x) y envergadura (λ_y) presentados en la Tabla 2 fueran utilizados en la estimación del riesgo para evaluación de seguridad RVSM CAR/SAM. Estos valores fueron estimados partiendo del muestreo de tránsito.

Parámetro	λ_z Altura (nm)	λ_x Largo (nm)	λ_y Envergadura (nm)
Aeronave Típica	0,005319	0,022495	0,019430

Tabla 2. Dimensión de la Aeronave Típica Utilizada en la Evaluación de Seguridad RVSM CAR/SAM

3.2.2 La estimación del riesgo para pares de aeronave próximas en niveles de vuelo adyacentes en rutas que cruzan requiere el diámetro del disco que representa la forma de una aeronave en lo plano horizontal, λ_h . El valor de ese disco fue tomado como siendo **0,02350nm** para aeronave promedio en el espacio aéreo CAR/SAM.

3.3 Velocidades Relativas de las Aeronaves

3.3.1 La Tabla 3 presenta los valores y fuentes para la estimación de las velocidades relativas utilizadas en la evaluación de seguridad CAR/SAM. Los valores del promedio absoluto de la velocidad longitudinal relativa en el mismo sentido y del promedio absoluto de las velocidades de las aeronaves son obtenidos a partir de análisis de las muestras de tránsito. La CARSAMMA utilizó el valor del promedio absoluto de la velocidad transversal relativa $|\bar{y}|$ ya utilizada en la evaluación de seguridad de otras regiones y el valor entonces adoptado es de **13 nudos**.

3.3.2 El valor para la velocidad relativa en el plan horizontal de un par de aeronaves en rutas que se cruzan cuando se hallan en superposición horizontal fue determinado a partir del ángulo de intersección de las rutas en un sistema de rutas analizado asumiendo que la velocidad de una aeronave individual $|\bar{V}|$ es de **443,48 nudos**.

3.3.3 El valor para la velocidad vertical relativa $|\bar{z}|$, presentado en la Tabla 3, de 1,5 nudos, es lo mismo utilizado en las evaluaciones de seguridad RVSM de las RMA Norte Atlántico (NATCMA) y Pacífico (PAARMO).

Parámetro Símbolo	Definición del Parámetro	Valor del Parámetro	Fuente del Valor
$ \overline{\Delta V} $	Valor del absoluto promedio de la velocidad longitudinal relativa entre aeronaves volando en el mismo sentido	24,482 nudos	Estimado del muestreo CAR/SAM
$ \overline{V} $	Valor del absoluto promedio de la velocidad de la aeronave	443,48 nudos	Estimado del muestreo CAR/SAM
$ \overline{y} $	Valor del absoluto promedio de la velocidad transversal relativa para un par de aeronaves nominalmente en lo mismo trayecto	13 nudos	Valor utilizado en la evaluación de seguridad RVSM del NAT
$ \overline{h(\theta)} $	Valor del absoluto promedio de la velocidad horizontal relativa durante superposición de pares de aeronaves en rutas que cruzan con ángulos variando entre 5 y 175 grados	Depende del ángulo de intersección	Corresponde a una velocidad promedio de 443,48 nudos
$ \overline{z} $	Valor del absoluto promedio de la velocidad vertical de un par de aeronaves que han perdido toda separación vertical	1.5 nudos	Valor usado en las evaluaciones RVSM del NAT y Pacifico

Tabla 3. Velocidades Relativas de las Aeronaves Usadas en la Evaluación de Seguridad RVSM CAR/SAM

3.4 Probabilidad de Superposición Lateral – Para la aeronave típica que vuela en las Regiones CAR/SAM, con envergadura (λ_y) de **0,019430nm**, usando una aproximación dictada por una distribución descrita por una función dupla exponencial, fue obtenido el valor de $P_y(0) = 0,0648$ (Tabla 4).

3.5 Probabilidad de Superposición Vertical Atribuible al Desempeño de Mantenimiento de Altitud Técnica - Como indicado anteriormente, el riesgo técnico a originarse de los efectos de turbulencia, de la pérdida de mantenimiento de altitud y de los errores de desempeño de los sistemas de mantenimiento de altitud y de altimetría. En consecuencia, la estimación de la probabilidad de superposición vertical debe llevar en consideración las contribuciones de los errores verticales que se originan de todas estas fuentes.

3.5.1 El Grupo de Trabajo y Escrutinio consistentemente solicitó a los proveedores de ATS, usuarios del espacio aéreo y otros para informar mensualmente todos los tipos de grandes desvíos de altitud (LHD) a la CARSAMMA. Aunque ni todas las unidades de ATS han proveído estos informes mensualmente, entre aquellos recibidos por la CARSAMMA en el periodo de enero al diciembre de 2013 solamente algunos pocos ejemplos de LHD fueran atribuidos a la turbulencia. Por causa del importante efecto de estos datos en el riesgo de colisión vertical, la CARSAMMA tomó las debidas precauciones para determinar sus efectos en el riesgo de colisión vertical. La aproximación consideró el LHD atípico de las regiones CAR/SAM, lo que resultó en los siguientes valores de las probabilidades, conforme presentados en la Tabla 4 siguiente:

$P_z(1000)$	$P_z(0)$	$P_y(0)$
$2,463 \times 10^{-9}$	0,241328	0,064837

Tabla 4. Resultados de las Probabilidades de Superposición Vertical y Lateral

3.6 Identificación de las causas de la inconsistencia de los errores de mantenimiento de altitud – las causas de los desvíos corresponden a turbulencias atmosféricas y a otros posibles errores técnicos de vuelo, como fallas de piloto automático, o aún, a ciertas condiciones operacionales de control de tránsito aéreo no identificadas en los informes de incidentes.

3.7 Verificación del TLS Técnico – la finalidad es demostrar que el TLS de $2,5 \times 10^{-9}$ accidentes fatales por hora de vuelo se cumple de acuerdo con un nivel de confianza significativo. El riesgo técnico que representa las regiones CAR/SAM fue evaluado considerando el movimiento de todas las FIR CAR y SAM. En la Tabla 5, a continuación, son presentados los parámetros del Modelo de Riesgo de Colisión Técnico para el año de 2013.

PARÁMETROS	ESPACIO AÉREO		
	CARIBE	AMÉRICA DEL SUR	REGIONES CAR/SAM
$P_x(0)$	0,0632	0,0653	0,0648
$P_z(0)$	0,255115	0,227542	0,241328
$P_z(1000)$	$2,463 \times 10^{-9}$	$2,463 \times 10^{-9}$	$2,463 \times 10^{-9}$
$\lambda_x(\text{nm})$	0,02186	0,02297	0,022495
$\lambda_y(\text{nm})$	0,01884	0,02062	0,01943
$\lambda_z(\text{nm})$	0,00512	0,00523	0,00531
$\lambda_h(\text{nm})$	0,024186	0,02297	0,02350
$ \overline{V} $ (nm / h)	444,68	442,93	443,48
$ \overline{\Delta V} $ (nm / h)	24,975	23,921	24,482
$ \overline{\dot{y}} $ (nm / h)	20	20	20
$ \overline{\dot{z}} $ (nm / h)	1,5	1,5	1,5
$N_x(\text{op})$	0,036522	0,064602	0,048316
$N_x(\text{mismo})$	0,0034407	0,013421	0,009033
$E_z(\text{cruce})$	0,064381	0,046323	0,055352
$S_x(\text{nm})$	82,4091	75,8595	79,1343

Tabla 5. Resumen de los Parámetros del Riesgo de Colisión Vertical Técnico

3.7.1 El riesgo de colisión fue evaluado separadamente para las regiones CAR y SAM y para el espacio aéreo total CAR/SAM.

3.8 Efecto del Crecimiento del Tránsito - la evolución del riesgo de colisión en el período de 2008 al 2017 fue estimada para la razón anual de crecimiento de 8% (IATA) que directamente afecta el valor de la frecuencia de paso. Las proyecciones son mostradas en la Figura 2, a continuación. Obsérvese que, hasta 2017, el riesgo técnico estará debajo del límite de $2,5 \times 10^{-9}$.

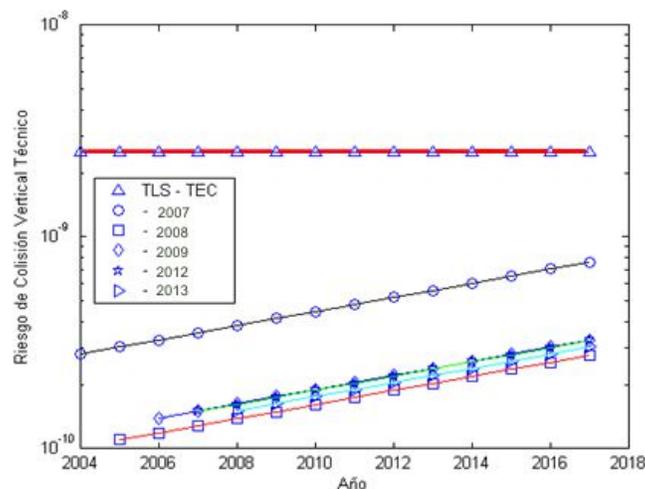


Figura 2. Proyección del Crecimiento del Riesgo de Colisión Técnico Región CAR/SAM

4 Riesgo Operacional

4.1 El CRM para el riesgo operacional fue desarrollado en conexión con la implantación del RVSM en las Regiones CAR/SAM. El modelo refleja, así, ciertas características operacionales de las Regiones CAR/SAM que no son comunes en otros espacios aéreos.

4.2 La definición de los errores de acuerdo con las causas fue basada en la clasificación aprobada durante el Encuentro del Grupo de Trabajo y Escrutinio en el año 2013 (GTE13), presentada y aprobada en nota de estudio referente a los LHD en el GREPECAS en el año 2014. En la Tabla 6 se muestran los códigos de LHD aprobados.

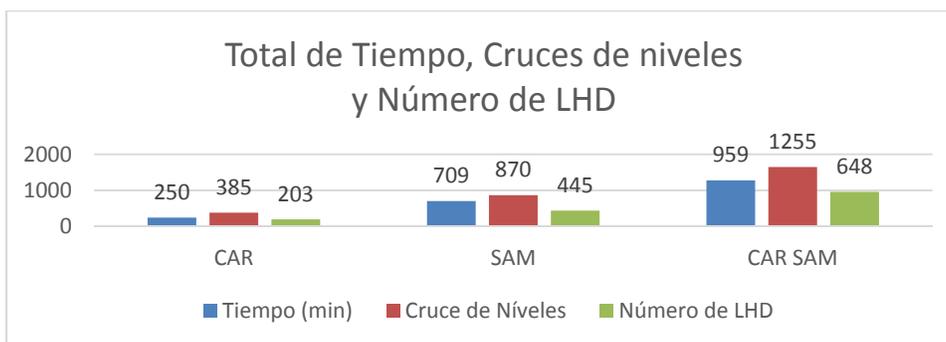
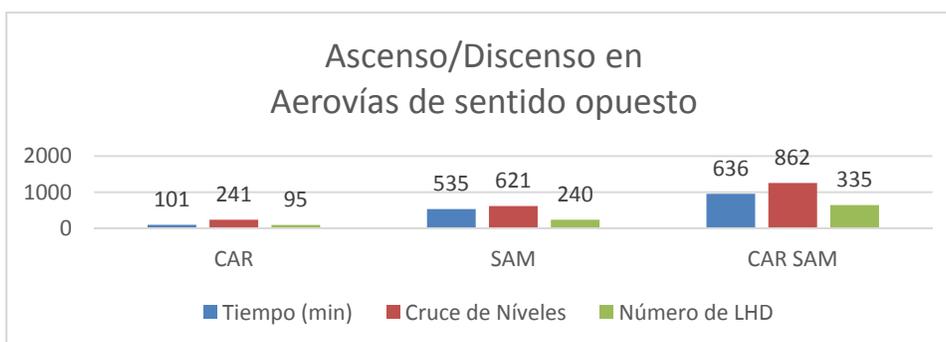
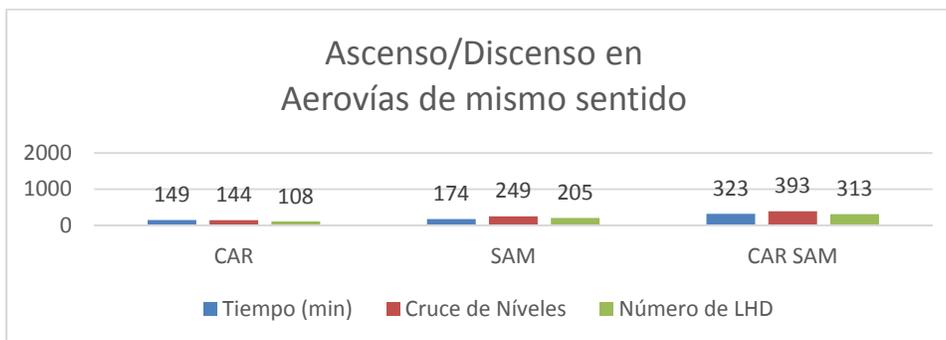
CÓDIGO del LHD	Descripción del Código de los LHD
A	La tripulación de vuelo no ascendió/descendió la aeronave según autorización.
B	La tripulación de vuelo ascendió/descendió sin autorización del órgano ATC.
C	Operación o interpretación incorrectas del equipo de a bordo (p. ej., funcionamiento incorrecto de FMS en pleno funcionamiento, transcripción incorrecta de la autorización ATC o nueva autorización, plan de vuelo seguido en lugar de la autorización ATC, autorización original seguida en lugar de la nueva autorización, etc.)
D	Error de bucle del sistema ATC (p. ej., entrega incorrecta de autorización del ATC o la tripulación de vuelo no entiende mensaje de autorización)
E	Errores de coordinación entre unidades ATC de transferencia o la responsabilidad del control, como resultado de factores humanos (p. ej., coordinación tardía o inexistente; hora incorrecta de estimado / real; nivel de vuelo, ruta ATS, etc. que no se ajuste a los parámetros convenidos)
F	Errores de coordinación entre unidades ATC de transferencia o la responsabilidad del control, como resultado de falla de equipo o problemas técnicos.
G	Desviación debido a un suceso de contingencia del avión que llevó a una repentina incapacidad de mantener el nivel de vuelo asignado (por ejemplo, falla de presurización, falla de motor)
H	Desviación por falla del equipo de a bordo que condujo a un cambio no intencionado o no detectado del nivel de vuelo
I	Desviación debida a turbulencia u otra causa relacionada con las condiciones meteorológicas.
J	Desviación debido a un aviso de resolución del TCAS; tripulación de vuelo sigue correctamente un aviso de resolución del TCAS
K	Desviación debido a un aviso de resolución del TCAS; tripulación de vuelo sigue incorrectamente un aviso de resolución del TCAS.
L	Una aeronave que no es aprobada RVSM a la cual se le provea de separación RVSM (por ejemplo, plan de vuelo indicando la aprobación RVSM pero las aeronaves no está aprobada; mala interpretación de plan de vuelo por parte del ATC)
M	Otros - esto incluye los vuelos que operan (incluyendo ascenso / descenso) en espacio aéreo en el que las tripulaciones de vuelo no es posible establecer comunicaciones aire-tierra normales con la dependencia ATS responsable.

Tabla 6. Clasificación del LHD Recibido

4.3 Las grandes desviaciones de altitud (LHD) identificadas en los reportes recibidos pueden dividirse en cuatro tipos de grupos:

- a) errores de comunicación entre el órgano de controle-piloto y autorizaciones incorrectas;
- b) eventos de contingencia en aeronaves;
- c) errores debidos a efectos meteorológicos; y
- d) desvíos de altitud debido al ACAS (sistema de anticollisión en vuelo).

4.4 Los Gráficos 1a, 1b y 1c, a continuación, presentan los grandes errores (iguales a o mayores del que 1000 pies) considerados operacionales, cuyas categorías y causas de los desvíos son descritos en la Tabla 6. En los Gráficos 1a, 1b y 1c, se muestran a los números de niveles cruzados, n_m^{nc} , en el mismo sentido y, n_{op}^{nc} , y en sentido opuesto.



Gráficos 1a,1b,1c. LHD Operacional (Igual a o Mayor del que 1000 pies) Recibido por la CARSAMMA

4.5 Clasificación de los Errores recibidos para Evaluación del Riesgo

4.5.1 Las causas de los grupos de errores de los tipos de los ítems a) y b) (de la sección 4.3) fueron clasificadas considerando dos eventos para propósito de evaluación:

- *aeronave nivelando en nivel errado;*
Según los Gráficos 1a, 1b y 1c, hubo 648 aeronaves que cruzaran niveles sin autorización en sentido opuesto y mismo sentido en las regiones CAR/SAM, totalizando 959 minutos, con el tiempo promedio en nivel incorrecto de **1,47993** minutos por aeronave, y 335 de ellas cruzaran niveles en el sentido opuesto al flujo de tráfico.

- *aeronave ascendiendo/descendiendo atravesando un nivel de vuelo.*
Según los Gráficos 1a, 1b y 1c, hubo 1255 eventos de cruce de niveles sin autorización, 862 de ellos contrarios al flujo y 393 en el mismo sentido al movimiento del flujo.

4.5.2 Todos los desvíos debido a efectos meteorológicos no severos (iguales a o mayores que 300 pies y debajo de o iguales a 1000 pies) fueron considerados en la distribución *AAD*.

4.5.3 Con respecto a las desviaciones debido a ACAS (TCAS), fue realizada una distribución constituida de desempeño típico y atípico de los desvíos ACAS, utilizando el modelo de la forma de dupla exponencial, que es calculado en el *software* de IEAv.

4.5.4 La densidad $f_{ACAS}^{AAD}(a)$ fue convoluída con la densidad $f^{ASE}(a)$ para dar origen a una densidad $f_{ACAS}^{TVE}(z)$ y, finalmente, producir una estimativa de la probabilidad de superposición vertical debido al ACAS, $P_z(S_z)_{ACAS}$.

4.6 Determinación de valores apropiados de los parámetros para grupo de errores.

4.6.1 Se hicieron los cálculos separadamente por regiones (CAR y SAM) y para todo el espacio aéreo CAR/SAM. Para ambos espacios aéreos se utilizaron los datos (Gráficos 1a, 1b y 1c) de aeronaves nivelando en nivel de vuelo errado n^{ne} , número de niveles de vuelo cruzados sin autorización n^{nc} y el tiempo promedio gasto en nivel errado \bar{t}_{ne} . Para la tasa de ascenso/descenso $|\dot{z}_c|$ fue considerada la velocidad de **10 nudos**.

4.6.2 En la Tabla 7, a continuación, constan los parámetros del grupo de errores, clasificados de acuerdo con su aplicación para las Regiones CAR/SAM. En esa tabla, $P_z^{ne}(1000)$ es la probabilidad de superposición vertical debido a que la aeronave nivela en un nivel errado y $P_z^{nc}(1000)$ es la probabilidad de superposición vertical debido a que la aeronave cruza un nivel sin autorización del ATC. Los parámetros α^{ne} y α^{nc} se refieren a las tasas de error para aeronave nivelando en un nivel de vuelo errado y de aeronave cruzando un nivel de vuelo sin autorización, respectivamente. El producto $\alpha^{ne} \times \bar{t}_{ne}$ es la proporción de tiempo de vuelo gasto en un nivel de vuelo incorrecto.

PARÁMETRO	CARIBE	AMÉRICA DEL SUR	REGIONES CAR/SAM
T (horas estimada por año)	296.424	1592.832	1889.256
α^{ne}	$2,133 \times 10^{-4}$	$3,370 \times 10^{-4}$	$2,977 \times 10^{-4}$
α_{mismo}^{ne}	$1,996 \times 10^{-4}$	$3,209 \times 10^{-4}$	$2,823 \times 10^{-4}$
α_{op}^{ne}	$1,376 \times 10^{-5}$	$1,605 \times 10^{-5}$	$1,532 \times 10^{-5}$
α^{nc}	$4,129 \times 10^{-4}$	$5,488 \times 10^{-4}$	$5,056 \times 10^{-4}$
α_{mismo}^{nc}	$1,996 \times 10^{-4}$	$2,664 \times 10^{-4}$	$2,451 \times 10^{-4}$
α_{op}^{nc}	$2,133 \times 10^{-4}$	$2,824 \times 10^{-4}$	$2,605 \times 10^{-4}$
Q_{mismo}	$8,034 \times 10^{-8}$	$5,861 \times 10^{-8}$	$3,673 \times 10^{-8}$
Q_{op}	$7,886 \times 10^{-8}$	$3,142 \times 10^{-8}$	$2,247 \times 10^{-8}$
$Q = \alpha^{ne} \times \bar{t}^{ne}$	$4,975 \times 10^{-6}$	$1,204 \times 10^{-5}$	$9,791 \times 10^{-6}$
$P_z(0)$	0,255115	0,227542	0,241328
$P_z^{ne}(1000)$	$2,243 \times 10^{-6}$	$5,221 \times 10^{-6}$	$4,750 \times 10^{-6}$
$P_z^{ne}(1000)_{mismo}$	$2,100 \times 10^{-6}$	$5,085 \times 10^{-6}$	$4,598 \times 10^{-6}$
$P_z^{ne}(1000)_{op}$	$1,421 \times 10^{-7}$	$1,363 \times 10^{-7}$	$1,527 \times 10^{-7}$
$P_z^{nc}(1000)$	$5,966 \times 10^{-7}$	$7,718 \times 10^{-7}$	$7,926 \times 10^{-7}$
$P_z^{nc}(1000)_{mismo}$	$2,884 \times 10^{-7}$	$3,746 \times 10^{-7}$	$3,843 \times 10^{-7}$
$P_z^{nc}(1000)_{op}$	$3,082 \times 10^{-7}$	$3,972 \times 10^{-7}$	$4,083 \times 10^{-7}$
$P_z^{ACAS}(1000)$	$6,026 \times 10^{-9}$	$1,841 \times 10^{-9}$	$3,804 \times 10^{-9}$

Tabla 7. Datos de los Errores Operacionales

4.7 Evaluación del Riesgo Vertical Debido a Errores Operacionales (escenario 1).

4.7.1 Esta sección ofrece un estimado del riesgo asociado a todas las causas relacionadas al uso del RVSM.

4.7.2 El riesgo de colisión vertical es estimado con el modelo de riesgo de colisión de Reich asociado a cada grupo de tipos de grandes errores. Algunos de los parámetros están presentados en la Tabla 8.

- N_{az}^{ne} es el riesgo vertical debido a la nivelación en un nivel incorrecto;
- N_{az}^{nc} es el riesgo vertical debido a la aeronave cruzar un nivel de vuelo sin autorización;
- N_{az}^{ACAS} es el riesgo vertical debido a los incidentes relacionados al Sistema Anticolisión en Vuelo (de la Aeronave); y
- N_{az} es el riesgo de colisión vertical debido a todas las causas o riesgo total.

ESPACIO AÉREO			
PARÁMETRO	CARIBE	AMÉRICA DEL SUR	REGIONES CAR/SAM
n_{az}^{ne}	97	372	469
n_{mismo}^{nc}	144	249	393
n_{op}^{nc}	241	621	862
n_{az}^{nc}	385	870	1255
\bar{t}_t^{ne}	0,02332 h	0,035718 h	0,03289 h
\bar{t}_{mismo}^{ne}	0,02335 h	0,036525 h	0,03356 h
t_{op}^{ne}	0,02292 h	0,019583 h	0,02054 h
t_{mesmo}^{ne}	8,25 min	438,3 min	519,55
t_{op}^{ne}	5,50 min	11,75 min	17,25
t_t^{ne}	86,75 min	450,05 min	536,80
$\left \frac{\dot{z}_c}{\dot{z}_c} \right $	10 kt	10 kt	10 kt

Tabla 8. Parámetros de los Errores Operacionales

4.7.3 Como puede ser visto en la Tabla 9 y su Gráfico a continuación, el riesgo total para las regiones CAR/SAM es mayor del que el TLS.

Región	Riesgo Técnico	Riesgo Operacional	Riesgo Total
CAR	0,00539E ⁻⁹	13,60000E ⁻⁹	13,6E⁻⁹
SAM	0,01010E ⁻⁹	11,20010E ⁻⁹	11,2E⁻⁹
CAR/SAM	0,00910E ⁻⁹	11,78400E ⁻⁹	11,9E⁻⁹
Número de LHD evaluados: 1306			
TLS	2,5E ⁻⁹	-	5,0E ⁻⁹

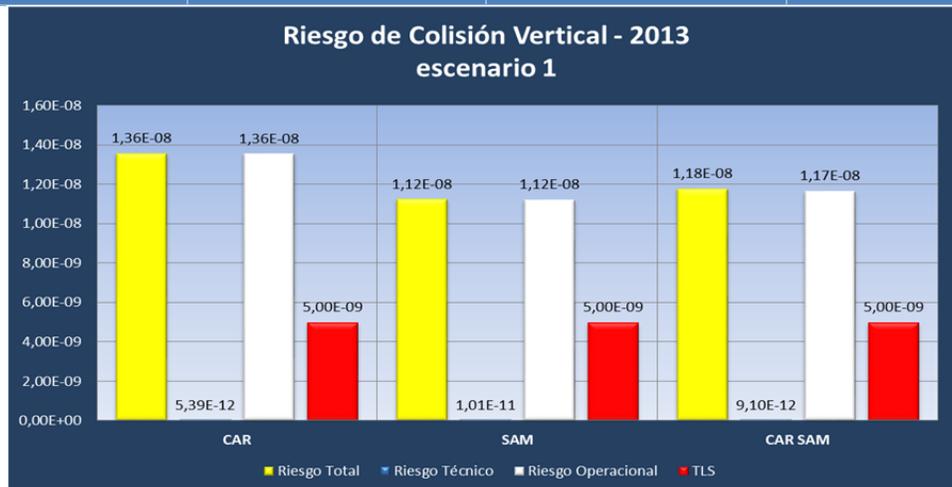


Tabla 9 y Gráfico. Riesgos de Colisión para las Regiones CAR/SAM.

4.7.4 Es importante notar que el riesgo es fuertemente influenciado por los LHD, la mayoría de ellos debida a errores de mensaje de transición entre órganos ATC (error de coordinación).

4.7.5 Estos errores no son causados por la operación RVSM, pero son debidos a malos procedimientos de transferencia de aeronaves de una unidad de ATC para otra unidad ATC y a errores debidos a ausencia de coordinación por parte del órgano ATC transferidor (errores del tipo E).

4.7.6 Considerando las observaciones arriba indicadas, se concluye que es necesario continuar monitoreando los LHD para mantenerlos dentro de límites aceptables.

4.8 Acciones Correctivas

4.8.1 Para reducir el riesgo, el tiempo gasto en niveles incorrectos y el número de niveles cruzados sin autorización del ATC deben de ser reducidos. Acciones correctivas deben de ser tomadas para reducir las causas de los errores de mensaje de transición entre órganos ATC y de error debido a la ausencia de coordinación por parte del órgano ATC transferidor (error tipo E).

4.9 Otros Escenarios de los Riesgos para Operaciones RVSM en las Regiones CAR/SAM (escenarios 2, y 3)

4.9.1.1 En el escenario 2, CARSAMMA ha decidido por no considerar que el error del tipo “E” cause influencia en la aplicación RVSM, o sea, este tipo de error puede llevar a LHD, pero independientemente del valor de separación RVSM que se aplique. Por lo tanto, en la Tabla 10 y Gráfico son presentados solamente los errores que realmente pueden afectar la aplicación del RVSM.

4.9.1.2 Los cálculos demuestran que, para esta evaluación, esto es equivalente a adoptar medidas correctivas resultantes de la implantación de un eficiente programa con el objetivo de eliminar los errores de coordinación entre unidades de control de tránsito aéreo y errores debido a ausencia de coordinación por parte del órgano ATC transferidor (errores del tipo E).

4.9.1.3 **Resultados del Escenario 2** – en la Tabla 10 y Gráfico abajo son presentados los valores de los riesgos debidos a los errores que realmente afectan la aplicación del RVSM, o sea, sin los errores del tipo E.

Región	Riesgo Técnico	Riesgo Operacional	Riesgo Total
CAR	0,00539E ⁻⁹	0,0595E ⁻⁹	0,0649E⁻⁹
SAM	0,01010E ⁻⁹	0,0655E ⁻⁹	0,0755E⁻⁹
CAR/SAM	0,00910E ⁻⁹	0,0643E ⁻⁹	0,0734E⁻⁹
Número de LHD evaluados: 31			
TLS	2,5E ⁻⁹	-	5,0E ⁻⁹

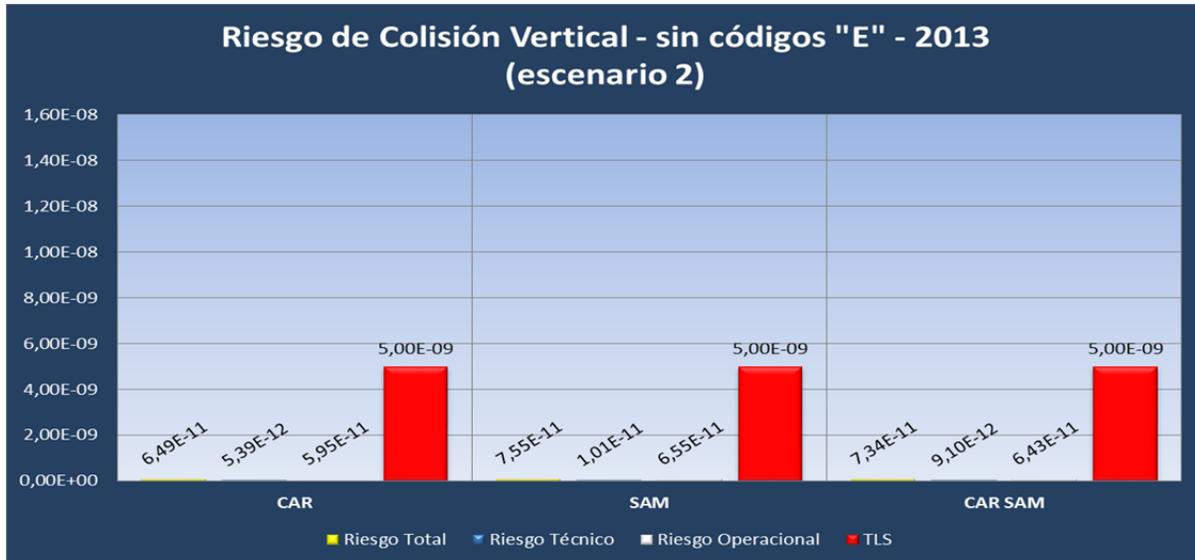


Tabla 10 y Gráfico. Riesgos de Colisión para las Regiones CAR/SAM (sin los LHD con códigos "E").

4.9.2.1 En el escenario 3, CARSAMMA, por solicitud de los expertos presentes en las Teleconferencias a lo largo del año, ha hecho un estudio en que no considera los errores ocurridos en el Atlántico Sur. Por lo tanto, en la Tabla 11 y Gráfico son presentados los errores sin los LHD ocurridos básicamente, en el área AORRA.

4.9.2.2 Las medidas correctivas a adoptar deben de ser resultantes de la implantación de una mejor estructura de detección, comunicación y entrenamiento de coordinación, además de la creación de un "Grupo de Trabajo del Atlántico Sur (GTAS)" para que sea llevado a GREPECAS un estudio en que:

- a) El área AORRA sea considerado de categoría "A" para que se mantenga un nivel aceptable de seguridad operacional; o
- b) El área AORRA no sea considerado espacio RVSM, manteniéndose como espacio "G";
- c) Se solicite la participación de las unidades ATC de FHAW y EGYPT en las Teleconferencias para el análisis de los LHD en que estén involucradas.

4.9.2.3 **Resultados del Escenario 3** – en la Tabla 11 y Gráfico abajo son presentados los valores de los riesgos debidos a **todos** los errores, sin considerar los ocurridos en el área AORRA.

Región	Riesgo Técnico	Riesgo Operacional	Riesgo Total
CAR	0,00539E ⁻⁹	10,3000E ⁻⁹	10,3000E⁻⁹
SAM	0,01010E ⁻⁹	8,5100E ⁻⁹	8,5200E⁻⁹
CAR/SAM	0,00910E ⁻⁹	8,8800E ⁻⁹	8,89004E⁻⁹
Número de LHD evaluados: 1205			
TLS	2,5E ⁻⁹	-	5,0E ⁻⁹

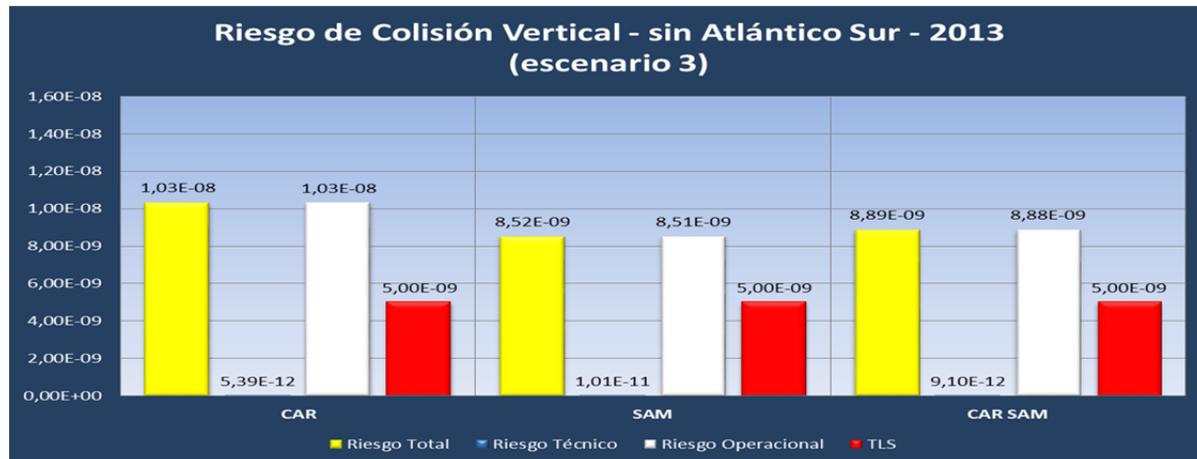


Tabla 11 y Gráfico. Riesgos de Colisión para las Regiones CAR/SAM (sin los LHD del Atlántico Sur).

5. Resultados y Conclusiones

5.1 Esta nota de estudio provee estimativas de los riesgos técnicos, operacional y total, para la operación RVSM en el espacio aéreo CAR/SAM y, para todos los tipos de errores presentados en los informes de incidentes enviados a la CARSAMMA.

5.2 El número total de horas voladas considerado para los análisis de evaluación del riesgo para las regiones CAR/SAM, corresponde al total de horas de vuelo de las FIR SAM y CAR. En resumen, la Región SAM contribuyó con 84,30% del total de horas de vuelo y la región CAR con 15,69%.

5.3 El riesgo de colisión vertical técnico fue evaluado separadamente para las Regiones del Caribe, de la América del Sur y para todo el espacio aéreo de las Regiones CAR/SAM. Todas las regiones presentan valores estimados del riesgo técnico abajo del TLS.

5.4 Como puede ser visto de los valores presentados arriba (Tablas 9, 10, y 11), el riesgo técnico estimado es $0,0091 \times 10^{-9}$. Esta estimativa satisface el valor acordado para TLS de no más que $2,5 \times 10^{-9}$ accidentes fatales por hora de vuelo de la aeronave debido a la pérdida de un estándar de separación vertical de 1000 pies correctamente establecido.

5.5 La evaluación del crecimiento del riesgo técnico para las regiones CAR/SAM, debido al crecimiento del tránsito aéreo, fue realizada para razones de crecimiento anual de 8% (IATA) hasta 2017. Las proyecciones muestran que el riesgo técnico, hasta 2017, estará bien abajo del límite TLS de $2,5 \times 10^{-9}$.

5.6 Sin embargo, el riesgo de colisión vertical total, debido a la combinación de los errores técnicos de mantenimiento de altitud y los errores operacionales, estimado en números de accidentes fatales por hora de vuelo, está arriba del límite tolerado. Para la Región CAR es igual a $13,6 \times 10^{-9}$, para la Región SAM $11,2 \times 10^{-9}$ y para las Regiones CAR/SAM alrededor de $11,9 \times 10^{-9}$. Para bajar los valores de los riesgos son necesarias acciones correctivas. Las acciones sugeridas son eliminar los errores del tipo E.

5.7 Los principales errores operacionales (LHD), recopilados en las Regiones CAR/SAM en el período de enero al diciembre de 2013, con respecto a fallos en las mensajes de transición entre unidades de ATC y errores de ausencia de coordinación por parte del órgano ATC transferidor (1015 LHD del tipo E). La evolución desde 2004 de estos y de los demás errores pueden ser vistos en la Tabla 12 abajo.

5.8 Los Estados de las Regiones CAR/SAM deben estar conscientes que cada gran error (LHD) corresponde a una advertencia de peligro. En consecuencia, acciones correctivas deben de ser proveídas independientemente de cualquier resultado de evaluación de riesgo. Por lo tanto, medidas correctivas adicionales deben de ser necesariamente adoptadas para eliminar errores de los siguientes tipos:

- A - Falla en la Subida/Decida según autorización;
- B - Ascenso/descenso sin autorización del órgano ATC;
- D - Error de bucle del sistema ATC (ej: Piloto interpreta mensaje de autorización de forma incorrecta u órgano ATC emite autorización incorrecta);
- H - Desviación debido a falla de equipo;
- I - Desviación debido a la turbulencia y otras causas meteorológicas;
- J - Desviación debido a un aviso de resolución del TCAS; tripulación de vuelo sigue correctamente un aviso de resolución del TCAS;
- K - Desviación debido a un aviso de resolución del TCAS; tripulación de vuelo sigue incorrectamente un aviso de resolución del TCAS; y
- L - Una aeronave que no es aprobada RVSM.

5.9 La evolución de los grandes errores presentada en la Tabla 12 corrobora las conclusiones acerca de las posibilidades de colisiones en las Regiones CAR/SAM. Por lo tanto, esfuerzos vigorosos son necesarios para que los Estados se sientan motivados a aplicar medidas adicionales de seguridad.

Código LHD	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	TOTAL	%
A	2	1	2	0	1	7	2	2	5	9	1	32	0,61%
B	3	1	0	1	8	8	9	5	7	18	6	66	1,26%
C	0	0	0	0	0	2	0	2	3	7	11	25	0,48%
D	0	0	6	31	3	9	5	0	3	2	0	59	1,13%
E	16	25	56	78	262	396	600	616	644	1015	1275	4983	95,04%
G	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	2	0,04%
H	1	1	0	0	2	7	1	1	4	5	3	25	0,48%
I	0	0	0	0	6	5	2	7	3	4	5	32	0,61%
M	0	0	3	3	1	5	1	2	4	0	0	19	0,36%
TOTAL	22	28	67	113	283	439	622	635	673	1060	1301	5243	100,00%

Tabla 12. Evolución de los Grandes Desvíos de Altitud (LHDs)

* Los números en rojo son estimativos

6. Recomendación Especial:

6.1 Las recomendaciones descritas en esta sección tienen el objetivo de ayudar en los esfuerzos enviados en los próximos trabajos asociados con la evaluación del riesgo de colisión.

6.2 **Datos sobre el Flujo de Tránsito** – datos recibidos de varios Estados no pudieron ser aprovechados por diferentes razones, desde el no entendimiento de cómo los datos deben de ser transcritos en las planillas hasta inconsistencia de datos. Es aconsejable que, antes de la recopilación de datos, un procedimiento de entrenamiento de cómo llenar la planilla sea adoptado.

6.3 **Datos sobre los Desvíos Verticales Técnicos** – debe ser hecho un esfuerzo de planeamiento para definir la mejor metodología de recopilación acerca de los desvíos verticales técnicos. Adicionalmente, debe ser elaborado un programa de trabajo para mostrar que el Error del Sistema de Altimetría (ASE) para aeronaves RVSM-aprobadas permanece estable. Esta tarea solamente podrá ser realizada con la implantación de un programa de monitoreo continuado del desempeño del sistema de altimetría de las aeronaves. Este programa deberá prever el monitoreo del citado sistema de altimetría por lo menos a cada dos años, o intervalo de 1000 horas de vuelo por aeronave, o el que ocurre por último.

6.4 **Monitoreo del Sistema de Altimetría** – las Regiones CAR/SAM deberán establecer un programa para implantación de unidades de monitoreo para la verificación del sistema de altimetría de las aeronaves. Este programa deberá ser compuesto de un sistema de unidades autónomas de monitoreo, instaladas en posiciones estratégicas en las regiones de mayor densidad de flujo. El objetivo es monitorear el mayor número de aeronaves para verificación de la estabilidad del error del sistema altimétrico (ASE) y verificar si el riesgo técnico se mantiene compatible con el TLS acordado de $2,5 \times 10^{-9}$.

6.5 **Datos sobre los Desvíos Verticales debido a Errores Operacionales** – información sobre esos tipos de eventos es obtenida vía ATC o informes del piloto. Datos importantes sobre esos desvíos como número de niveles cruzados y tiempo de permanencia en nivel no autorizado raramente son reportados por los pilotos. Como esos desvíos son consecuencias de errores o acciones de emergencia, los Estados deben desarrollar un plano de trabajo para obtener esos datos con un alto nivel de confianza y compartirlos con la CARSAMMA.

6.6 **Datos sobre los Desvíos debido al ACAS (TCAS)** – monitoreo de los encuentros TCAS debe ser efectivo en el sentido de confirmar el desempeño operacional debido a tales eventos.

6.7 Los **Estados, Organizaciones Internacionales y Líneas Aéreas** deben continuar aplicando sus mejores esfuerzos para obtener e informar los LHD a la CARSAMMA.

7. **Acción sugerida:**

7.1 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;
- b) aprobar el escenario que mejor se muestra para el desarrollo del análisis de la seguridad operacional del espacio RVSM, según la metodología CRM, así como conceder a que pueda servir como una guía a los Estados miembros en la realización de sus actividades de entrenamiento de coordinación a los ATCO, distribución de la carga de trabajo, mitigación de los riesgos; y
- c) presentar dicha decisión a los miembros del GREPECAS para el conocimiento y aprobación.