



OACI

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

NOTA DE ESTUDIO

GTE/24 — NE/05
19/07/24

**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)

- 3.8 Presentación del CRM 2023 y un análisis de las causas que contribuyeron a estos riesgos en Regiones de información de vuelo (FIR) que presentaron un valor superior al Nivel deseado de seguridad (TLS) de la Evaluación de riesgo de colisión (CRA)

INFORME DE MONITOREO DE SEGURIDAD VERTICAL DEL ESPACIO AÉREO DEL ÁREA DE MÉXICO – 2023

(Presentada por NAARMO)

RESUMEN EJECUTIVO

Este documento proporciona el informe de monitoreo de seguridad vertical para el uso continuo y seguro de la Separación Vertical Mínima Reducida (RVSM) en el Espacio Aéreo de México. La evaluación de la seguridad se ha realizado según la metodología avalada por la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI). Este trabajo utiliza informes de grandes desviaciones de altura (LHD) y datos de tráfico del espacio aéreo del Área de México para el año calendario 2023. Este informe contiene un resumen de los informes LHD recibidos por la NAARMO para el año calendario 2023. Hay cincuenta y seis LHD reportados en el año calendario 2023. Este informe también contiene una estimación del riesgo de colisión vertical. La estimación del riesgo de colisión vertical para el espacio aéreo del área de México excede el valor objetivo del nivel de seguridad (TLS) de 5.0×10^{-9} accidentes fatales por hora de vuelo.

Acción:	Se describe en la Sección 3.
Objetivos Estratégicos:	<ul style="list-style-type: none">• Seguridad Operacional• Capacidad y eficiencia de la navegación aérea
Referencias:	<ul style="list-style-type: none">• Doc 9574 de la OACI• Doc 9937 de la OACI

1. Introducción

- 1.1 México implementó la Separación Vertical Mínima Reducida (RVSM) entre el nivel de vuelo 290 y el nivel de vuelo 410, inclusive, en todo el espacio aéreo soberano y delegado de México el

20 de enero de 2005. Los Estados Trilaterales de Aviación de América del Norte, México, Canadá y Estados Unidos, acordó implementar la RVSM en la misma fecha en todo el espacio aéreo de América del Norte.

1.2 La Organización de Monitoreo y Registro de Aprobaciones de América del Norte (NAARMO), un servicio delegado por la Administración Federal de Aviación (FAA) al Centro Técnico WJH FAA, cumple el rol de agencia de monitoreo regional (RMA) para el uso continuo y seguro del RVSM en Espacio aéreo norteamericano.

1.3 Este informe cubre el año calendario 2023. Dentro de este informe, el lector encontrará un resumen de los informes de gran desviación de altura (LHD) recibidos por la NAARMO y la correspondiente estimación del riesgo de colisión vertical. La estimación de riesgo vertical resultante incluye partes del Golfo de México (GOMEX), el espacio aéreo nacional de México, el mar/oceánico de México y el corredor México-Estados Unidos.

2. Discusión

2.1 Datos de tráfico

2.2 La NAARMO tiene acceso al Sistema de Gestión de Flujo de Tráfico (TFMS) de la Administración Federal de Aviación (FAA), que incluye observaciones de aeronaves en el espacio aéreo de México. Estos datos incluyen observaciones de vuelo de cuatro centros de control de área (ACC): México (MMEX), Monterrey (MMTY), Mazatlán (MMZT) y Mérida (MMID). Cada registro de movimiento de tráfico dentro de la muestra de datos TFMS contiene la fecha, la hora, la latitud, la longitud, el nivel de vuelo, la identificación de vuelo de la aeronave, el tipo de aeronave, el aeropuerto de origen y el aeropuerto de destino. Los datos TFMS contienen estimaciones de posición frecuentes para cada vuelo; se proporciona una estimación de posición aproximadamente una vez por minuto. La Figura 2-1 presenta las posiciones de las aeronaves proporcionadas en los datos TFMS del 10 de diciembre de 2023.

2.3 Los diferentes colores que se muestran en la Figura 2-1 representan áreas de flujo de tráfico de operaciones observadas en los datos TFMS. Las posiciones de las aeronaves observadas se colocan en uno de los flujos de tráfico. Partes de una operación de vuelo individual pueden aparecer en múltiples flujos de tráfico.

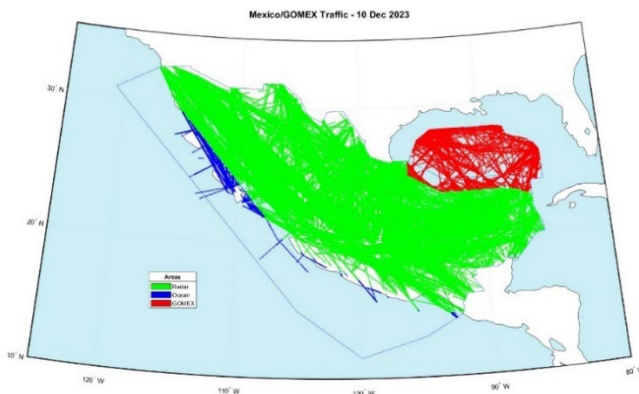


Figura 2-1. Datos de posición de la aeronave proporcionados en TFMS - 10 de diciembre de 2023

2.4 Los flujos de tráfico se basan en el volumen y los patrones de tráfico. Los flujos de tráfico incluyen una porción del Golfo de México, el espacio aéreo marino/oceánico de México y el espacio aéreo nacional de México. Estos flujos de tráfico se describen a continuación.

2.5 La porción del espacio aéreo de GOMEX considerada en este análisis incluye segmentos de vuelo que cruzan el límite del Área de Control Oceánico de Houston/región de información de vuelo - Área de Control de México/región de información de vuelo sobre el Golfo de México. En la Figura 2-1, estas son las operaciones que se muestran en rojo.

2.6 El espacio aéreo marino/oceánico de México se refiere al tráfico aéreo observado sobre el Océano Pacífico donde la vigilancia por radar puede no estar disponible. En la Figura 2-1, estas operaciones se muestran en azul.

2.7 El espacio aéreo nacional de México incluye todas las operaciones de aeronaves que no se consideran GOMEX ni espacio aéreo oceánico. La vigilancia por radar está disponible en el espacio aéreo nacional; en la Figura 2-1, las posiciones de estas aeronaves se muestran en verde.

2.8 La Figura 2-2 muestra el número de vuelos por día en los datos TFMS de México para diciembre de 2023. La línea naranja horizontal representa el número promedio de operaciones de vuelo por día observado en la muestra de datos. El número promedio de operaciones de vuelo por día observado en los datos TFMS es de 3,468 vuelos por día, esto es un leve aumento en el promedio de 3,409 vuelos por día observado en diciembre de 2022.



Figura 2-2. Número de operaciones de vuelo por día – diciembre de 2023

2.9 Grandes desviaciones de altura (LHD) reportadas

2.10 La NAARMO recibe informes LHD de los ARTCC de México y Estados Unidos. Se reportaron 107 sucesos durante el año calendario 2023. Después de la revisión, se determinó que cincuenta y seis sucesos reportados constituían eventos que producen riesgo. El conjunto de cincuenta y seis informes incluye cinco informes de Houston ARTCC. La Tabla 2-1 contiene un resumen de todos los LHD informados que califican por mes. La última fila de la Tabla 2-1 muestra que hubo treinta y cinco

minutos de tiempo de vuelo en niveles de vuelo incorrectos y cero niveles de vuelo cruzados sin autorización.

Tabla 2-1. LHD reportados calificados para México y el espacio aéreo de GOMEX – 2023

Mes	Conteo	Duración en FL incorrecto (min)	Número de FLs cruzados
Enero 2023	3	1	7
Febrero 2023	4	2	2
Marzo 2023	4	3.2	0
Abril 2023	12	8.5	0
Mayo 2023	12	8	9
Junio 2023	4	2.5	0
Julio 2023	12	5.3	16
Agosto 2023	1	1	0
Septiembre 2023	1	0	1
Octubre 2023	0	0	0
Noviembre 2023	3	3	2
Diciembre 2023	0	0	0
Total 2023	56	34.5	37

2.11 Cuarenta y tres de los 56 informes LHD implican errores de coordinación en la transferencia ATC (categorías de LHD E1, E2 y F). La Tabla 2-2 resume los informes LHD calificados por causa.

Tabla 2-2. Informes LHD calificados por causa - 2023

Código de categoría LHD	Descripción de la categoría LHD	Número de LHD	Duración en FL incorrecto (min)	Número de FLs cruzados
A	La tripulación de vuelo no pudo ascender/descender la aeronave según lo autorizado	3	2	2
B	Tripulación de vuelo ascendiendo/descendiendo sin autorización ATC	3	0.5	3
C	Se siguió el plan de vuelo en lugar de la autorización ATC.	2	0	8
D	Error de bucle del sistema ATC; (por ejemplo, el ATC emite una autorización incorrecta o la tripulación de vuelo malinterpreta el mensaje de autorización)	1	0	1
E1	Errores de coordinación en la transferencia de responsabilidad de control ATC a ATC como resultado de problemas de factores humanos (FL, hora o ruta incorrecta)	37	27	2

Código de categoría LHD	Descripción de la categoría LHD	Número de LHD	Duración en FL incorrecto (min)	Número de FLs cruzados
E2	Coordinación negativa en la transferencia de responsabilidad de control de ATC a ATC	6	5	0
F	Errores de coordinación en la transferencia de responsabilidad de control de ATC a ATC como resultado de una interrupción o problemas técnicos	0	0	0
G	Evento de contingencia de la aeronave que provoca una incapacidad repentina para mantener el nivel de vuelo asignado (por ejemplo, falla de presurización, falla del motor)	4	0	21
TOTALES		56	34.5	37

2.12 La Figura 2-3 muestra las ubicaciones aproximadas de las aeronaves de los 56 LHD reportados en 2023. El tamaño del círculo representa la estimación del riesgo vertical para cada LHD reportado.

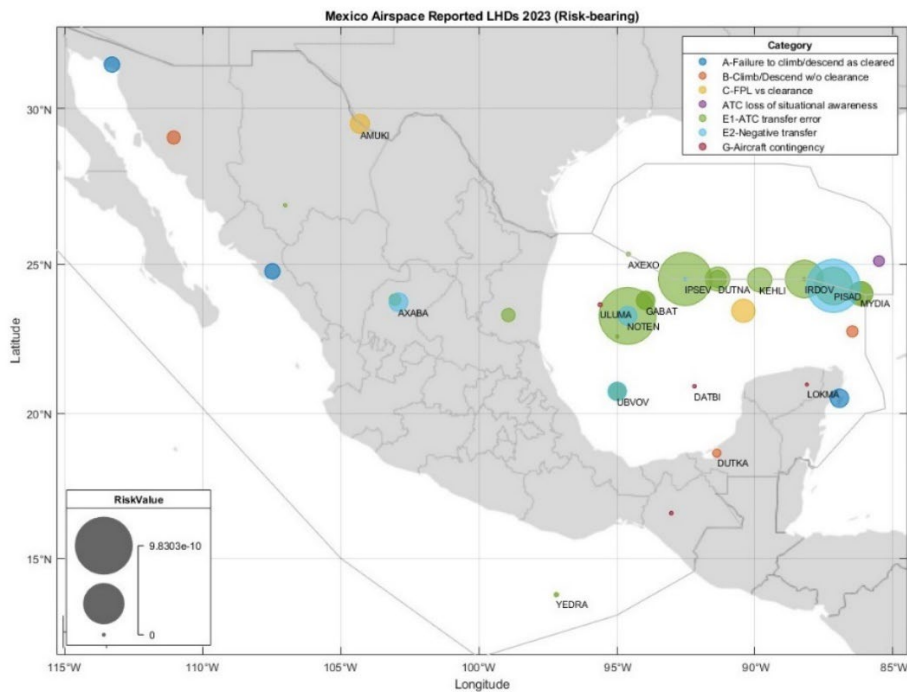


Figura 2-3. Informes LHD calificados - 2023

2.13 Los LHD reportados se resumen en los flujos de tránsito descritos en el párrafo 2.4. Los flujos de tráfico identificados incluyen GOMEX, el espacio aéreo costa afuera/oceánico, el nacional de México y el corredor México-Estados Unidos.

2.14 El espacio aéreo del corredor México-Estados Unidos es el espacio aéreo que está por el Área de Control (CTA)/Región de Información de Vuelo (FIR) entre:

2.14.1 Los Centros de Los Ángeles y Mazatlán;

2.14.2 Los Centros de Albuquerque y Mazatlán;

2.14.3 Los Centros de Albuquerque y Monterrey; y

2.14.4 Los Centros de Houston y Monterrey

2.15 Espacio Aéreo de GOMEX

2.15.1 Se reportaron 9 LHD para el flujo de tráfico de GOMEX en 2023. Los detalles de estos sucesos reportados se comunicaron mediante correos electrónicos y teleconferencia. Ocho de estos LHD reportados involucraron LHD de categoría E, se reportaron 6 LHD de categoría E1 y 1 LHD de categoría E2. La categoría E1 indica que la transferencia de control fue exitosa; sin embargo, la unidad ATC receptora observó la aeronave en un nivel de vuelo, horario o ruta diferente a la esperada. La categoría E2 indica transferencia negativa de control, la unidad ATC receptora observó la aeronave sin una transferencia de la unidad ATC emisora.

2.16 Espacio aéreo marino/oceánico

2.17 Se notificaron 4 LHD dentro del flujo de tráfico oceánico en 2023. Todos estos LHD notificados fueron errores en la transferencia de aeronaves del ATC. Hubo 4 ocurrencias de categoría E1.

2.18 Espacio Aéreo Nacional de México

2.18.1 Se reportaron 36 LHD para el espacio aéreo de México en 2023. Veinticinco de estos LHD reportados involucraron errores en la transferencia de responsabilidad de control del ATC entre FIR adyacentes; 22 informes fueron clasificados como E1 y 3 clasificados como E2. La duración total asociada con los LHD de categoría E fue de 17.2 minutos. Muchos de los informes de categoría E ocurrieron en el punto de referencia del espacio aéreo NOTEM, un punto de referencia entre los ACC MMID y MMTY. Como resultado de estos incidentes, los ACC MMID y MMTY modificaron su carta de acuerdo (LOA) y se firmó el 15 de septiembre de 2023. No ha habido ninguna repetición en NOTEM desde que se firmó la LOA modificada.

2.18.2 En 2023 se notificaron tres LHD de categoría B. Estos eventos contribuyeron con 30 segundos de duración del LHD y 3 niveles de vuelo se cruzados sin autorización.

2.18.3 En 2023 se notificaron tres LHD de categoría A. Estos eventos contribuyeron con 2 minutos de duración del LHD y 2 niveles de vuelo cruzados sin autorización.

2.18.4 Se reportaron 4 LHD que involucraron eventos de contingencia (categoría G) en los que el piloto tuvo que descender debido a una falla del equipo, hubo cero duración del LHD en todos los niveles de vuelo y 21 niveles de vuelo cruzados para estos eventos.

2.19 Espacio Aéreo del Corredor México-Estados Unidos

2.19.1 Se reportaron 7 LHD que afectaron el espacio aéreo del corredor México-Estados Unidos en el año calendario 2023. Seis de estos incidentes involucraron errores en la transferencia de responsabilidad de control del ATC entre FIR adyacentes; Cinco LHD notificados fueron de categoría E1 y 1 informe de LHD fue de categoría E2.

2.19.2 Se reportó un LHD con categoría D asignada, error de bucle del sistema ATC, y una subcategoría J, TCAS RA. En este caso, ATC autorizó un ascenso de 1000 pies a una aeronave que eventualmente provocó un TCAS RA con otra aeronave. Momentos después de emitir la autorización de ascenso, el controlador se dio cuenta del error y giró ambas aeronaves, pero la acción del ATC llegó demasiado tarde para evitar el TCAS RA. En este caso, la contribución al riesgo operativo vertical es la autorización de ascenso incorrecta. Por lo tanto, un nivel de vuelo cruzado se contabiliza en la estimación del riesgo vertical.

2.19.3 Hubo dos incidentes reportados en los que la unidad ATC receptora eliminó erróneamente el bloque de datos. En estos casos, la aeronave sigue por el espacio aéreo como un bloque de datos limitado en la pantalla del controlador. La vigilancia disponible, tanto radar como ADS-B, actualiza el sistema de automatización ATC que aún contiene el plan de vuelo aunque se eliminó el bloque de datos. Estos casos no son ideales; sin embargo, la información de vigilancia continúa actualizando las funciones de alerta de conflictos. La unidad ATC está trabajando con los ingenieros del sistema de automatización para modificar la pantalla ATC para bloques de datos limitados dentro del sistema. Se observa que estos cambios de automatización tomarán tiempo para implementarse, mientras tanto las unidades ATC han actualizado el entrenamiento de actualización ATC relacionado con estos sucesos. Ante estos hechos se han abierto dos planes de acciones correctivas (CAPs).

2.20 Tendencias observadas

2.21 La Figura 2-4 muestra la tendencia observada en la cantidad de LHD reportados relacionados con causas ATC desde 2018 hasta 2023. Los datos muestran el aumento en la cantidad de LHD reportados debido a causas ATC en el año calendario 2023.

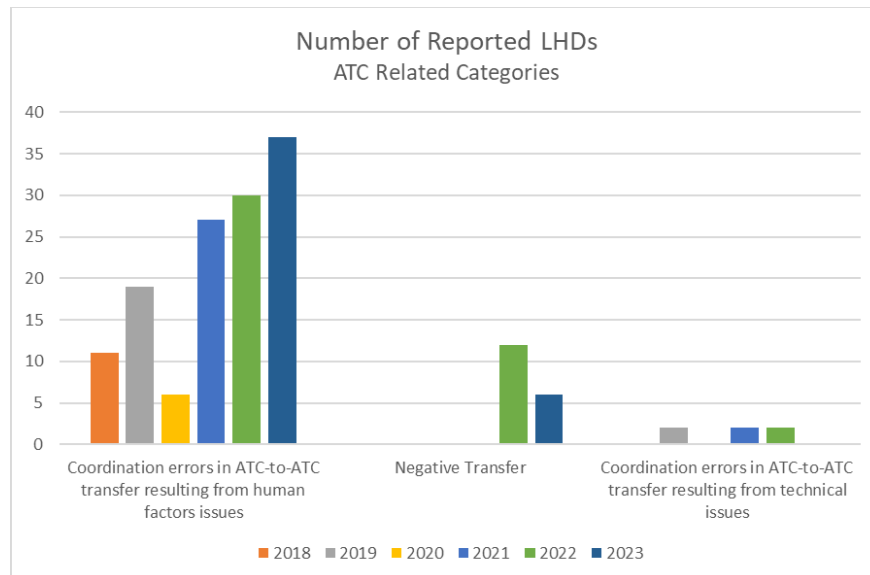


Figura 2-4. Tendencia observada en el número de LHD notificados: causas relacionadas con el ATC

2.22 Informes de fallas de comunicación

2.23 En el año calendario 2023, se reportaron 31 incidentes que especificaron fallas de comunicación entre el ATC y la aeronave. Veintinueve ocurrencias reportadas en México y dos ocurrencias reportadas en ARTCC de EE. UU. No hubo indicios de desviación del piloto ni de la ruta autorizada ni de la altitud durante el período de falla de comunicación. Debido a que no hubo indicios de desviación de la ruta o altitud autorizada, estos sucesos no contribuyen a la estimación del riesgo de colisión vertical.

2.24 La tendencia en el número de informes de fallas de comunicación ha aumentado con respecto al año anterior. La Figura 2-5 muestra la tendencia observada.

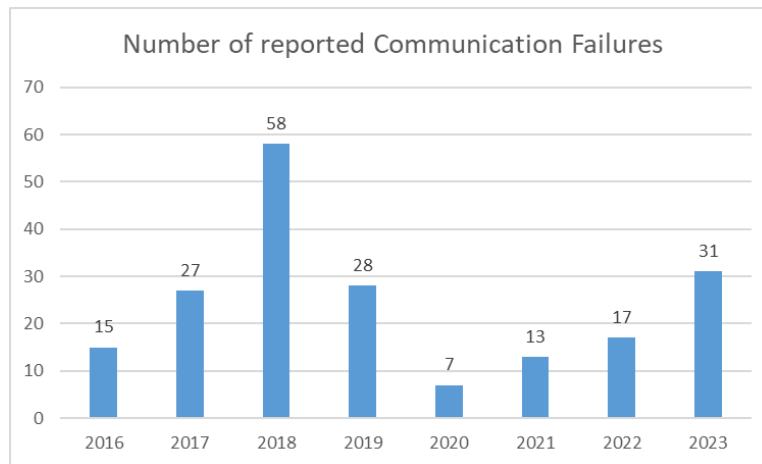


Figura 2-5. Número de fallos de comunicación notificados por año

2.25 La Figura 2-6 muestra las posiciones asociadas con las fallas de comunicación reportadas. Hubo cinco informes en el punto de referencia del espacio aéreo MATOL y cuatro informes en el punto de referencia del espacio aéreo LIDAM. La cantidad de minutos en los que el ATC no pudo comunicarse con una aeronave fue de 827 minutos en el año calendario 2023. Esto es un aumento con respecto al año calendario 2022, donde hubo 508 minutos en los que el ATC no pudo comunicarse con una aeronave.

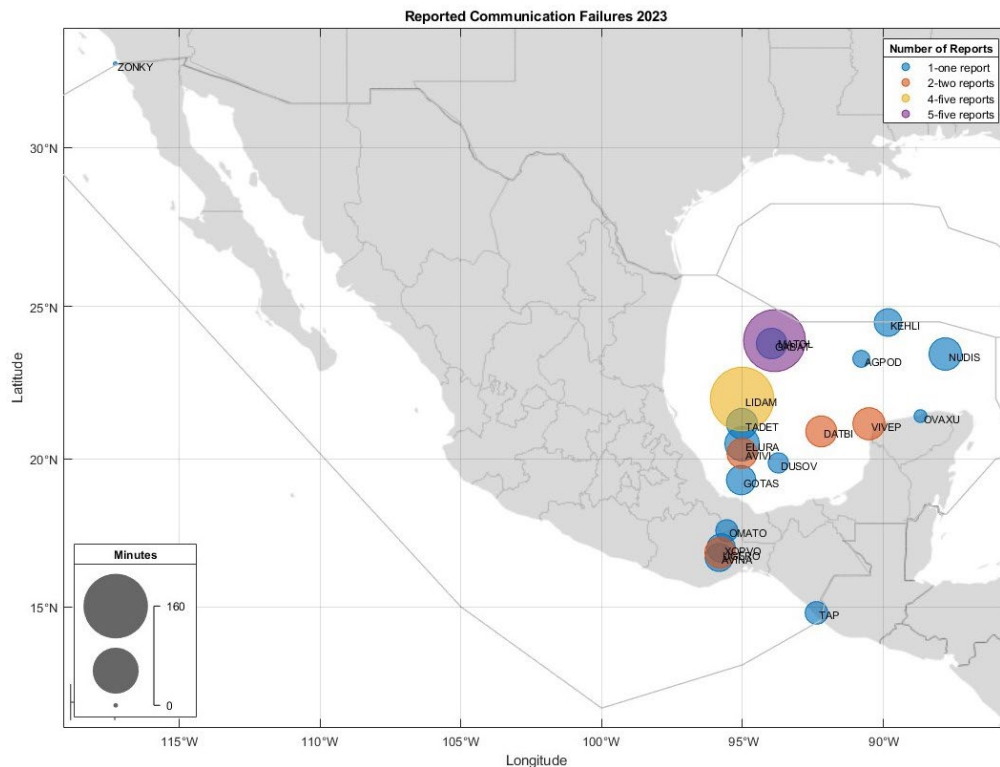


Figura 2-6. Fallos de comunicación reportados – 2023

2.26 Hubo cinco aviones de aviación general internacional (IGA) y veintiséis operadores de aviones comerciales involucrados en los informes de fallas de comunicación reportados desde 2023.

2.27 Estimación del riesgo de colisión vertical

2.28 Esta sección del documento proporciona las estimaciones de los parámetros utilizados en el modelo de riesgo vertical de la OACI. La metodología del riesgo de colisión consiste en un modelo matemático para estimar el riesgo y compararlo con el criterio de seguridad, el nivel objetivo de seguridad (TLS). La sección también proporciona información sobre las fuentes de datos utilizados para estimar los parámetros del modelo de riesgo.

2.29 El TLS acordado internacionalmente para el estándar de separación vertical de 1,000 pies se especifica para el riesgo técnico y operativo por separado. El riesgo técnico vertical está asociado a los efectos de la turbulencia, la pérdida de altitud y la respuesta de la tripulación a las alertas del sistema anticolidión a bordo, además de los errores derivados de la altimetría de la aeronave y del funcionamiento del sistema de mantenimiento de la altitud. La estimación vertical del riesgo operacional está asociada a errores operacionales. El riesgo por todas las causas es la suma de las estimaciones verticales de riesgo operativo y técnico. El TLS para el estándar de separación vertical de 1,000 pies se especifica como:

- el riesgo de colisión por todas las causas no supera los 5 accidentes fatales en 109 horas de vuelo y, simultáneamente,
- el riesgo de colisión debido a los sistemas de mantenimiento de altura de las aeronaves no supera los 2.5 accidentes fatales en 109 horas de vuelo

2.30 Con base en los datos TFMS de diciembre de 2023, la NAARMO estima aproximadamente 1,650,294 horas de vuelo anuales para 2023 en el espacio aéreo de México donde se aplica la RVSM. La Tabla 2-4 muestra las horas de vuelo dentro de cada flujo de tránsito identificado. Dado que se supone que una colisión debida a la pérdida de separación vertical de 1,000 pies resulta en dos accidentes fatales, el TLS se puede expresar como 2.5 colisiones fatales en el aire debido a todas las causas en 109 horas de vuelo.

Tabla 2-4. Horas de vuelo por flujo de tráfico – 2023

Traffic Flow	2023 Flying hours	Proportion of Traffic
GOMEX	341,585	20.70%
Offshore/Oceanic	13,783	0.84%
Domestic	1,145,951	69.44%
Mexico-USA Corridor	148,975	9.03%
Total	1,650,294	100%

2.31 El espacio aéreo de México consta de una combinación de rutas paralelas y cruzadas; por lo tanto, el riesgo total se expresa como la suma de tres tipos básicos de riesgo de colisión de la siguiente manera:

$$2.32 \quad N_{az} = N_{az}(same) + N_{az}(opp) + N_{az}(cross) \quad (1)$$

2.33 Los términos del lado derecho de la ecuación representan el número esperado de accidentes por hora de vuelo de aeronaves resultantes de colisiones de pares de aeronaves en rutas iguales, opuestas y cruzadas, respectivamente, debido a la pérdida de separación vertical entre aeronaves en vuelos adyacentes. niveles.

2.34 Los modelos para los tres tipos diferentes de riesgo de colisión (en dirección opuesta, en la misma dirección y en rutas cruzadas) tienen básicamente la misma estructura. La estimación del riesgo operacional vertical para el tráfico en la misma dirección y en dirección opuesta se compone de dos partes: la que se debe al tiempo pasado en niveles incorrectos y la que se debe a los niveles que se transfirieron sin autorización.

2.35 Tipos de aeronaves

2.36 La Figura 2-7 proporciona los 25 tipos de aeronaves principales observados en los datos de tráfico TFMS de diciembre de 2023 por horas de vuelo. Los tipos de aeronaves enumerados en la Figura 2-5 representan el 85 por ciento del total de horas de vuelo observadas en la muestra de tráfico.

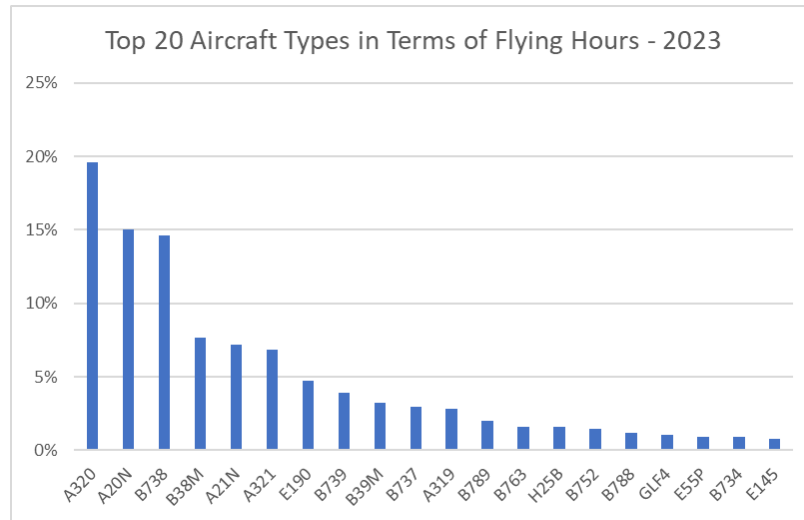


Figura 2-7. Tipos de aeronaves observados en términos de horas de vuelo - 2023

2.37 Tamaño de la aeronave

2.38 Los parámetros del modelo de riesgo de colisión relacionados con el tamaño de la aeronave son: longitud, envergadura de las alas e altura. Estos parámetros se estiman directamente a partir de los datos TFMS de diciembre de 2023 y las especificaciones de aeronaves relacionadas. Las dimensiones promedio se calculan utilizando las dimensiones reales del tipo de aeronave multiplicadas por la proporción del tiempo total de vuelo observado para el tipo en la muestra de tráfico. Los parámetros CRM resultantes para la longitud, envergadura de las alas e altura de la aeronave se presentan en la Tabla 2-5.

Tabla 2-5. Estimaciones de parámetros de CRM para el tamaño de la aeronave

Longitud λ_x (NM)	Envergadura de las alas λ_y (NM)	Altura λ_z (NM)
0.0213 [129.4 ft]	0.0188 [114.3 ft]	0.0064 [39.2 ft]

2.39 Ocupaciones verticales en la misma dirección, dirección opuesta y cruce de rutas

2.40 Los datos TFMS se utilizan para estimar el número de aviones que pasan verticalmente por hora para cada flujo de tráfico. El tráfico se separa en flujos separados para tener en cuenta áreas de baja y alta densidad de tráfico. La Tabla 2-6 muestra ocupaciones verticales en direcciones iguales y opuestas por flujo de tránsito.

Tabla 2-6. Ocupaciones verticales por flujo de tráfico - 2023

Flujo de tráfico	Ocupación vertical en la misma dirección	Ocupación vertical en dirección opuesta
GOMEX	0.094	0.247
Costa afuera/Océánico	0.000	0.001
Doméstico	0.029	0.055
Corredor México-Estados Unidos	0.063	0.195

2.41 La ocupación vertical de la ruta de cruce se estima por el número de pares de aeronaves verticalmente próximas en rutas que se cruzan en un ángulo específico, θ . Tanto las consideraciones matemáticas como la experiencia en evaluaciones de seguridad anteriores han establecido que la ocupación vertical estimada para pares de aeronaves en intersecciones de rutas es generalmente menor en un orden de magnitud que la de pares de aeronaves en la misma ruta en niveles de vuelo adyacentes. Por lo tanto, se espera que la estimación del riesgo de colisión para rutas cruzadas sea inferior al riesgo para niveles de vuelo adyacentes a la misma ruta. El número de pares de aviones que cruzan rutas para el año calendario 2023 es de 317,062 pares de aviones. Este valor es aproximadamente equivalente al observado en la muestra de datos de tráfico de 2022.

2.42 Probabilidad de superposición vertical atribuible al desempeño técnico de mantenimiento de altura y a los LHD reportados

2.43 Los factores que contribuyen al riesgo técnico RVSM incluyen; los efectos de la turbulencia, la pérdida de altitud y la respuesta de la tripulación a las alertas del sistema de prevención de colisiones en el aire, así como de errores en la altimetría de la aeronave y el funcionamiento del sistema de mantenimiento de la altitud. Por lo tanto, la estimación de la probabilidad de superposición vertical debe tener en cuenta las contribuciones al error vertical que surgen de todas estas fuentes.

2.44 Las estimaciones del error del sistema de altimetría de las aeronaves (ASE) y la desviación de altitud asignada (AAD) se obtienen a partir de procesos de monitoreo de altura de las aeronaves desarrollados por NAARMO. Estos procesos requieren varios conjuntos de datos, incluidos datos meteorológicos y de altura geométrica de las aeronaves. Los datos geométricos de la aeronave se obtienen de los datos de transmisión y vigilancia dependiente automática (ADS-B) o del sistema de unidad de monitoreo GPS (GMU). El control del ASE de aeronaves es uno de los principales objetivos del proceso de aprobación RVSM del Estado, el cual debe ser mantenido por los operadores en el espacio aéreo donde se aplica la RVSM.

2.45 La estimación de NAARMO para la probabilidad de superposición vertical para pares de aeronaves que operan en niveles de vuelo adyacentes, $P_z(1,000)$, utilizada en la estimación del riesgo técnico vertical es 1.93×10^{-9} . La estimación de NAARMO para la probabilidad de superposición vertical para pares de aeronaves que operan en el mismo nivel de vuelo, $P_z(0)$, utilizada en la estimación del riesgo operacional vertical es 0.42.

2.46 Tiempo pasado en FL inesperado

2.47 La proporción de tiempo de vuelo pasado en niveles incorrectos, P_i , se determina como la relación entre la cantidad de tiempo pasado en niveles incorrectos y la cantidad total de tiempo de vuelo en el espacio aéreo de México durante el período en que ocurrieron los eventos de nivel de vuelo incorrecto. Los LHD calificados para el año calendario 2023 contienen 34.5 minutos de tiempo de vuelo a un nivel de vuelo inesperado. Este tiempo se divide en los flujos de tráfico identificados según la posición dada en el reporte de LHD. La Tabla 2-7 provee el desglose de la duración de los LHD notificados y los niveles de vuelo atravesados por el flujo de tránsito identificado.

Tabla 2-7. Duración reportada de LHD y niveles de vuelo atravesados por el flujo de tránsito

Flujo de tráfico	Duración del LHD reportada (min)	Número de FL cruzados sin autorización
GOMEX	6	2
Costa afuera/Oceánico	4.3	0
México Doméstico	19.7	34
Corredor de México-Estados Unidos	4.5	1
TOTAL	34.5	37

2.48 Parámetros del modelo de riesgo de colisión

2.49 Los parámetros individuales de los modelos, sus definiciones, las estimaciones y las fuentes se dan en la Tabla 2-8. Estos parámetros son comunes a la estimación del riesgo vertical para todos los flujos de tráfico identificados.

Tabla 2-8. Estimaciones de parámetros del modelo de riesgo de colisión vertical

Término	Definición	Estimado	Fuente
$P_z(S_z)$	Probabilidad de que dos aeronaves que operan en la misma ruta nominalmente separadas por la separación vertical mínima S_z estén en superposición vertical.	1.93×10^{-9}	Valor utilizado en la estimación de riesgo vertical de CONUS de EE. UU.
$P_z(0)$	Probabilidad de que dos aeronaves que operan en la misma ruta y nivel de vuelo se superpongan verticalmente.	0.42	Valor utilizado en la estimación de riesgo vertical de CONUS de EE. UU.
$P_y(0)$	Probabilidad de que dos aviones en la misma ruta estén en superposición lateral.	0.1	Valor utilizado en las estimaciones de riesgo vertical para el espacio aéreo del Pacífico
λ_x	Longitud promedio de la aeronave.	0.0208 NM	Estimado utilizando la muestra TFMS de México de diciembre de 2023
λ_y	El promedio de la envergadura de las alas de un avión.	0.0184 NM	Estimado utilizando la muestra TFMS de México de diciembre de 2023
λ_z	Altura promedio del avión con el tren de aterrizaje retraído.	0.0063 NM	Estimado utilizando la muestra TFMS de México de diciembre de 2023
$ \Delta V $	Velocidad relativa absoluta promedio a lo largo de la trayectoria entre aeronaves en rutas en la misma dirección.	13 nudos	Valor utilizado en las estimaciones de riesgo vertical del espacio aéreo nacional del Atlántico Norte, el Pacífico y los EE. UU.

Término	Definición	Estimado	Fuente
$ \bar{v} $	Velocidad absoluta promedio sobre el terreno de la aeronave.	480 nudos	Valor utilizado en las estimaciones de riesgo vertical del espacio aéreo doméstico del Atlántico Norte, el Pacífico y los EE. UU.
$ \bar{y} $	Velocidad transversal relativa absoluta promedio para un par de aeronaves nominalmente en la misma ruta.	5 nudos	Valor utilizado en las estimaciones de riesgo vertical del espacio aéreo doméstico del Atlántico Norte, el Pacífico y los EE. UU.
$ \bar{z} $	Velocidad vertical relativa absoluta promedio de un par de aeronaves que han perdido toda la separación vertical.	1.5 nudos	Valor utilizado en las estimaciones de riesgo vertical del espacio aéreo nacional del Atlántico Norte, el Pacífico y los EE. UU.

2.5 0Resultados y conclusiones

2.51 La Tabla 2-9 proporciona estimaciones para 2023 del riesgo vertical técnico y operacional por flujo de tránsito para el espacio aéreo.

Tabla 2-9. Estimaciones de riesgo vertical para 2023 para el espacio aéreo RVSM ($\times 10^{-9}$ fapfh)

Flujo de tráfico	Estimación de riesgo técnico	Estimación del riesgo operativo	Estimación de riesgo total
GOMEX	0.04	2.73	2.77
Costa afuera/Oceánico	0.00	0.01	0.01
México Doméstico	0.03	2.33	2.36
Corredor de México-Estados Unidos	0.01	0.82	0.83
TOTAL	0.08	5.89	5.97

2.52 El riesgo técnico estimado en el espacio aéreo RVSM es de 0.08×10^{-9} accidentes fatales por hora de vuelo (fapfh). Esta estimación está significativamente por debajo de 2.5×10^{-9} fapfh, que es la parte del TLS establecida como objetivo de seguridad para el rendimiento técnico de mantenimiento de altura.

2.53 La estimación de riesgo total para el espacio aéreo RVSM, 5.97×10^{-9} fapfh, excede el objetivo de seguridad general de 5.0×10^{-9} fapfh. Una contribución importante a la estimación del riesgo de colisión vertical fueron las categorías de sucesos de coordinación ATC E1 y E2. La Figura 2-8 muestra la contribución a la estimación del riesgo de colisión vertical por categoría LHD; en conjunto, las categorías E1 y E2 representan el 89% de la estimación del riesgo. Muchos de los informes de categoría E ocurrieron en el punto de referencia del espacio aéreo NOTEM, un punto de referencia entre los ACC MMID y MMTY. Los LHD E1 y E2 reportados sobre NOTEM representan el 19% de la estimación de riesgo de colisión vertical para el espacio aéreo en 2023. Como resultado de estos sucesos, los ACC MMID y MMTY

modificaron su carta de acuerdo (LOA) y se firmó el 15 de septiembre, 2023. No ha habido ninguna repetición en el NOTEM desde que se firmó la LOA modificada.

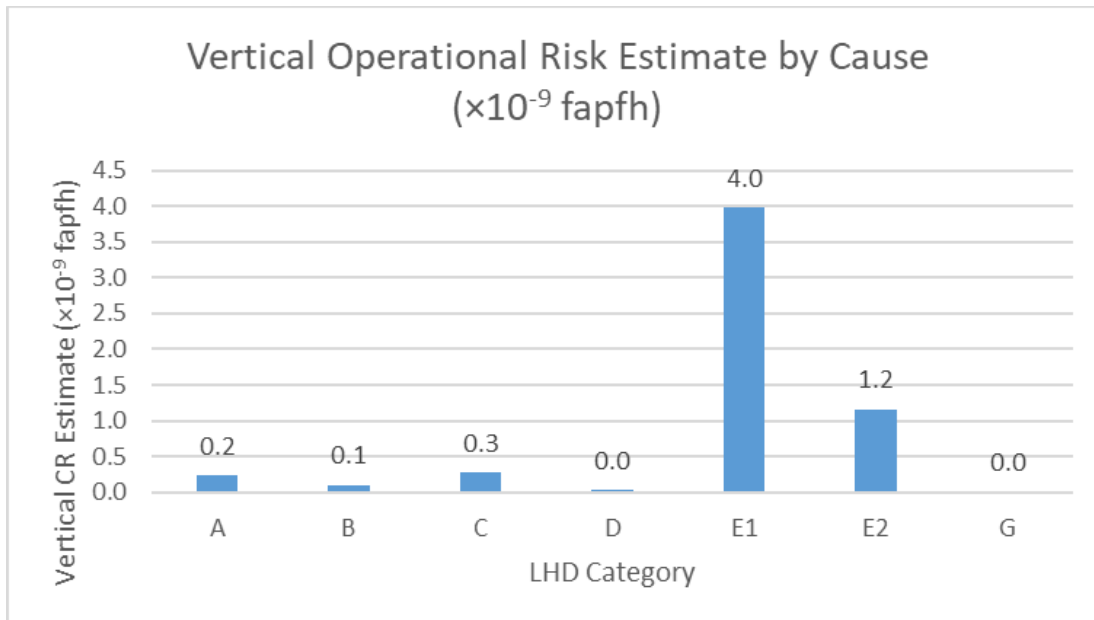


Figura 2-8. Estimaciones de riesgo de colisión vertical por categoría LHD - 2023

2.54 Espacio Aéreo RVSM de México

2.55 La Tabla 2-10 y la Figura 2-9 provee las estimaciones generales de riesgo vertical para los años calendario 2015 – 2023 para el espacio aéreo RVSM del Área de México, excluyendo el espacio aéreo del corredor México-Estados Unidos. El aumento en la estimación del riesgo vertical para el año calendario 2018 se produjo debido a tres LHD reportados de larga duración. En 2019 se modificó el método de cálculo para tener en cuenta los diferentes flujos de tráfico. Los flujos de tráfico se identificaron y utilizaron para estimar los parámetros asociados en el modelo de riesgo. Por ejemplo, el riesgo calculado para un LHD reportado que ocurrió en una sección del espacio aéreo no radar de baja densidad de tráfico tendrá un valor de riesgo menor en comparación con un LHD dentro de un área de alta densidad de tráfico.

Tabla 2-10. Estimaciones generales de riesgo vertical para el espacio aéreo RVSM del área de México

Año del calendario	Estimación del riesgo de colisión vertical (x10 ⁻⁹ fapfh)
2015	4.8
2016	4.8
2017	3.2
2018	16.7
2019	4.92
2020	1.51
2021	5.91
2022	12.21
2023	5.97

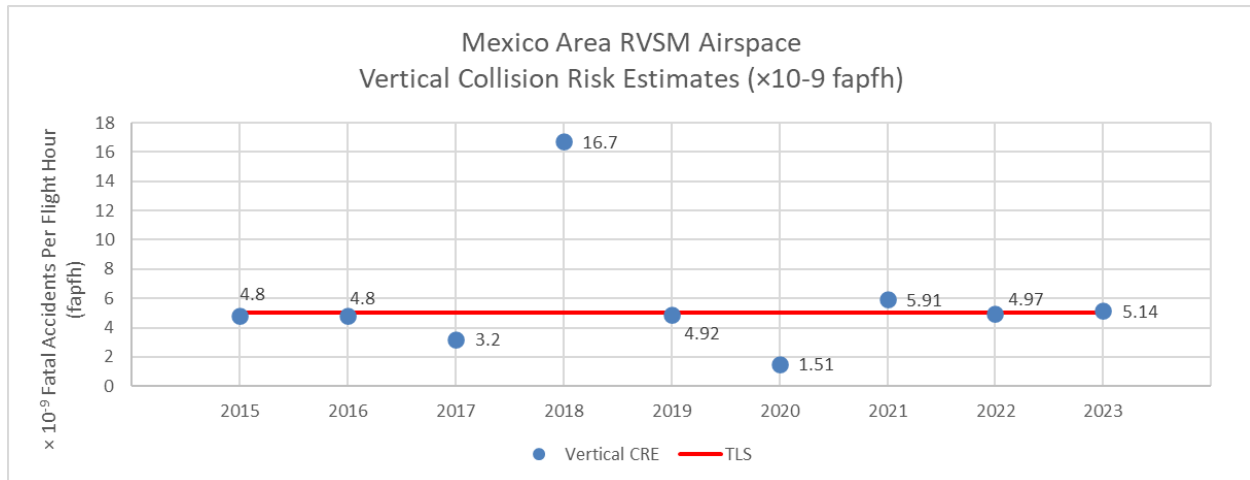


Figura 2-9. Estimaciones de Riesgo de Colisión Vertical, Área México Espacio Aéreo RVSM 2015 - 2023

2.56 La estimación del riesgo vertical para el espacio aéreo RVSM de México, calculado a partir de la suma de las tres primeras filas de la Tabla 2-9, es 5.14×10^{-9} fapfh. Este valor excede el objetivo general de seguridad operacional de 5.0×10^{-9} fapfh para el espacio aéreo RVSM de México.

3 Acción sugerida

3.1 Se invita al GTE a:

- a) anotar y discutir la información proporcionada, y
- b) solicitar que ambas unidades ATC involucradas en sucesos de LHD de categoría E continúen compartiendo información para mejorar los resultados de la validación.