



Universidad Nacional de La Plata
Facultad de Ingeniería
Departamento de Aeronáutica



Trabajo Final de Carrera

Desarrollo de una herramienta de análisis de seguridad operacional en franja de pista mediante modelos probabilísticos de accidente por excursiones de pista.

Alumno: Pinto Federico Matías
Director: Ing. Di Bernardi Alejandro
Codirector: Ing. Coppa Matías
Coordinador: Ing. Claudio Rimoldi

INDICE DE CONTENIDOS

ABREVIATURAS	7
DEFINICIONES	9
1. TEMA	12
2. OBJETIVOS	12
3. ALCANCE	12
4. CONTEXTO DE DESARROLLO	12
5. INTRODUCCION	13
5.1. Contexto aéreo mundial	13
5.2. Actualidad en accidentes aéreos	14
5.3. Excursiones de pista.....	23
5.4. Aeropuertos de referencia.....	32
5.5. Estudios de seguridad operacional (ESO)	35
6. DESARROLLO	41
6.1. Metodología elaborada.....	41
6.2. Hipótesis y condiciones de contorno.....	41
6.3. Determinación de aeropuertos analizados.....	42
6.4. Identificación de peligros.....	46
6.5. Determinación probabilística de sucesos.	52
6.6. Ponderación de severidad para peligros identificados.....	64
7. RESULTADOS.....	75
8. CONCLUSIONES	90
9. TRABAJOS FUTUROS.....	91
10. BIBLIOGRAFIA	93
11. APENDICE.....	95

INDICE DE FIGURAS Y TABLAS

<i>Figura 1: Porcentaje de crecimiento anual de pasajeros trasportados. Fuente OACI [1]</i>	15
<i>Figura 2: Cantidad de pasajeros transportados anualmente en el mundo. Fuente OACI [1]</i>	15
<i>Figura 3: Cantidad de vuelos comerciales anuales en el mundo. Fuente OACI [1]</i>	16
<i>Figura 4: Registro de accidentes y fatalidades (2005-2015). Fuente OACI. [5]</i>	17
<i>Figura 5: Índice general de accidentes por cada millón de vuelos en el mundo. Fuente OACI. [5]</i>	18
<i>Figura 6: División de regiones en el mundo. Fuente IATA [6].</i>	19
<i>Figura 7: Índice de accidentes, categorizado por regiones para el año 2016. Fuente IATA [6].</i>	19
<i>Figura 8: Índice de accidentes para regiones IATA. Fuente IATA [6].</i>	20
<i>Figura 9: Movimiento de pasajeros anual vs fatalidades. Fuente IATA [6].</i>	21
<i>Figura 10: Accidentes por categoría para el año 2016. Fuente IATA [6].</i>	22
<i>Figura 11: Accidentes por categoría para períodos 2009/2013 y 2012/2016. Fuente IATA [8] [9].</i>	22
<i>Figura 12: Índice de accidentes graves según frecuencia y fatalidad. Fuente IATA [6].</i>	23
<i>Figura 13: Esquema de Overrun para despegue o aterrizaje. Fuente: elaboración propia.</i>	24
<i>Figura 14: Esquema de Veer-off para despegue o aterrizaje. Fuente: elaboración propia.</i>	24
<i>Figura 15: Contribución de las excursiones de pista en el total de accidentes. Fuente IATA [6]</i>	25
<i>Figura 16: Excursiones de pista según fases de vuelo. Fuente IATA [6].</i>	25
<i>Figura 17: Distancias relativas de frenado según la condicion de la pista.</i>	27
<i>Figura 18: Dimensiones de Franja de pista y RESA para pistas clave 3 y 4. Fuente: OACI [10].</i>	28
<i>Figura 19 y 20: Sistema de contención de aeronaves (EMAS).</i>	30
<i>Figura 21: Construcción EMAS en el aeropuerto de Charleston. Fuente: Tencate [11]</i>	31
<i>Figuras 22 23 y 24: Accidente CRJ200, contenido por el sistema EMAS, en el aeropuerto KCRW.</i>	32
<i>Figura 25: Aeropuerto EGLC con plataforma dentro de la franja de pista. Fuente: Google Earth.</i>	33
<i>Figura 26: Aeropuerto Cabo San Lucas, franjas de pista y RESA obligatoria. Fuente Google Earth.</i>	33
<i>Figura 27 y Figura 28: Fotografías del Aeropuerto de Congonhas. Fuente Google Earth.</i>	34
<i>Figura 29 y Figura 30: Fotografías del Aeropuerto Jorge Newbery. Fuente Google Earth.</i>	34

Figura 31: Matriz de riesgo según OACI. Fuente: OACI [13]	38
Figura 32: Matriz de riesgo según FAA. Fuente FAA[14]	39
Figura 33: Matriz de riesgo según AESA. Fuente: AESA [15]	39
Figura 34: Matriz de Riesgo según LAR. Fuente: LAR [16]	39
Figura 35: Matriz de riesgo según ANAC, Argentina. Fuente: ANAC [17]	40
Figura 36: Matriz de Riesgo según DINACIA Uruguay. Fuente: DINACIA [18]	40
Figura 37: Matriz de Riesgo según DGAC Perú. Fuente: DGAC [19]	40
Figura 38: Regiones OACI. Fuente OACI.	43
Figura 39: Región SAM. Fuente OACI.	43
Figura 40: Discrtización de pista utilizada en el modelo gráfico. Fuente: elaboración propia.	47
Figura 41: Visualización del modelo con imágenes satelitales (SADF). Fuente: elaboración propia.	47
Figura 42: Visualización del modelo con imágenes satelitales (SADF). Fuente: elaboración propia.	48
Figura 43: accidentes por intervalo de tiempo para la región SAM –Aviación Comercial. Fuente: E. M. Brito, “Estudio y Caracterización de Accidentes Aéreos: Excursiones de Pista.” 2015 [22]	55
Figura 44: Sistema de coordenadas para modelo de Overrun. Fuente: Elaboración propia.	57
Figura 45: Sistemas de coordenadas para modelos de Veeroff. Fuente: Elaboración propia.	58
Figura 46: Cantidad de VeerOff según su distancia final al eje de pista. Fuente ACRP [23].	58
Figura 47: Distribución probabilística transversal al eje de pista. Fuente ACRP [23].	59
Figura 48: Cantidad de Overruns según distancia al extremo de pista. Fuente ACRP [23].	59
Figura 49: Probabilidad “x” e “y” para Veeroff, para despegues y aterrizajes. Fuente ACRP [23]	60
Figura 50: Probabilidad “x” e “y” para Overruns, para despegues y aterrizajes. Fuente ACRP [23]	61
Figura 51: Porcentaje de sucesos de excursiones de pista. Fuente ACRP [23].	61
Figura 52: Visualización de probabilidad de localización. Fuente: Elaboración propia	62
Figura 53: Probabilidad final por cuadrantes para Veeroff y Overrun. Fuente: elaboración propia.	63
Figura 54: Factores relevantes a la severidad de un accidente. Fuente: Elaboración propia.	65
Figura 55: Esquema de distancias necesarias de frenado. Fuente: OACI [24]	69

<i>Figura 56: Visualización de distancias de frenado para un B747 tocando en el punto de visada. Fuente: elaboración propia</i>	70
<i>Figura 57: Código de colores niveles de severidad. Fuente: elaboración propia.</i>	75
<i>Figura 58: Peligros identificados para cada aeropuerto. Fuente: elaboración propia.</i>	75
<i>Figura 59: Porcentaje de peligros identificados en la región. Fuente: Elaboración propia.</i>	76
<i>Figura 60: Porcentaje de cuadrantes afectados en la región. Fuente: Elaboración propia.</i>	77
<i>Figura 61: Referencia de sectores analizados en el entorno de pista. Fuente: elaboración propia.</i>	77
<i>Figura 62: Cantidad de peligros vs cantidad de operaciones por aeropuerto. Fuente: Elaboración propia.</i>	78
<i>Figura 63: Interfaz de herramienta desarrollada para identificación de riesgo preliminar. Fuente: elaboración propia.</i>	79
<i>Figura 64: Esquema de inputs necesarios para la herramienta. Fuente: elaboración propia.</i>	79
<i>Figura 65: Selección del tipo de peligro. Fuente: elaboración propia.</i>	80
<i>Figura 66: Interfaz para la identificación de nuevo peligro. Fuente: elaboración propia.</i>	80
<i>Figura 67: Esquema menú de selección Tipo de Peligro. Fuente: elaboración propia.</i>	81
<i>Figura 68: Selección de la ubicación de peligro. Fuente: elaboración propia.</i>	82
<i>Figura 69: Esquema menú de selección Ubicación del Peligro. Fuente: elaboración propia.</i>	83
<i>Figura 70: Selección de aeronave involucrada. Fuente: elaboración propia.</i>	83
<i>Figura 71: Esquema menú de selección tipo de aeronave involucrada. Fuente: elaboración propia</i>	83
<i>Figura 72: Interfaz para la incorporación de nueva aeronave. Fuente: elaboración propia.</i>	84
<i>Figura 73: niveles de severidad, con escala de colores. Fuente: elaboración propia.</i>	84
<i>Figura 74: Niveles de probabilidad con escala de colores. Fuente: elaboración propia.</i>	84
<i>Figura 75: Ejemplo de utilización de herramienta. Fuente: elaboración propia.</i>	85
<i>Figura 76: Visualización de modelo sobre El Palomar, pista 16. Fuente: Elaboración propia.</i>	86
<i>Figura 77: Visualización de modelo sobre El Palomar, pista 34. Fuente: Elaboración propia.</i>	86
<i>Figura 78: Autopista, cerco perimetral, árboles y desarmadero en RESA recomendada. Fuente: elaboración propia.</i>	86

Figura 79: Arboles y discontinuidades abruptas de terreno en franja y RESA recomendada. Fuente: elaboración propia. _____ 87

Figura 80: Arboles, discontinuidad abrupta de terreno y edificación de sistemas de apoyo. Fuente: elaboración propia. _____ 87

Figura 81: Matriz de riesgo - Pista 16 SADP. Fuente: elaboración propia. _____ 89

Figura 82: Matriz de riesgo - Pista 34 SADP. Fuente: elaboración propia. _____ 90

ABREVIATURAS

ACRP	Airport Cooperative Research Program
ADREP	Sistema de notificación de datos sobre accidentes/incidentes
AESA	Agencia Estatal de Seguridad Aérea
AFI	África
AIP	Publicaciones de Información Aeronáutica
ANAC	Administración Nacional de Aviación Civil
ASPAC	Asia y Pacífico
CAR	Caribe
CIS	Comunidad de Estados Independientes
CFIT	Vuelo controlado hacia el terreno
EMAS	Sistemas de Contención de Materiales de Ingeniería
ESO	Estudio de Seguridad Operacional
EU	Unión Europea
FAA	Federal Aviation Administration
FSF	Flight Safety Foundation
G UP LDG/CLPSE	Aterrizaje con tren arriba / Colapso del tren de aterrizaje
GND DAMAGE	Daños en tierra
HARD LDG	Aterrizaje Violento
IATA	Asociación Internacional de Transporte Aéreo
ILS	Sistema de Aterrizaje Instrumental
IN-F DAMAGE	Daños en Vuelo
LAR	Reglamentos Aeronáuticos Latinoamericanos
LATAM	América Latina
LDA	Distancia Disponible de Aterrizaje
LDOR	Overrun en Aterrizaje
LDVO	Veer-Off en Aterrizaje
LND	ATERRIZAJE
LOC-I	Pérdida de control en vuelo
MID-AIR COLL	Colisión en aire
MENA	Medio Oriente y Norte de África

MTOW	Peso Máximo de despegue
NASI	Norte de Asia
NAM	Norte América
OFF AIRP LDG	Aterrizaje fuera de aeropuerto
OR	Overrun
PKT	Pasajero-Kilómetro Transportado
RE	Excursión de Pista
RESA	Área de Seguridad de Extremo de Pista
RSA	Área de Seguridad de Pista
RTO	Despegue abortado
RWY COLL	Colisión en pista
RWY/TWY EXC	Excursión en Pista/Calle de Rodaje
SARP	Normas y Prácticas Recomendadas
SMM	Manual de gestión de la seguridad operacional
SMS	Sistema de gestión de Seguridad
SOP	Procedimientos de Operación Estándar
TODA	Distancia Disponible para el Despegue
TOF	Despegue
TOOR	Overrun en Despegue
TOVO	Veer-Off en Despegue
TXI	Taxeo de entrada
TXO	Taxeo de salida
VMC	Condiciones Meteorológicas Visuales
VO	Veer-Off
WASS	World Aircraft Accident Summary

DEFINICIONES

Con el fin de evitar malas comprensiones y no generar dualidades de interpretación, de manera complementaria a las abreviaturas relacionadas con el tema ya presentadas, a continuación se presentan las siguientes definiciones.

Accidente: Todo suceso relacionado con la utilización de una aeronave que, en el caso de una aeronave tripulada, ocurre entre el momento en que una persona entra a bordo de la aeronave, con la intención de realizar un vuelo, y el momento en que todas las personas han desembarcado, durante el cual:

Cualquier persona sufre lesiones mortales o graves a consecuencia de hallarse en la aeronave, por contacto directo con cualquier parte de la aeronave, incluso las partes que se hayan desprendido de la aeronave, o por exposición directa al chorro de un reactor, excepto cuando las lesiones obedezcan a causas naturales, se las haya causado una persona a sí misma o hayan sido causadas por otras personas o se trate de lesiones sufridas por pasajeros clandestinos escondidos fuera de las áreas destinadas normalmente a los pasajeros y la tripulación.

La aeronave sufre daños o roturas estructurales que afectan adversamente su resistencia estructural, su performance o sus características de vuelo; y que normalmente exigen una reparación importante o el recambio del componente afectado; excepto por falla o daños del motor, cuando el daño se limita a un solo motor.

La aeronave desaparece o es totalmente inaccesible, teniendo en cuenta que una aeronave se considera desaparecida cuando se da por terminada la búsqueda oficial y no se han localizado los restos.

Área de seguridad de extremo de pista (RESA): Área simétrica respecto a la prolongación del eje de la pista y adyacente al extremo de la franja, cuyo objeto principal consiste en reducir el riesgo de daños a un avión que efectúe un aterrizaje demasiado corto o un aterrizaje demasiado largo.

Aterrizaje interrumpido: Maniobra de aterrizaje que se suspende de manera inesperada en cualquier punto por debajo de la altitud/altura de franqueamiento de obstáculos.

Excursión de Pista: Cualquier evento en el que una aeronave se desvía o rebasa la superficie de la pista, durante la fase de despegue o aterrizaje.

Extremo de pista: Sección final de la pista utilizable para el aterrizaje o despegue.

Franja de pista: Una superficie definida que comprende la pista y la zona de parada, si la hubiese, destinada a reducir el riesgo de daños a las aeronaves que se salgan de la pista; y a proteger a las aeronaves que la sobrevuelan durante las operaciones de despegue o aterrizaje.

Hull-Loss: Se denomina a un accidente en el cual la aeronave es destruida o dañada sustancialmente al punto de que no puede ser reparada, cualquiera sea la razón, incluso por decisiones financieras del propietario.

Incidente: Todo suceso relacionado con la utilización de una aeronave, que no llegue a ser un accidente, que afecte o pueda afectar la seguridad de las operaciones.

Incidente grave: Un incidente en el que intervienen circunstancias que indican que hubo una alta probabilidad de que ocurriera un accidente, que está relacionado con la utilización de una aeronave y que, en el caso de una aeronave tripulada, ocurre entre el momento en que una persona entra a bordo de la aeronave, con la intención de realizar un vuelo, y el momento en que todas las personas han desembarcado, o en el caso de una aeronave no tripulada, que ocurre entre el momento en que la aeronave está lista para desplazarse con el propósito de realizar un vuelo y el momento en que se detiene, al finalizar el vuelo, y se apaga su sistema de propulsión principal.

Longitud del campo de referencia del avión: Longitud de campo mínima necesaria para el despegue con la masa máxima certificada de despegue al nivel del mar, en atmósfera tipo, sin viento y con pendiente de pista cero, como se indica en el correspondiente manual de vuelo del avión, prescrito por la autoridad que otorga el certificado, según los datos equivalentes que proporcione el fabricante del avión.

Overrun: Ocurren tanto en la etapa de despegue como en la de aterrizaje, y hacen referencia a excursiones de pista donde la aeronave termina sobrepasando el extremo de pista.

Peligro: Un peligro se define como una condición o un objeto que podría provocar lesiones al personal, daños al equipo o estructuras, pérdidas de material, reducción de la capacidad de realizar una función prescrita. Los peligros no son necesariamente componentes perjudiciales o negativos de un sistema. Sólo cuando los peligros interactúan con las operaciones del sistema dirigidas a la prestación de servicios, puede transformarse en un problema de seguridad operacional.

Pista: Área rectangular definida en un aeródromo terrestre preparada para el aterrizaje y el despegue de las aeronaves.

Seguridad operacional: Estado en que el riesgo de lesiones a las personas o daños a los bienes se reduce y se mantiene en un nivel aceptable, o por debajo del mismo, por medio de un proceso continuo de identificación de peligros y gestión de riesgos.

Umbral: Comienzo de la parte de pista utilizable para el aterrizaje o despegue.

Veer-Off: Ocurren tanto en la etapa de despegue como en la de aterrizaje, y hacen referencia a excursiones de pista donde la aeronave termina abandonando la pista por alguno de sus laterales.

Zona de parada: Área rectangular definida en el terreno situado a continuación del recorrido de despegue disponible, preparada como zona adecuada para que puedan pararse las aeronaves en caso de despegue interrumpido.

Zona de toma de contacto: Parte de la pista, situada después del umbral, destinada a que los aviones que aterrizan hagan el primer contacto con la pista.

1. TEMA

Desarrollo de una herramienta de análisis de seguridad operacional en franja de pista mediante modelos probabilísticos de accidentes por excursiones de pista.

2. OBJETIVOS

Se presenta una herramienta preliminar que permite caracterizar y evaluar el riesgo operacional presente en franjas de pista y zonas asociadas en aeropuertos con operaciones aerocomerciales. Las conclusiones y recomendaciones obtenidas como resultados permiten lograr un aporte significativo para una mejora en la seguridad operacional. Adicionalmente se valida el desarrollo mediante la aplicación de la herramienta desarrollada en un determinado aeropuerto específico de la región SAM de OACI.

3. ALCANCE

Mediante la información bibliográfica recopilada, se llevó a cabo el análisis de las metodologías existentes asociadas a modelos de riesgo. Se analizaron las problemáticas más habituales en franjas de pista de aeropuertos con tráfico aerocomercial de la región SAM con características de infraestructura y operaciones similares.

Con la información obtenida y los criterios adoptados se procedió a identificar los principales factores de riesgo en las franjas de pista y zonas asociadas, y mediante la caracterización de los accidentes ocurridos se determinó la severidad de cada peligro existente, lo cual sirve como base para el desarrollo de la herramienta capaz de identificar el riesgo preliminar y evaluarlo. Se identificaron los aeropuertos más significativos respecto a operaciones en la región, y luego se aplicó la herramienta desarrollada en uno de ellos, para validar la misma.

4. CONTEXTO DE DESARROLLO

El presente trabajo se desarrolló en el Grupo de Transporte Aéreo (G.T.A.) perteneciente a la Unidad de Investigación, Desarrollo, Extensión, y Transferencia (U.I.D.E.T.) "G.T.A.-G.I.A.I." del Departamento de Aeronáutica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata (U.N.L.P.).

5. INTRODUCCION

5.1. Contexto aéreo mundial

En la actualidad, el transporte aéreo es considerado como uno de los medios de transporte más seguros y confiables del mundo, sin embargo, no siempre ha sido así. Los avances en materia de seguridad operacional han llegado como consecuencia de una gran variedad de factores, tales como un gran desarrollo de la industria aeronáutica y la tecnología, una amplia evolución en cuanto a la capacitación de todo el personal operativo y el respaldo brindado por fuertes organismos reguladores que imponen y actualizan las normativas aeronáuticas. Todos estos avances, entre los más relevantes, fueron impulsados por numerosas investigaciones realizadas sobre los diferentes accidentes ocurridos a lo largo de la historia. Dichas investigaciones permitieron detectar, identificar y cuantificar las causas de los accidentes, lo cual posibilitó el desarrollo de las medidas necesarias para mejorar la seguridad y confiabilidad del sistema aeronáutico.

El sistema de aviación moderno se caracteriza por contar con redes de organizaciones comerciales y gubernamentales cada vez más variadas y complejas. El entorno operativo de la aviación, que cambia rápidamente, requiere que estas organizaciones se adapten continuamente para mantener su viabilidad e importancia. El sistema de aviación está globalizándose cada vez más y esto hace que pocos mercados de entidades de negocios, redes de proveedores y operaciones están totalmente confinados dentro de los límites de un solo país. Estas características de complejidad, diversidad y cambio aumentan la importancia de una gestión acertada de funciones que son esenciales para la seguridad de las operaciones. Si bien se observa una mejora en la seguridad operacional gracias a los esfuerzos en los sistemas de aviación, el rápido aumento en el volumen y la variedad de las operaciones aéreas desplazan los límites de las estrategias y métodos de seguridad vigentes.

La industria de transporte aéreo cumple un rol fundamental en la actividad económica mundial, por lo que la agencia especializada de las Naciones Unidas, la Organización de la Aviación Civil Internacional (OACI), fue creada en 1944 para promover el desarrollo seguro y ordenado de la aviación civil internacional alrededor del mundo.

La OACI establece las normas y métodos recomendados (SARP) necesarias para la protección ambiental, eficiencia, seguridad y seguridad operacional de la aviación a nivel mundial y funciona como el foro principal para la cooperación en todos los campos de la aviación civil entre los 191 Estados miembro.

Mejorar la seguridad operacional del sistema de transporte aéreo mundial es el objetivo estratégico fundamental y referente de la OACI. La organización trabaja constantemente para abordar y mejorar la seguridad operacional de la aviación a nivel mundial a través de las siguientes actividades coordinadas:

- Iniciativas de políticas y estandarización.
- Observación de los principales indicadores y tendencias de la seguridad.
- Análisis de seguridad.
- Implementación de programas para abordar problemas de seguridad.

Actualmente, la OACI está trabajando en conjunto con la comunidad aeronáutica internacional para lograr mejoras en la seguridad operacional, haciendo énfasis en aquellas regiones que tienen los índices de accidentes más altos. Sin embargo, a pesar de los esfuerzos de OACI por actualizar las normativas de manera que acompañen el crecimiento garantizando la seguridad operacional, todavía en la actualidad existen irregularidades en los campos de vuelo de todo mundo que requieren atención para ser analizados. Sobre estas deficiencias, es donde se requiere mejor planificación, un análisis de riesgo, y la toma de decisiones correctas para disminuir la probabilidad de ocurrencia de cualquier tipo de suceso no deseado.

5.2. Actualidad en accidentes aéreos

De acuerdo a la Organización de la Aviación Civil Internacional [1], la cantidad total de pasajeros transportados en vuelos comerciales aumentó casi un 60% en los últimos 10 años. Desde el 2006, el crecimiento anual de los vuelos aerocomerciales tiene una tasa de crecimiento definida y pujante para la industria, que solo se ha visto afectada por situaciones completamente impredecibles como lo fue la Gran Recesión Económica de los Estados Unidos en el 2008 o ciertos actos de terrorismo que han paralizado la industria en períodos anteriores (2001). Como se puede ver en la Figura 1 este crecimiento ha

presentado picos de aproximadamente un 9% anual en cantidad de pasajeros transportados, y porcentajes inferiores al 2% e incluso negativos para los años de crisis.

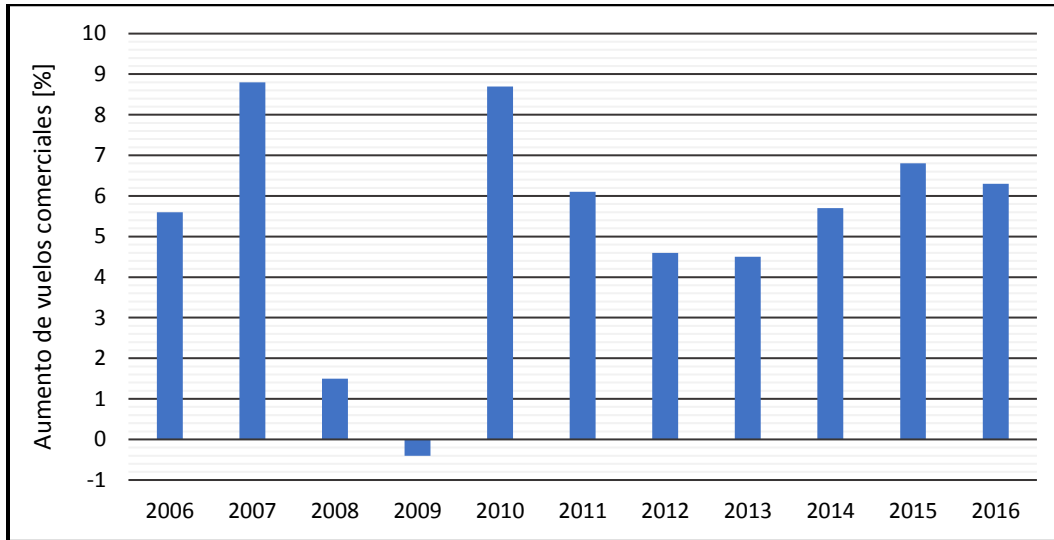


Figura 1: Porcentaje de crecimiento anual de pasajeros transportados. Fuente OACI [1]

Como se puede ver a continuación en la Figura 2, la cantidad de pasajeros transportados por vuelos comerciales ha tenido un importante crecimiento desde el año 2006 con 2.257 millones, hasta el año 2016 que cerró con 3.700 millones de pasajeros. Para este período se puede observar que, si bien han existido fluctuaciones en las estadísticas, se nota una marcada tendencia de crecimiento para la cantidad de pasajeros transportados en el mundo.

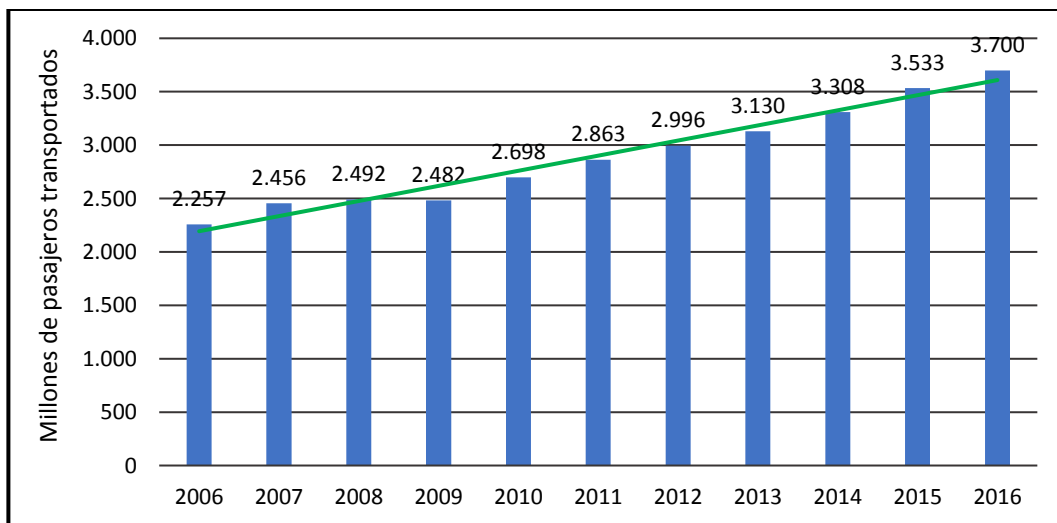


Figura 2: Cantidad de pasajeros transportados anualmente en el mundo. Fuente OACI [1]

Otra manera de visualizar estas estadísticas, para entender el orden de magnitud de lo que representan estos valores, es la cantidad de vuelos comerciales como lo muestra la Figura 3. En todo el mundo para el año 2016 se tuvieron 34.5 millones de vuelos, los cuales representan una diferencia de 7 millones si se comparan con los 27.5 millones de vuelos que hubo en el año 2006, es decir un crecimiento mayor al 20% en el transcurso de esta última década.

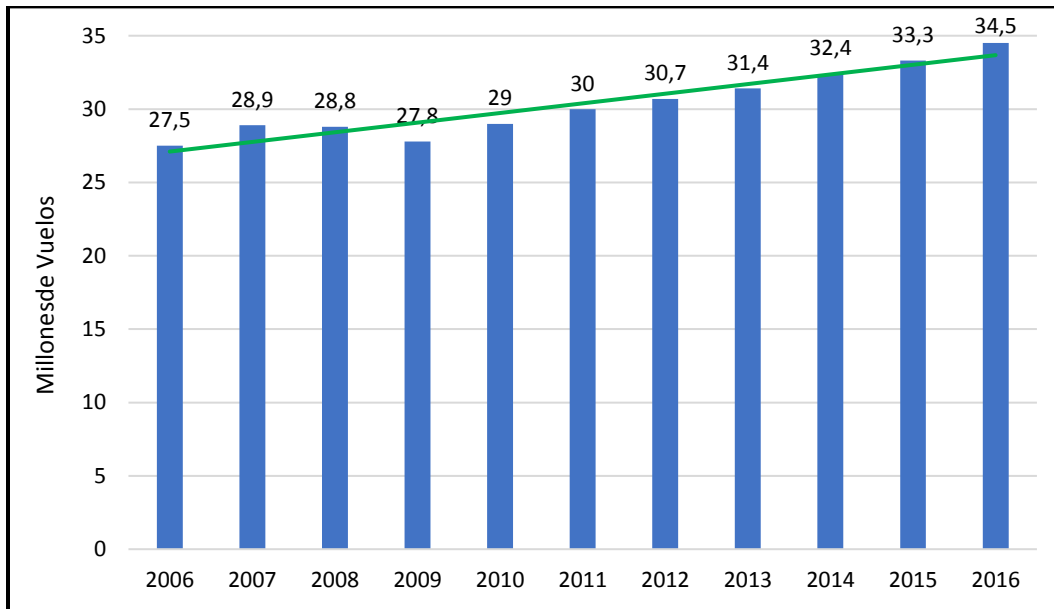


Figura 3: Cantidad de vuelos comerciales anuales en el mundo. Fuente OACI [1]

Teniendo en cuentas las cifras mencionadas recientemente respecto a la industria aerocomercial, y sumando información emitida en reportes anuales respecto a accidentes tanto de OACI como de IATA, se puede concluir que las estadísticas correspondientes a accidentes están decreciendo en el número total de accidentes año tras año, a pesar del incremento mencionado de la actividad aerocomercial.

A continuación se puede observar en la Figura 4 el registro de accidentes de OACI [2][3][4] para el período 2005-2015, en el cual se muestra la relación entre el total de accidentes, cuántos de ellos han tenido consecuencias fatales, y la cantidad de fatalidades producidas por estos accidentes.

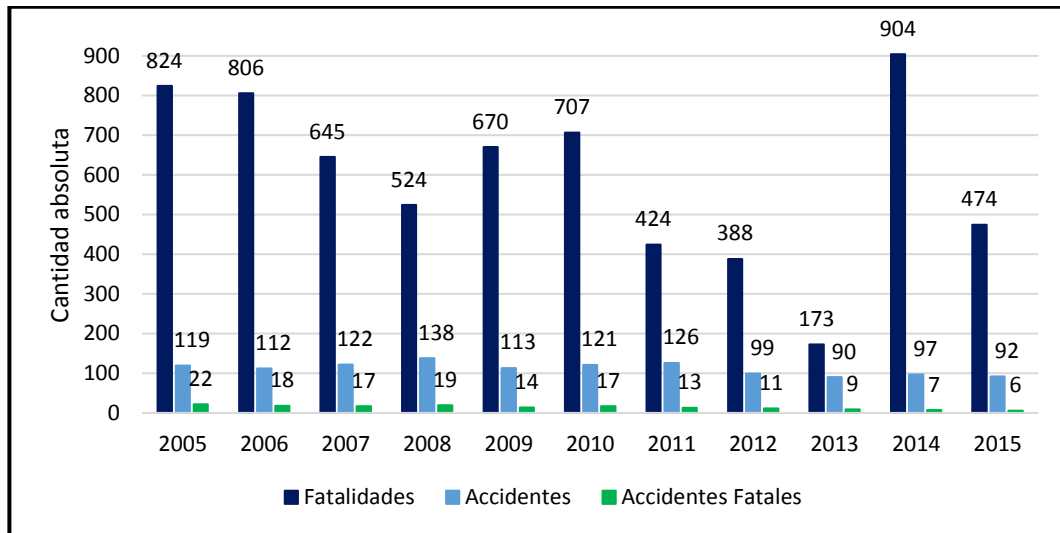


Figura 4: Registro de accidentes y fatalidades (2005-2015). Fuente OACI. [5]

En estos registros de accidentes se muestra que en dicho período, se tiene al año 2013 como el año récord respecto de accidentes totales y fatalidades, con valores de 90 y 173 respectivamente.

De todas maneras, también se puede ver que para el año 2015 han mejorado notablemente las estadísticas respecto a las cifras heredadas del año anterior. Para este año se tuvieron 474 fatalidades, las cuales son un decrecimiento sustancial respecto de las 904 fatalidades producidas en el año 2014, el cual representa el año con mayor número de casos mortales en transporte aéreo comercial regulares en los últimos diez años.

Cabe destacar que, si bien el año 2015 ha sido un año con muchas mejorías, para el cual se ha logrado la menor cantidad de accidentes mortales de los últimos diez años, se debe contemplar que la cantidad de fatalidades se deben en parte a dos hechos que dejaron al mundo atónito. Estos casos son el vuelo de Accidente Germanwings 9525 (Apéndice, página 95) y Metrojet 9268 (Apéndice, página 95) los cuales se cobraron un total 374 vidas. Por otro lado, de manera similar las cifras elevadas de fatalidades producidas en el año 2014 se deben en gran parte a los accidentes trágicos del vuelo MH 370 del Malaysia Airlines (Apéndice, página 96) y el vuelo MH 17 (Apéndice, página 96) también de Malaysia Airlines, pero sin embargo, para ese mismo año la cantidad de accidentes mortales disminuyó a solo 7. Por lo tanto, se puede decir que el año 2015 ha sido una reminiscencia del año 2014, dado que ambos fueron los años más seguros de la industria en términos de cantidad de

accidentes mortales, pero sus resultados se vieron opacados, producto de estos hechos que son actos totalmente deliberados en atentar contra la seguridad del vuelo.

No existen soluciones fáciles a los problemas revelados en cada una de estas tragedias, pero sin embargo todas aportan información para mejorar la seguridad operacional. Es claro que la industria de la aviación sigue trabajando para minimizar el riesgo de que estos eventos vuelvan a suceder.

Para tener una medición más representativa respecto de los accidentes, OACI elabora un índice de accidentes el cual se relaciona directamente con la cantidad de vuelos. A continuación, en la Figura 5 se puede ver el resultado del índice de accidentes de manera anual para el período 2005-2015. En esta, se puede ver que dicho índice ha ido decreciendo, hasta alcanzar un valor de 2.8 accidentes por cada millón de vuelos para el año 2015, el cual es el registro más bajo junto con el del año 2013.

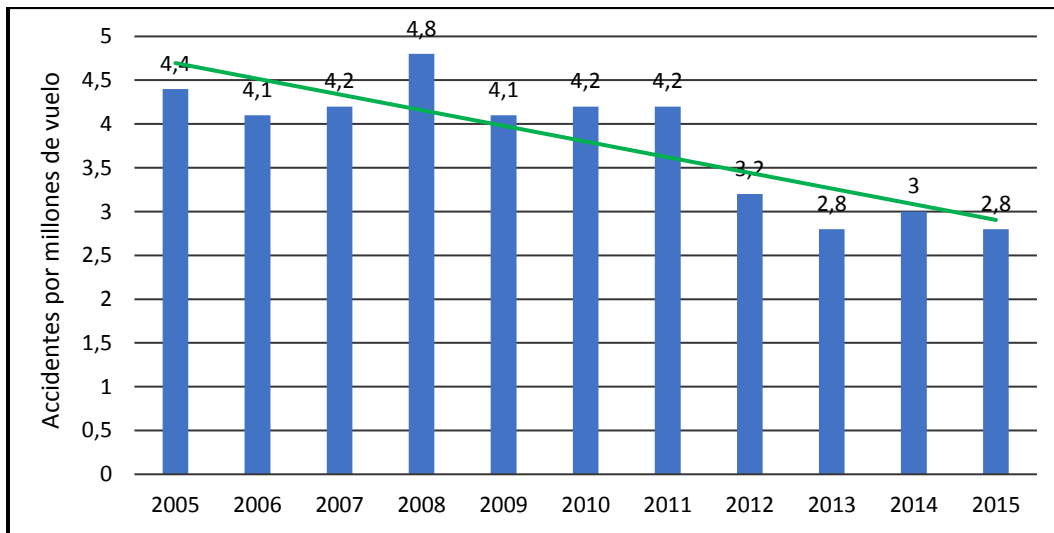


Figura 5: Índice general de accidentes por cada millón de vuelos en el mundo. Fuente OACI. [5]

Para analizar la situación de la seguridad operacional con mayor profundidad, IATA categoriza los datos de accidentes para el transporte aéreo comercial regular según diferentes regiones las cuales se dividen en África (AFI), Asia del Pacífico (ASPAC), Comunidad de Estados Independientes (CIS), Europa (EUR), América Latina y Caribe (LATAM/CAR), Medio Oriente y Norte de África (MENA), América del Norte (NAM) y Asia del Norte (NASIA).



Figura 6: División de regiones en el mundo. Fuente IATA [6].

A continuación, en la Figura 7 se presenta el índice de accidente de acuerdo con la caracterización recientemente definida, en la cual se puede notar que las regiones de MENA, CIS, y LATAM/CAR tienen el índice más elevado de accidentes para el año 2016, con un valor de 5.80, 3.85 y 2.80. Mientras que por otro lado América las regiones de NAM y NASIA tienen el menor índice de accidentes para ese mismo año siendo 0.94 y 0.19 respectivamente.

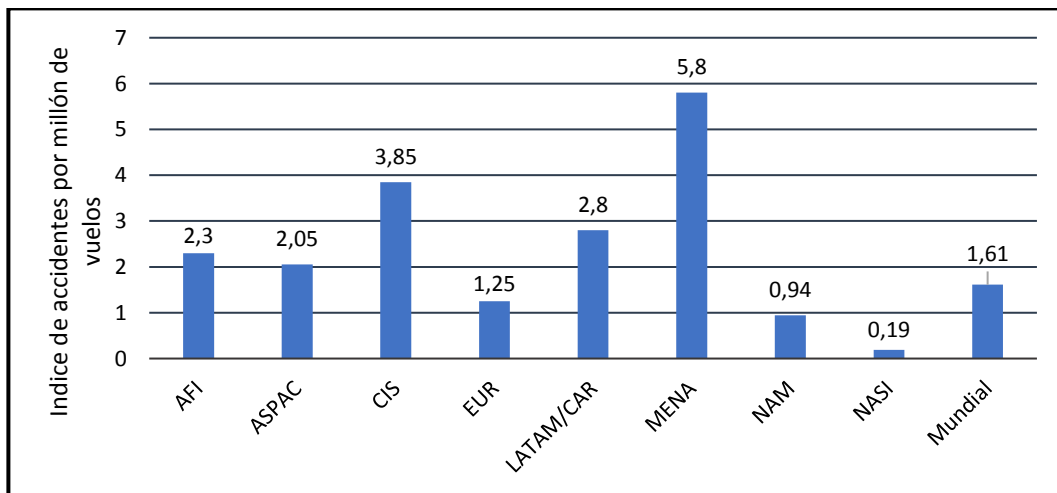


Figura 7: Índice de accidentes, categorizado por regiones para el año 2016. Fuente IATA [6].

Para comprender la situación y el marco actual en el que se encuentra cada región, a continuación, en la Figura 8 se muestran para cada una de ellas las tendencias del índice de accidentes, el índice de fatalidades, el riesgo de fatalidades y las pérdidas completas de aeronaves para los últimos 10 años.

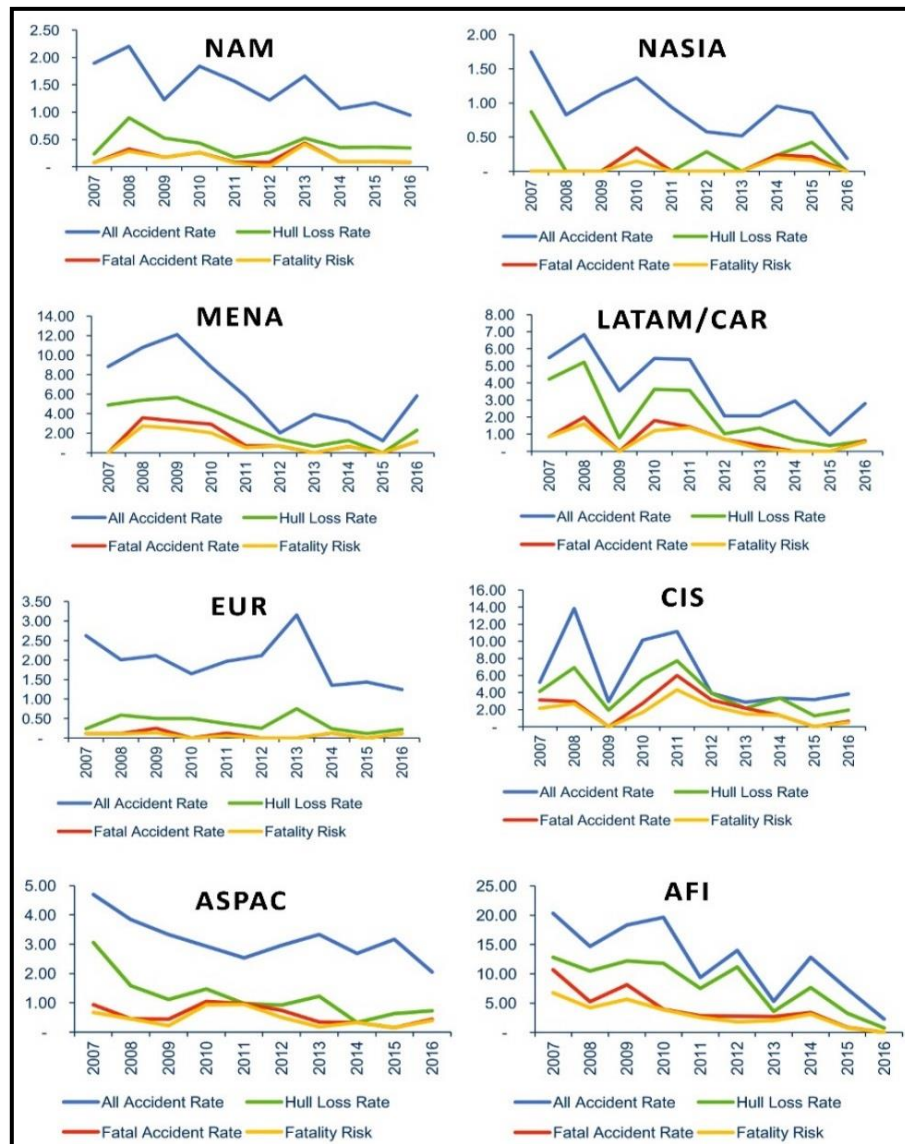


Figura 8: Índice de accidentes para regiones IATA. Fuente IATA [6].

Respecto al índice de accidentes, de las imágenes anteriores se puede concluir que las tendencias del mismo para la región AFI ha mostrado una gran mejora en los últimos 10 años ya que ha reducido su índice general de accidentes un 89% comparado con el del 2007.

De similar manera el índice general de accidentes también se ha reducido un 35% en 2016 para la región ASPAC comparado con el año anterior, pero de todas formas fue contrarrestado por el incremento notable de accidentes fatales y accidentes con pérdida total de la aeronave. Por otra parte, la región CIS luego de un periodo de alta volatilidad dicho índice entre el 2007 y 2012, el mismo se ha estabilizado aproximadamente en 3.4 accidentes por millones de vuelos desde el 2012. Para la región EUR, el índice se encuentra relativamente estable en un valor de 1.35.

Respecto a la LATAM/CAR, lamentablemente ha tenido un incremento significativo en el índice para el último año llegando a los 2.8, y también ha experimentado dos accidentes fatales luego de dos años consecutivos sin accidentes de este tipo. De manera similar, la región MENA ha tenido el mayor índice general de accidentes desde 2012 llegando a un valor de 5.8, a diferencia de la región NAM que el índice se mantiene en un constante descenso desde los últimos 10 años. Por último, la región de NASIA ha tenido el índice general de accidentes más bajo, llegando a los 0.19 accidentes por millón de vuelos y sin fatalidades para el año 2016.

Analizando estadísticas a nivel mundial respecto a fatalidades, se evidencian el esfuerzo y la energía puesta en juego por todas las autoridades, empresas, y operadores donde con un crecimiento constante de pasajeros año tras año, el índice de fatalidades en los accidentes sigue disminuyendo como lo muestra la Figura 9.

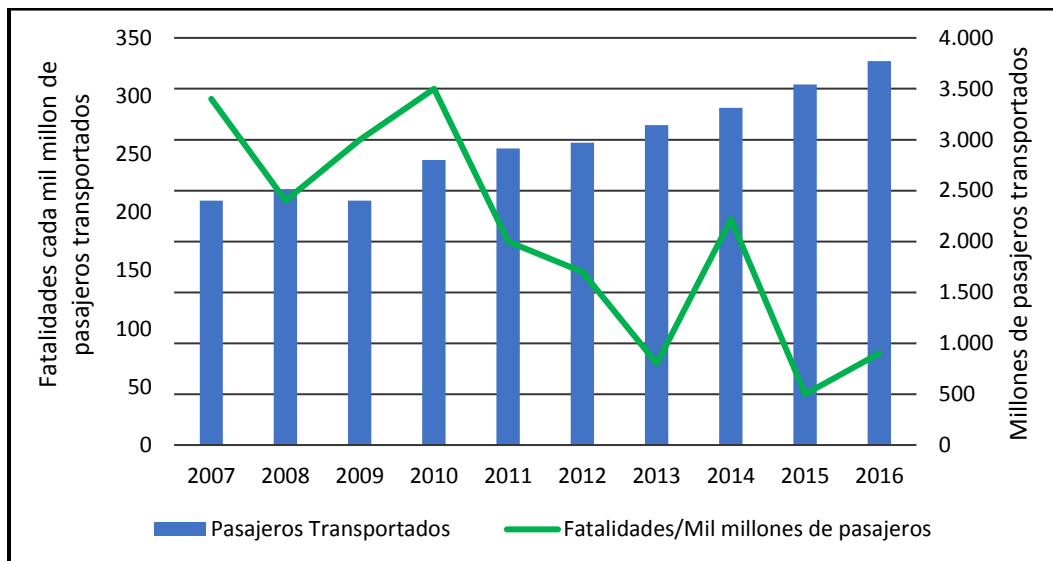


Figura 9: Movimiento de pasajeros anual vs fatalidades. Fuente IATA [6].

Analizando más en detalle los accidentes aéreos, se tiene que los mismos son categorizados en distintos tipos, de los cuales como se mencionó anteriormente en el presente estudio se analizan las excursiones de pista (RWY/TWY EXC). Como podemos ver en la Figura 10 y la Figura 11, estos accidentes no solo son los más frecuentes en el último año, sino que han aumentado la frecuencia en los últimos períodos analizados.

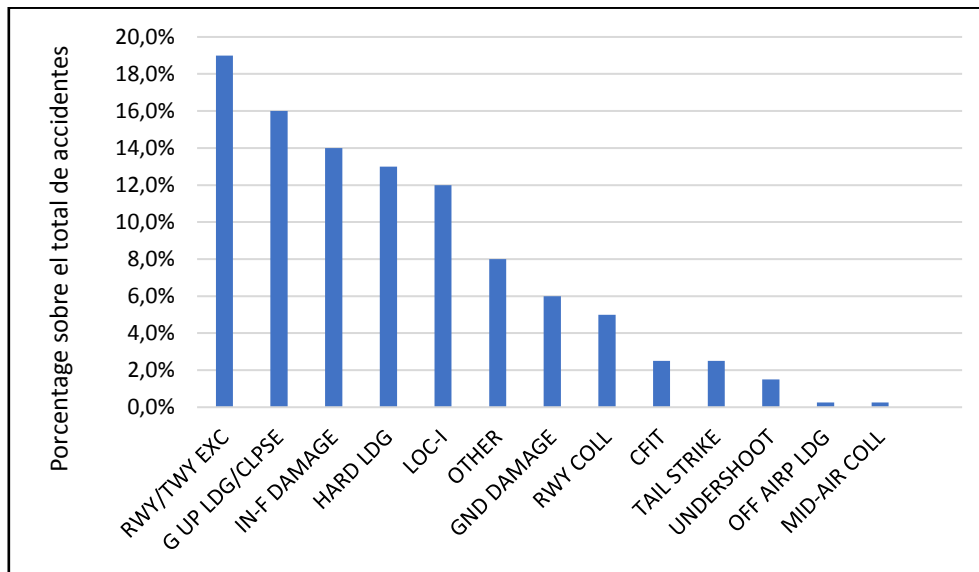


Figura 10: Accidentes por categoría para el año 2016. Fuente IATA [6].

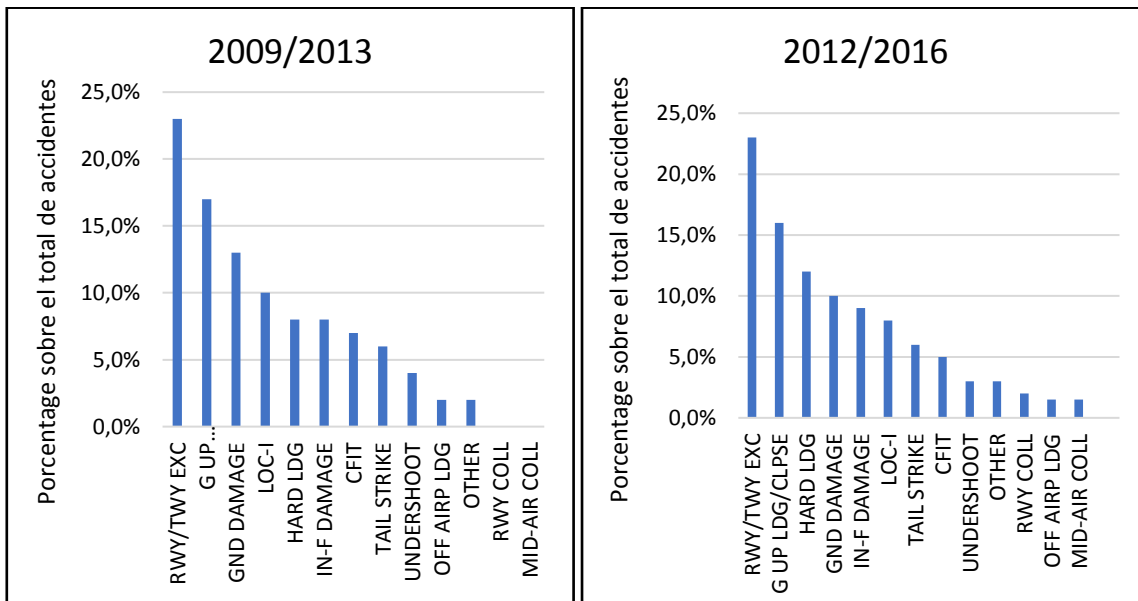


Figura 11: Accidentes por categoría para períodos 2009/2013 y 2012/2016. Fuente IATA [8] [9].

Otra forma de observar estos datos se presenta en gráfico a continuación, donde cada categoría de accidentes está representada por el porcentaje de ocurrencias respecto del total de accidentes y el índice de fatalidad, mientras que el tamaño de la burbuja aumenta a medida que aumenta el número absoluto de muertes para cada categoría. A partir de este tipo de visualización es que IATA ha identificado a las Excursiones en Pista (RWY EXC), la Pérdida de Control en Vuelo (LOC-I) y el Vuelo Controlado hacia Terreno (CFIT) como las tres categorías de alto riesgo, debido a la combinación entre la cantidad de fatalidades y la frecuencia de ocurrencia.

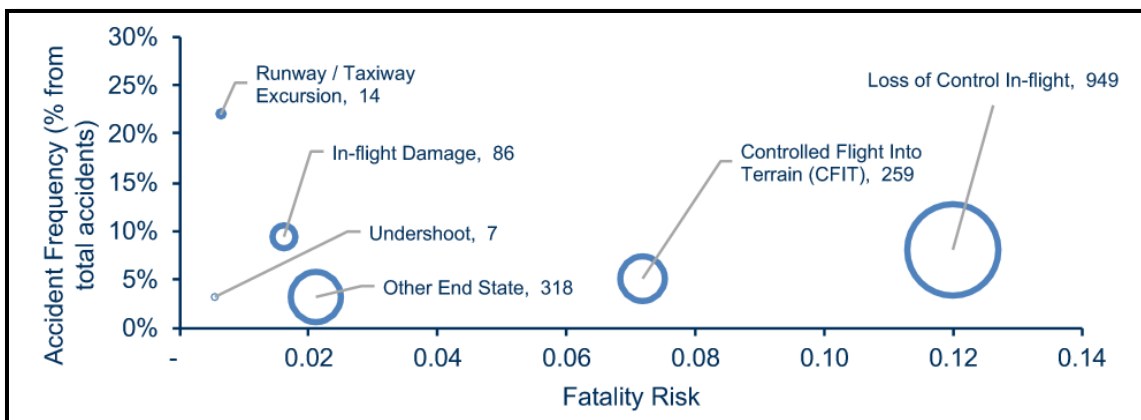


Figura 12: Índice de accidentes graves según frecuencia y fatalidad. Fuente IATA [6].

Los accidentes son una concepción involuntaria, producto de una cadena de factores y errores presentes en la naturaleza humana. No podemos evitar los accidentes, pero si podemos minimizar sus efectos a niveles que sean aceptables. Ese es parte del objetivo en este trabajo, evidenciar factores que pudieran afectar la seguridad operacional ante una excursión de pista, de manera que la severidad del mismo se la menor posible.

5.3. Excursiones de pista

Como se definió anteriormente una excursión de pista, es cualquier evento en el que una aeronave se desvía o rebasa la superficie de la pista ocurriendo durante la fase de despegue o la de aterrizaje. La excursión puede ser intencional o no, dado que, por ejemplo, una desviación podría ser deliberada para evitar una colisión. Los resultados pueden ser trágicos con consecuencias fatales o bien pérdidas materiales y económicas debido a los daños ocasionados en las aeronaves involucradas y a los costos asociados indirectamente al suceso.

Inclusive cuando no hay lesiones, o los daños ocasionados son leves, los efectos financieros que estos accidentes generan en el entorno aerocomercial son muy significativos debido a la pérdida de confianza de los pasajeros en los operadores aéreo, y a que los aeropuertos deben operar sus protocolos de emergencia cerrando u operando de manera reducida para otras aeronaves.

Se distingue entre dos diferentes tipos de excursiones de pista, *veer-off* y *overrun*, las cuales se categorizan según la posición final de la aeronave o, dicho de otra manera, en qué sector de la pista se produzca la excursión.

Como se puede ver en la Figura 13, los denominados *overruns* ocurren tanto en la etapa de despegue como en la de aterrizaje, y hacen referencia a situaciones donde la aeronave por alguna razón termina sobrepasando el extremo de pista, como puede ser un despegue abortado de manera tardía, pista contaminada que impide frenar en el aterrizaje, entre otros.

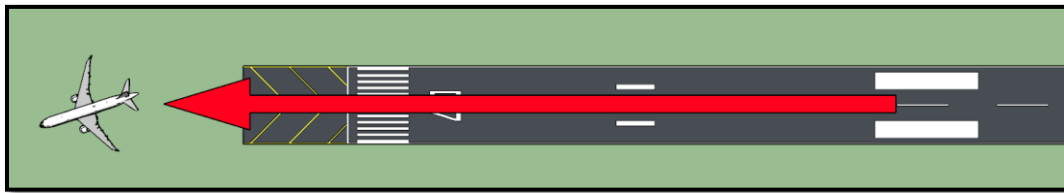


Figura 13: Esquema de Overrun para despegue o aterrizaje. Fuente: elaboración propia.

Por otro lado, en la Figura 14, se puede observar un esquema de los denominados *veer-off*, que al igual que los anteriores, pueden ocurrir en despegues y en aterrizajes, pero se caracterizan por no poder controlar la aeronave sobre el eje central de la pista, provocando que la aeronave salga por alguno de los laterales de la misma.

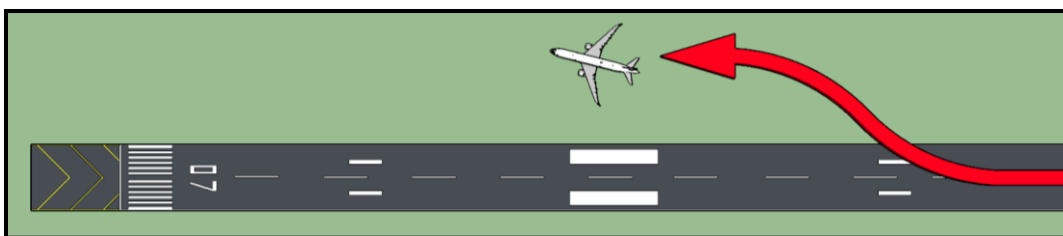


Figura 14: Esquema de Veer-off para despegue o aterrizaje. Fuente: elaboración propia.

En la Figura 15, se indica el porcentaje de accidentes en la última década, donde se puede observar que las excursiones de pista promedian un valor de más del 20%, haciendo que las mismas sean la categoría más habitual de accidentes.

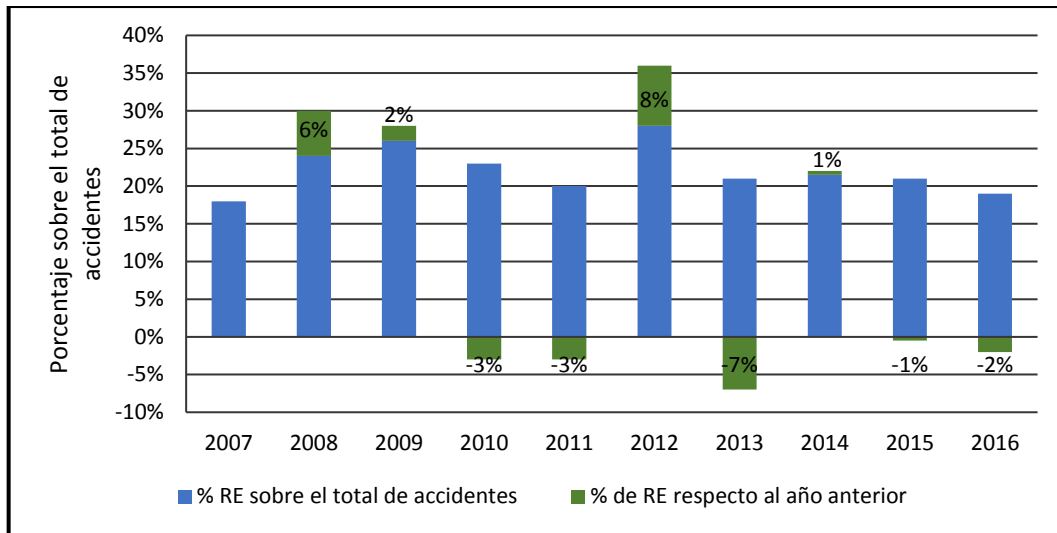


Figura 15: Contribución de las excursiones de pista en el total de accidentes. Fuente IATA [6]

De acuerdo con los reportes de IATA, para períodos 2009-2013 y 2012-2016, un 82% de las excursiones de pista se presentan durante la fase de vuelo del aterrizaje, y los principales factores contribuyentes son pistas con poca adherencia, inadecuados procedimientos de aproximación, mala meteorología, entre otros. A continuación, en la Figura 16 pueden verse las excursiones de pista clasificadas según las diferentes fases de vuelo involucradas en excursiones de pista.

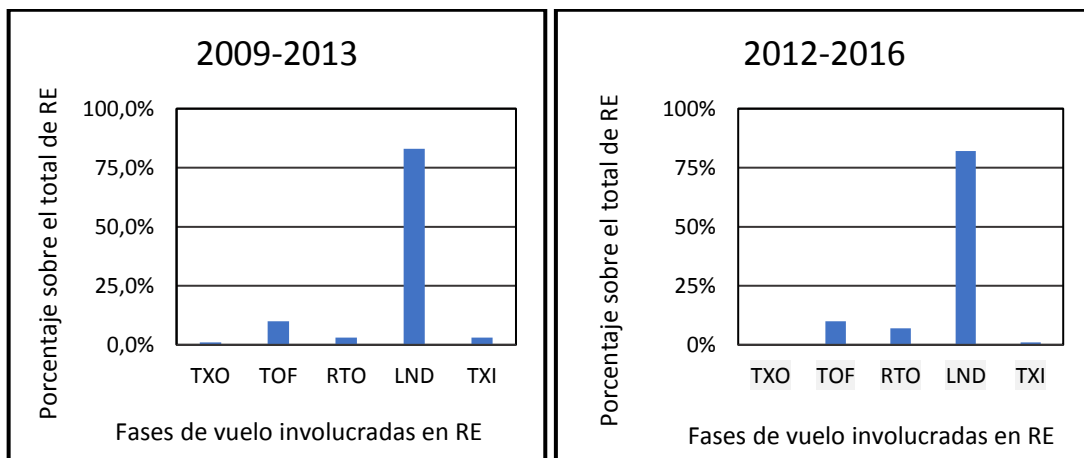


Figura 16: Excursiones de pista según fases de vuelo. Fuente IATA [6].

Para el período 2004-2009 ocurrieron un total de 594 accidentes de vuelos comerciales, de los cuales 164 fueron categorizados como Excursiones de Pista (27%). De manera similar, para el período de 2009-2013 se tuvieron 98 (22.7%) RE sobre un total de 432 accidentes y para el período 2012-2016 de 375 accidentes 82 (21.8%) fueron categorizadas como RE [7]. Por lo tanto, estas estadísticas evidencian que, a nivel mundial, los esfuerzos por minimizar estos accidentes vienen proporcionando resultados favorables, pero con una tendencia mínima, por lo que se debe atacar aun con más fuerza esta problemática.

Tabla 1: Contribución de RE sobre el total de accidentes. Fuente IATA [7] [8] [9].

Observación	2004-2009	2009-2013	2012-2016
Total de Accidentes	594	432	375
Cantidad de RE	164	98	82
% RE	27%	23%	22%

De manera general se puede decir que las excursiones de pista se deben a la combinación de diversos factores relevantes los cuales actuar como agravantes o atenuantes de la situación y se pueden describir como:

- Desperfectos técnicos: Principalmente en componentes como frenos, trenes de aterrizaje, dirección de la rueda de nariz, plantas de poder, flaps, frenos aerodinámicos, etc.
- Clima extremo: Pista mojada o resbaladiza, vientos fuertes o con ráfagas, wind-shear, turbulencias, etc.
- Error de la tripulación: Aproximaciones inestables, decisiones tardías de aterrizar cuando es necesario un go-around, etc.
- Error de controlabilidad: Mal posicionamiento para la aproximación y alineamiento con la pista, alta velocidad, distancia a la aeronave previa, etc.
- Inadecuada información meteorológica: Reportes correspondientes a otra fecha, falla de instrumentos meteorológicos.
- Pista contaminada: Húmeda, inundada, con poca adherencia.

La presencia de nieve o agua sobre la pista puede tener un gran impacto en la performance de la aeronave. La lluvia intensa puede provocar el efecto conocido como hidroplaneo, el cual hace que una capa de agua se interponga directamente entre los neumáticos y la cinta asfáltica, provocando una fricción casi nula y generando a su vez tanto pérdidas de potencia debido al spray que se ingesta por los motores, como la afectación en el funcionamiento de puertas de tren de aterrizaje, flaps y slats.

Dichos factores hacen que las distancias necesarias para controlar la aeronave sean mayores dependiendo las condiciones climáticas y de la superficie de la pista.

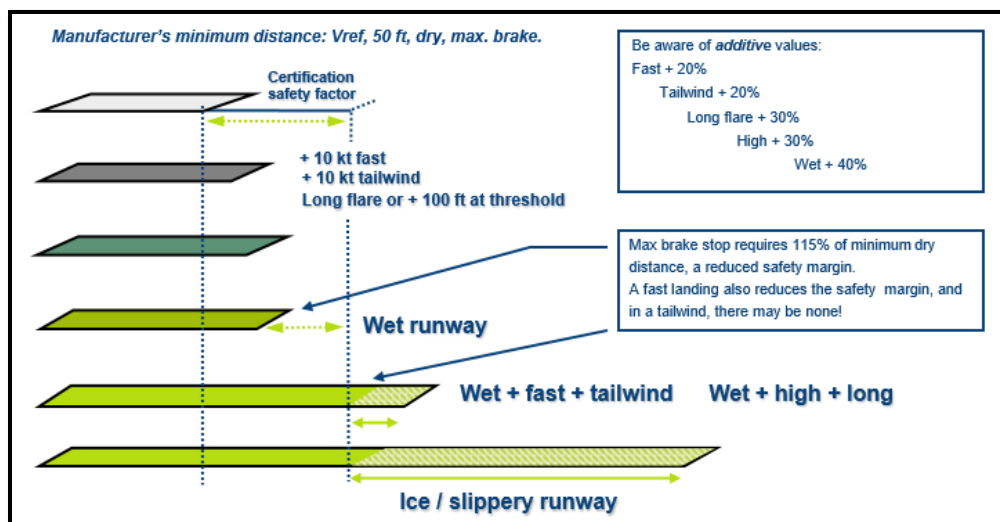


Figura 17: Distancias relativas de frenado según la condición de la pista.

Los errores de tripulación se encuentran muchas veces relacionados con una mala comunicación hacia la tripulación, cuando la condición actual de la pista no es reportada, o es reportada de manera incorrecta. Por lo tanto, es de suma importancia que toda la tripulación cuente con la información correcta necesaria, para poder determinar cuál es la mejor opción y la decisión correcta, ya que, al fin de cuentas serán ellos quienes tienen la última palabra respecto si es mejor aterrizar o ejecutar un go-around. Es por ello que, se debe intentar crear un ambiente que ayude al piloto a tomar la decisión correcta, seguir trabajando sobre los procedimientos de manera que permitan denegar permisos de aterrizajes, ordenar go-around, conocer la frecuencia necesaria con la que se debe informar la meteorología local, etc.

Como se mencionó en la sección 5.2, de acuerdo con los reportes de IATA [6], los accidentes categorizados como *Pérdida de Control en Vuelo* (LOC-I) y los categorizados como *Vuelo Controlado Hacia el Terreno* (CFIT) lideran las estadísticas de fatalidades, mientras que las Excursiones de Pista (RE) lideran las estadísticas respecto a la destrucción completa de aeronave, además de tener el mayor porcentaje de ocurrencia, superior al 20% para los últimos 10 años. Por lo tanto, es razonable que organizaciones como OACI y IATA, consideren a las RE entre los tres accidentes más graves donde focalizar la atención para medidas mitigatorias y de neutralización.

En un aeropuerto, existen diferentes áreas de seguridad, destinadas a reducir el riesgo de daños a las aeronaves que se salgan de la pista, por lo que en este tipo de accidente son de suma importancia. Una de ellas es la RESA (área de seguridad de extremo de pista) y la otra es la franja de pista. A continuación, se muestra una imagen en perspectiva para visualizar las áreas recientemente descritas para una pista clave de referencia 3 o 4.

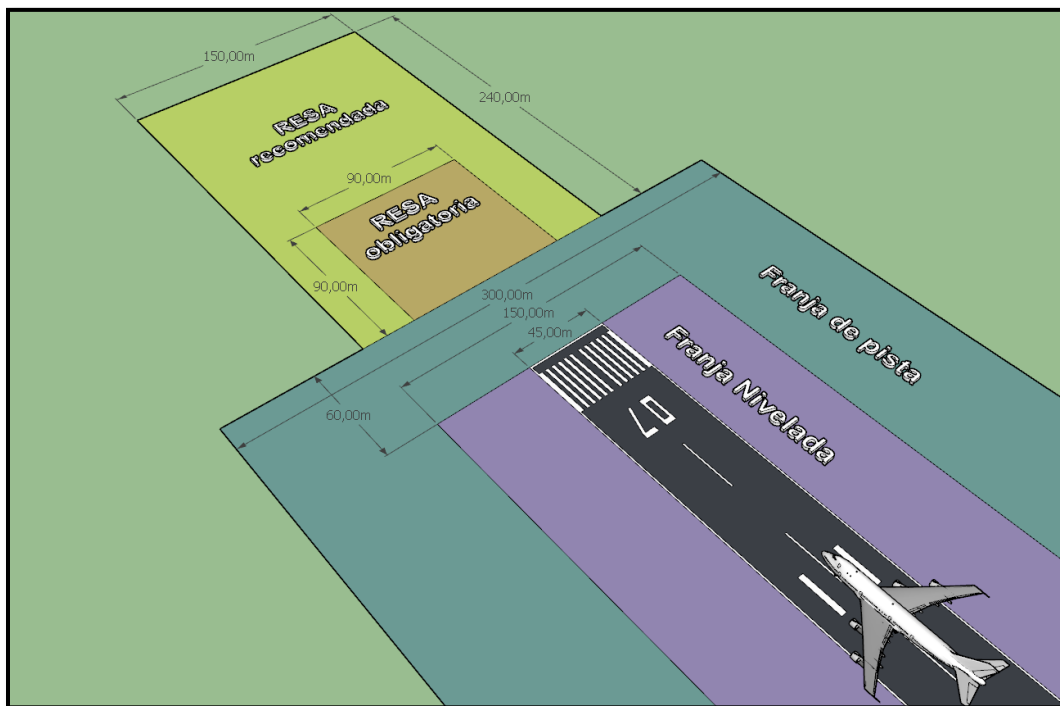


Figura 18: Dimensiones de Franja de pista y RESA para pistas clave 3 y 4. Fuente: OACI [10].

Actualmente los Estándares y Prácticas Recomendables (SARPs) publicados por OACI en el Anexo 14, Volumen 1 de Aeródromos, [10] establecen que para reducir el riesgo y el

daño de las aeronaves involucradas en undershoot como en excursiones de pista de overrun es necesaria un aérea de seguridad de extremo de pista en cada extremo de una franja.

A continuación, se presenta una tabla que muestra las dimensiones que son obligatorias y recomendadas para la RESA y la Franja de pista según la clave de referencia del aeródromo y según el tipo de categoría de aproximación que disponga el mismo.

Tabla 2: Dimensiones obligatorias y recomendadas para RESA. Fuente OACI [10].

AREA	CLAVE REF.	APROX.	OBLIGATORIO		RECOMENDACIÓN	
			LARGO DESDE FRANJA	ANCHO TOTAL	LARGO	ANCHO
RESA	1	I.P.	90 m	Doble pista	120 m	Igual franja nivelada
		I.N.P.	90 m	Doble pista	120 m	Igual franja nivelada
		VIS.	-	-	30 m	Igual franja nivelada
	2	I.P.	90 m	Doble pista	120 m	Igual franja nivelada
		I.N.P.	90 m	Doble pista	120 m	Igual franja nivelada
		VIS.	-	-	30 m	Igual franja nivelada
	3	I.P.	90 m	Doble pista	240 m	Igual franja nivelada
		I.N.P.	90 m	Doble pista	240 m	Igual franja nivelada
		VIS.	90 m	Doble pista	240 m	Igual franja nivelada
	4	I.P.	90 m	Doble pista	240 m	Igual franja nivelada
		I.N.P.	90 m	Doble pista	240 m	Igual franja nivelada
		VIS.	90 m	Doble pista	240 m	Igual franja nivelada

Tabla 3: Dimensiones obligatorias y recomendadas para FRANJAS. Fuente OACI [10].

AREA	CLAVE REF.	APROX.	OBLIGATORIO			RECOMENDACIÓN	
			LARGO desde UMB/EXT/ SWY	ANCHO desde eje	NIVELACION desde eje	ANCHO desde eje	NIVELACION desde eje
FRANJA	1	I.P.	60 m	75m	40 m	-	-
		I.N.P.	60 m	-	40 m	75 m	-
		VIS.	30 m	-	-	30 m	30 m
	2	I.P.	60 m	75 m	40 m	-	-
		I.N.P.	60 m	-	40 m	75 m	-
		VIS.	60 m	-	-	40 m	40 m
	3	I.P.	60 m	150m	75 m	-	-
		I.N.P.	60 m	-	75 m	150 m	-
		VIS.	60 m	-	-	75 m	75 m
	4	I.P.	60 m	150m	75 m	-	-
		I.N.P.	60 m	-	75 m	150 m	-
		VIS.	60 m	-	-	75 m	75 m

Según los reportes de IATA ya citados anteriormente, los overruns son más frecuentes que los veer-off, por lo que se debe prestar especial atención en las aéreas de RESA ubicadas sobre las prolongaciones de la pista. Se tiene un promedio de 3.6 overruns por mes en el mundo, y las estadísticas muestran que el 90% de este tipo de excursiones de pista ocurren abandonando la pista a una velocidad de 70 nudos en promedio, lo que hace que la mayoría de las aeronaves se sitúen dentro de los primeros 300m luego del extremo de pista.

Las autoridades también sostienen que en caso de ser inviable tener estas dimensiones recomendadas, es necesario la instalación de algún sistema de contención para proteger la aeronave y sus pasajeros, como lo son los *Sistemas de Contención de Materiales de Ingeniería* (EMAS), los cuales son capaz de contener aeronaves que salgan de pista hasta con una velocidad de hasta 70 nudos (130Km/h). Estos sistemas son sistemas pasivos que detienen la aeronave en escenarios desfavorables, disminuyendo la velocidad de la aeronave al dejar la zona incluso con mal clima y mal funcionamiento de frenos o reversores.

El principio de estos sistemas de contención se basa en absorber y disipar la energía cinética de la aeronave cuando esta transita sobre la superficie. A continuación, se muestran dos imágenes que muestran dicho sistema.



Figura 19 y 20: Sistema de contención de aeronaves (EMAS).

A modo de ejemplo como caso particular respecto a estos sistemas de contención, se puede ver el caso del Aeropuerto de Yeager (CRW/KCRW). Este aeropuerto se encuentra situado en la ciudad de Charleston, Virginia, Estados Unidos, y tiene como particularidad

que en él, se llevó a cabo durante el año 2005, una de las mayores obras de movimiento de suelos para construir un sistema de contención.[11]

La FAA requería que la pista fuese extendida 500pies (150m) para incluir un área de seguridad en el extremo de pista, pero resultaba prácticamente imposible dado a que la pista terminaba en un acantilado en ambas cabeceras. Después de meses de ingeniería y luego de mover una suma aproximada de 6.8 mil millones de metros cúbicos de rocas y tierra, se consiguió cumplir con los requerimientos construyendo en su cabecera un sistema de contención de aeronaves EMAS. Las siguientes fotografías muestran las dimensiones de la obra que se llevó a cabo en dicho aeropuerto.



Figura 21: Construcción EMAS en el aeropuerto de Charleston. Fuente: Tencate [11]

Cinco años después, en enero del año 2010, una aeronave CRJ 200 de US Airways se encontró envuelta en una situación de emergencia tras abortar de manera tardía un despegue, haciendo que la aeronave se vea impedida de frenar antes de la finalización de pista. La aeronave fue detenida por el sistema de contención instalado años anteriores, logrando que toda la tripulación y los 34 pasajeros a bordo pudieran bajar de la aeronave sin lesiones de gravedad. A continuación se muestran algunas imágenes de este suceso.[12]



Figuras 22 23 y 24: Accidente CRJ200, contenido por el sistema EMAS, en el aeropuerto KCRW.

Es por todo lo mencionado anteriormente que los aeropuertos deben comprometerse a minimizar los riesgos y promover medidas que garanticen la seguridad operacional, lo que incluye:

- Construir y mantener las pistas en condiciones óptimas de manera que drenen de forma efectiva para garantizar la fricción necesaria.
- Mantener las marcas de pista visibles y en buenas condiciones.
- Informar las condiciones de la pista en tiempo y forma.
- Tener un plan de control de nieve adecuado.
- Cerrar las pistas cuando las condiciones lo ameriten.
- Tener un área de seguridad de final de pista adecuada.
- Una adecuada evaluación de obstáculos.
- Tener tecnología de pistas necesaria para minimizar las consecuencias de un accidente.

5.4. Aeropuertos de referencia

A continuación, se brindan algunos casos de aeropuertos en el mundo, que presentan algún problema ya sea con las normativas vigentes o con los métodos recomendados. Recordemos que tarde o temprano la tendencia de los métodos recomendados es volverse obligatorias.

El primero de ellos que podemos citar es en el Reino Unido, en el Aeropuerto de la Ciudad de Londres (EGLC). Este aeropuerto tiene la particularidad de que su franja de pista se extiende solo hasta los 75m de los 150m que debiera, dado a que está construido sobre el agua. Y por otro lado también su propia plataforma compite con la franja dado que se transforma en un objeto que invade la misma. Es decir, que todas las aeronaves en sus puestos de estacionamientos y todos los vehículos terrestres que circulan cercanas a las mismas invaden lo que sería la zona libre de obstáculos. A continuación, las imágenes ilustran lo mencionado.



Figura 25: Aeropuerto EGLC con plataforma dentro de la franja de pista. Fuente: Google Earth.

Otro de los aeropuertos que de interés a modo de ejemplo es el Aeropuerto Internacional Cabo San Lucas (MMSL) en México. Este aeropuerto no presenta irregularidades con objetos ni edificaciones que invaden las zonas asociadas, pero si presenta una gran irregularidad en el terreno sobre una de sus cabeceras. Como se puede apreciar en la Figura 26, el desnivel en el área que correspondería a la RESA obligatoria para la cabecera 11 representa un peligro latente ante una condición de Overrun.



Figura 26: Aeropuerto Cabo San Lucas, franjas de pista y RESA obligatoria. Fuente Google Earth.

Otro caso es el Aeropuerto Internacional de Congonhas (SBSP) en San Pablo, Brasil. Este aeropuerto es uno de los aeropuertos analizados posteriormente en el informe, por lo que no entraremos en detalles, pero las Figura 27 y Figura 28 se evidencia rápidamente el incumplimiento con la necesidad de una franja nivelada, RESA inexistente y viviendas en las proximidades de los extremos de pista.



Figura 27 y Figura 28: Fotografías del Aeropuerto de Congonhas. Fuente Google Earth.

Otro aeropuerto que ejemplifica esta problemática casualmente también se encuentra en la región latinoamericana, más particularmente en Argentina, es el Aeropuerto Jorge Newbery. Este aeropuerto, al igual que el caso anterior, es uno de los aeropuertos seleccionados para el análisis de este trabajo por lo que no entraremos en detalles dado que se explica más adelante. Simplemente se hace mención del mismo a modo de ejemplo dado al incumplimiento de algunos objetos ubicados en el área de franja de pista, como árboles, autopista, etc.



Figura 29 y Figura 30: Fotografías del Aeropuerto Jorge Newbery. Fuente Google Earth.

Se podrían seguir citando muchos ejemplos como los anteriores, que presenten irregularidades en sus áreas de seguridad, pero no es la idea, simplemente se mencionan para poner en contexto al lector.

5.5. Estudios de seguridad operacional (ESO)

Luego de analizar los capítulos introductorios anteriores, y de citar algunos casos particulares, se puede comprender que claramente los aeropuertos del mundo entero tienen ciertas desviaciones o no cumplimientos de las normas vigentes las cuales deben ser estudiadas. En otras palabras, que un aeropuerto tenga inconvenientes a la hora de certificar sus instalaciones, no quiere decir que no pueda operar, para estos casos es que existen los llamados Estudios de Seguridad Operacional, más conocidos también de manera más abierta como como Estudios Aeronáuticos. El objetivo de los mismos, es el de demostrar mediante trabajos técnicos, por parte del gestor aeroportuario, que es posible alcanzar un nivel de seguridad no menor al que se alcanzaría a través de un cumplimiento estricto de la especificación mediante la utilización de medios diferentes al del cumplimiento literal de dicha especificación.

Los estudios seguridad operacional no solo se planifican para cuando el aeródromo tiene desviaciones de las normativas vigentes como podrían ser limitaciones físicas, topográficas o similares relacionadas con el emplazamiento del mismo; sino que también pueden planificarse en función de que el aeródromo posee características de diseño novedosas o inusuales; o bien que la experiencia en la operación de dicho aeródromo u otros aeródromos de características similares de diseño ha demostrado que pueden darse situaciones de inseguridad.

Por lo tanto, un ESO busca determinar posibles soluciones, evaluar la efectividad de cada alternativa y establecer procedimientos para demostrar que posee un nivel de seguridad equivalente mediante una solución diferente a la especificada.

Las principales no conformidades en los aeródromos disparadores de estudios de seguridad operacional suelen estar asociadas a la RESA, Franja de pista, Anchos de pistas y calles de rodaje, Separaciones entre pistas y calles de rodaje, Obstáculos (árboles, edificios, etc.).

Por lo tanto, un estudio de tal característica debe ser capaz de:

- Analizar los riesgos existentes, con una descripción de la condición de no conformidad con los lineamientos técnicos de las normas especificadas.

- Identificar los eventos indeseados, estimando la probabilidad de que ocurra un incidente o accidente atribuible a situaciones y desviaciones similares a la analizada y describir la magnitud de las consecuencias de que ocurra el incidente o accidente.
- Proponer medidas de mitigación, para que sean aplicadas con el fin de eliminar la no conformidad o reducir al máximo los riesgos detectados, de manera que lleguen a un nivel de seguridad aceptable.
- Presentar los resultados y las conclusiones derivadas de la aplicación de las medidas de mitigación, adjuntando la documentación necesaria que respalde dichos resultados.

Es importante destacar que los accidentes ocurridos en las cercanías de aeropuertos, implicando pérdidas de vidas humanas, tienen consecuencias significativas de carácter financiero, legal y operacional para el aeródromo. Cuando el accidente supone una desviación respecto a las Normas y Prácticas Recomendadas (SARPs) de la OACI, la lógica asociada con tal desviación se vuelve un asunto grave. Por esta razón, la más mínima probabilidad asociada con tales sucesos debe considerarse frente a las más graves consecuencias.

La recomendación final de un estudio de seguridad operacional está basada en las consideraciones anteriormente apuntadas, considerando exclusivamente cuestiones técnicas que aporten a la seguridad operacional y desestimando todo tipo de consideraciones políticas y económicas.

Por lo tanto, se puede decir que un ESO tiene como ventaja ser capaz de identificar los riesgos, las alternativas para reducir el mismo, y brinda una defensa legal ante un accidente. Pero por otro lado puede dar lugar a restricciones operativas con un posible impacto a la capacidad del aeropuerto.

5.5.1 Construcción matriz de riesgo.

Cuando se detecten desviaciones de las normativas, y se identifiquen peligros, se debe cuantificar los riesgos asociados a cada uno de ellos. Para poder definir el riesgo asociado a un peligro, es necesario calcular la probabilidad y la potencial severidad del mismo. La severidad hace referencia a cuan grave podría llegar a ser la situación, ante un eventual accidente en el que la aeronave intersekte el peligro. Mientras que por otro lado, la probabilidad hace referencia a que posibilidad existe no solo de que ocurra un accidente sino de que, en ese eventual accidente, la aeronave termine viéndose afectada por el peligro identificado.

Todos y cada uno de los peligros deben tener asociado algún riesgo, el cual no es uniforme y varía con cada operación. Dicho nivel de riesgo determina la tolerabilidad del peligro, la cual varía según las autoridades de cada país en base a consideraciones propias, como así también del escenario de peligro y del tipo de actividad. Para poder definir correctamente dicha tolerabilidad de cada uno de los riesgos, lo que se hace es situar los mismos dentro de lo que se conoce como Matriz de Riesgo, la cual en cierta manera, es el producto final de un estudio aeronáutico.

Esta matriz está conformada por la probabilidad del suceso en uno de sus ejes, y la severidad en el otro eje. Permitiendo evidenciar donde se sitúa cada uno de los peligros, identificando el riesgo asociado a ellos, con el objetivo tomar acciones inmediatas o bien desestimar el peligro identificado dependiendo de cuál sea el nivel del mismo. Los niveles de riesgo y tolerabilidad que se utilizan son los siguientes:

- **Riesgo Bajo/ Aceptable:** el nivel de riesgo asociado al peligro puede ser aceptado por el aeropuerto sin recurrir a ninguna acción para mitigarlo. Los riesgos que se clasifican así introducen un nivel de riesgo bajo en la operación y se considera que están adecuadamente controlados con las medidas que ya se toman en el aeropuerto. No obstante, siempre se recomienda tomar medidas para reducir el riesgo a un nivel tan bajo como prácticamente sea posible.

- **Riesgo Medio/Tolerable:** Se define como tolerable el caso en el que el riesgo asociado al peligro es aceptable, pero se encuentra en una zona que requiere una especial atención. Cuando un riesgo cae en esta clasificación se deben tomar las medidas de

mitigación que se consideren factibles para reducir el riesgo hasta un nivel tan bajo como prácticamente sea posible, con revisiones periódicas cuyo objetivo sea pasar el riesgo a la categoría de aceptable, y se mantendrá un control permanente para garantizar que el nivel de riesgo no aumenta hasta inaceptable.

- **Riesgo Alto/Inaceptable:** el nivel de riesgo es demasiado elevado, compromete seriamente la seguridad operacional como para que el aeropuerto lo pueda aceptar. Un riesgo clasificado en esta categoría debe ser mitigado hasta un nivel tan bajo como prácticamente sea posible.

A los efectos de los estudios de seguridad en el ámbito del SMS, se considera que se alcanza un nivel de seguridad operacional suficiente cuando el análisis conduce a riesgos, que la matriz contempla como *riesgo bajo o riesgo medio*. Pero, cabe aclarar en esta instancia, que dicha matriz de riesgo tiene grandes diferencias si se las compara entre diferentes fuentes; o mejor dicho, la matriz difiere mucho entre diferentes organismos o autoridades aeronáuticas de cada país.

Por ejemplo, a continuación, se muestran tres diferentes matrices de riesgo proveniente de organismos de referencia como lo son OACI, AESA, FAA y LAR. Se puede ver que para las mismas, ciertos niveles cambian y pasan de ser aceptable a no aceptables para casos catastróficos improbables o extremadamente improbables.

MATRIZ DE RIESGO OACI		SEVERIDAD				
		CATASTROFICO	PELIGROSO	MAYOR	MENOR	INSIGNIFICANTE
PROBABILIDAD	FRECUENTE	ALTO	ALTO	ALTO	MEDIO	MEDIO
	OCASIONAL	ALTO	ALTO	MEDIO	MEDIO	BAJO
	REMOTO	ALTO	MEDIO	MEDIO	BAJO	BAJO
	IMPROBABLE	MEDIO	MEDIO	BAJO	BAJO	BAJO
	EXTREMADAMENTE IMPROBABLE	MEDIO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO

Figura 31: Matriz de riesgo según OACI. Fuente: OACI [13]

MATRIZ DE RIESGO FAA - ESTADOS UNIDOS		SEVERIDAD				
		CATASTROFICO	PELIGROSO	MAYOR	MENOR	INSIGNIFICANTE
PROBABILIDAD	FRECUENTE	ALTO	ALTO	ALTO	MEDIO	BAJO
	OCASIONAL	ALTO	ALTO	ALTO	MEDIO	BAJO
	REMOTO	ALTO	ALTO	MEDIO	BAJO	BAJO
	IMPROBABLE	ALTO	MEDIO	BAJO	BAJO	BAJO
	EXTREMADAMENTE IMPROBABLE	MEDIO/ALTO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO

Figura 32: Matriz de riesgo según FAA. Fuente FAA[14]

MATRIZ DE RIESGO AESA - ESPAÑA		SEVERIDAD				
		CATASTROFICO	PELIGROSO	MAYOR	MENOR	INSIGNIFICANTE
PROBABILIDAD	FRECUENTE	ALTO	ALTO	ALTO	MEDIO	BAJO
	OCASIONAL	ALTO	ALTO	ALTO	MEDIO	BAJO
	REMOTO	ALTO	ALTO	MEDIO	BAJO	BAJO
	IMPROBABLE	ALTO	MEDIO	BAJO	BAJO	BAJO
	EXTREMADAMENTE IMPROBABLE	MEDIO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO

Figura 33: Matriz de riesgo según AESA. Fuente: AESA [15]

MATRIZ DE RIESGO LAR		SEVERIDAD				
		CATASTROFICO	PELIGROSO	MAYOR	MENOR	INSIGNIFICANTE
PROBABILIDAD	FRECUENTE	ALTO	ALTO	ALTO	MEDIO	MEDIO
	OCASIONAL	ALTO	ALTO	MEDIO	MEDIO	MEDIO
	REMOTO	ALTO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	BAJO
	IMPROBABLE	MEDIO	MEDIO	MEDIO	BAJO	BAJO
	EXTREMADAMENTE IMPROBABLE	MEDIO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO

Figura 34: Matriz de Riesgo según LAR. Fuente: LAR [16]

De manera similar, poniendo la mirada en las autoridades aeronáuticas de la región bajo análisis, sucede lo mismo donde cada una define por su cuenta si el riesgo es tolerable o no. A continuación puede verse las matrices de riesgo de algunos países de la región a modo de ejemplo.

MATRIZ DE RIESGO ANAC - ARGENTINA		SEVERIDAD				
		CATASTROFICO	PELIGROSO	MAYOR	MENOR	INSIGNIFICANTE
PROBABILIDAD	FRECUENTE	ALTO	ALTO	ALTO	MEDIO	MEDIO
	OCASIONAL	ALTO	ALTO	MEDIO	MEDIO	MEDIO
	REMOTO	ALTO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	BAJO
	IMPROBABLE	MEDIO	MEDIO	MEDIO	BAJO	BAJO
	EXTREMADAMENTE IMPROBABLE	MEDIO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO

Figura 35: Matriz de riesgo según ANAC, Argentina. Fuente: ANAC [17]

MATRIZ DE RIESGO DINACIA - URUGUAY		SEVERIDAD				
		CATASTROFICO	PELIGROSO	MAYOR	MENOR	INSIGNIFICANTE
PROBABILIDAD	FRECUENTE	ALTO	ALTO	ALTO	MEDIO	MEDIO
	OCASIONAL	ALTO	ALTO	MEDIO	MEDIO	MEDIO
	REMOTO	ALTO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	BAJO
	IMPROBABLE	MEDIO	MEDIO	MEDIO	BAJO	BAJO
	EXTREMADAMENTE IMPROBABLE	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO

Figura 36: Matriz de Riesgo según DINACIA Uruguay. Fuente: DINACIA [18]

MATRIZ DE RIESGO DGAC - PERÚ		SEVERIDAD				
		CATASTROFICO	PELIGROSO	MAYOR	MENOR	INSIGNIFICANTE
PROBABILIDAD	FRECUENTE	EXTREMO	EXTREMO	ALTO	MEDIO	MEDIO
	OCASIONAL	EXTREMO	ALTO	MEDIO	MEDIO	BAJO
	REMOTO	ALTO	MEDIO	MEDIO	BAJO	BAJO
	IMPROBABLE	MEDIO	MEDIO	BAJO	BAJO	INSIGNIFICANTE
	EXTREMADAMENTE IMPROBABLE	MEDIO	BAJO	BAJO	INSIGNIFICANTE	INSIGNIFICANTE

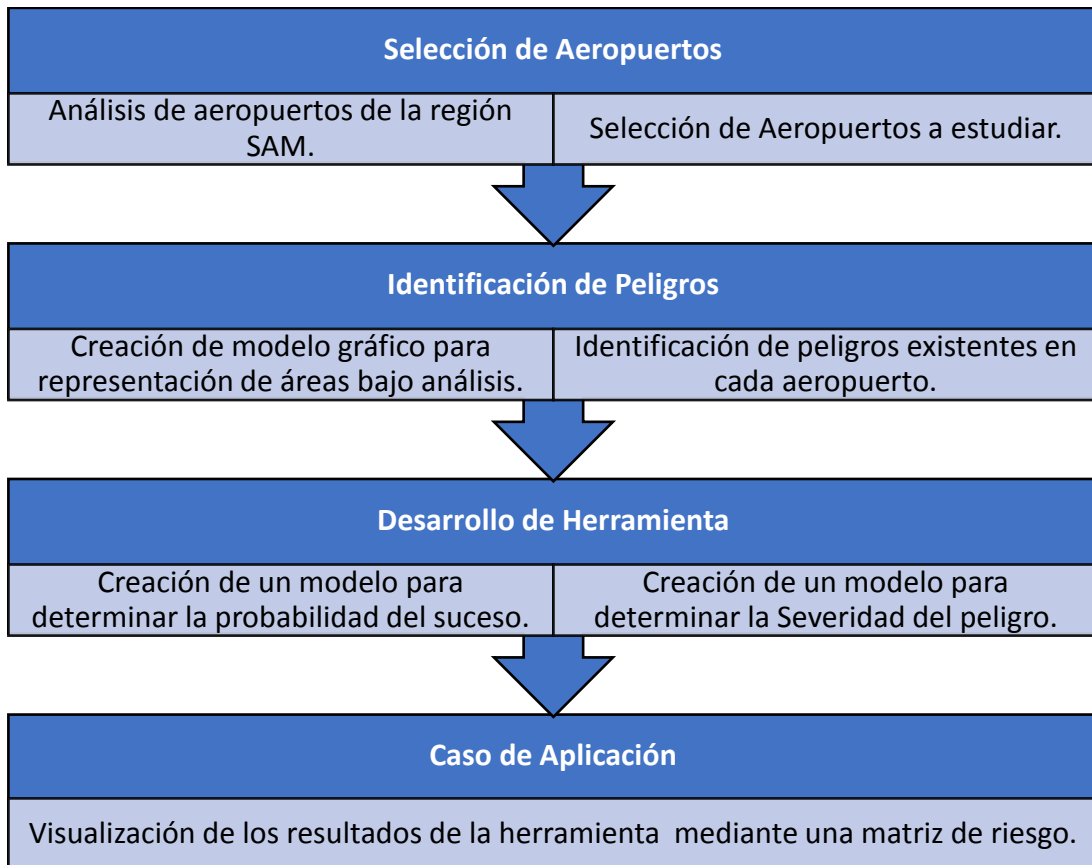
Figura 37: Matriz de Riesgo según DGAC Perú. Fuente: DGAC [19]

Por lo tanto, es evidente que se debe tener especial atención ante las autoridades de cada país dado que según sus diferentes matrices puede que un riesgo identificado sea aceptable, tolerable o inaceptable.

6. DESARROLLO

6.1. Metodología elaborada

La metodología que se aplicó para llevar a cabo este trabajo es la que se muestra en el siguiente diagrama de flujo.



6.2. Hipótesis y condiciones de contorno.

Para el desarrollo del presente trabajo se asumieron ciertas hipótesis las cuales se presentan a continuación.

- Se asume que la normativa vigente durante el desarrollo del trabajo es el Anexo 14, Volumen 1 de Aeródromos emitido por OACI. [20]
- Se asume que la información y características de cada uno de los aeropuertos analizados, está actualizada y es la que se muestra en sus correspondientes Publicaciones de Información Aeronáutica (AIP).
- Se asume que cada pista analizada, opera en ambos sentidos.

- Se considera que, para un mismo sentido de operación, las áreas de seguridad correspondientes según operaciones de aterrizaje y de despegue fueron combinadas.
- Debido a las características de los aeropuertos bajo análisis se asume para cada uno de ellos que el número de su respectiva clave de referencia es 4.
- Se asume que tanto las pendientes como la capacidad portante de las áreas de seguridad son tal que pueden soportar correctamente la flota operativa asociada.
- Las imágenes satelitales utilizadas se consideran actuales y son aportadas por Google Earth.
- La meteorología no se contempla dentro de factores relevantes para el análisis de severidad.
- Se asumieron los cercos perimetrales de cada aeropuerto están definidos en base a imágenes satelitales.
- Se asumen como peligros aquellos que son identificables mediante imágenes satelitales y no deberían estar presentes en dichas áreas de seguridad, tales como cercos perimetrales, arboles, edificios, entre otros que se detallan posteriormente.
- Durante una excursión de pista, se asume una desaceleración lineal de la aeronave.
- Se considera una discretización de la pista permite localizar de manera rápida determinados sectores de interés como los extremos de la franja, la parte nivelada y la no nivelada de la franja, como así también áreas de seguridad de extremo de pista tanto obligatoria, como recomendada.

6.3. Determinación de aeropuertos analizados.

Como se mencionó desde el inicio de este informe, el análisis que se llevó a cabo en la región Sud Americana de OACI (SAM), la cual está constituida por 13 países, Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Ecuador, Guayana Francesa, Guyana, Paraguay, Perú, Surinam, Uruguay y Venezuela.

La Figura 38 a continuación muestra las regiones de OACI y la Figura 39 muestra en detalle la región en estudio con sus respectivos países.

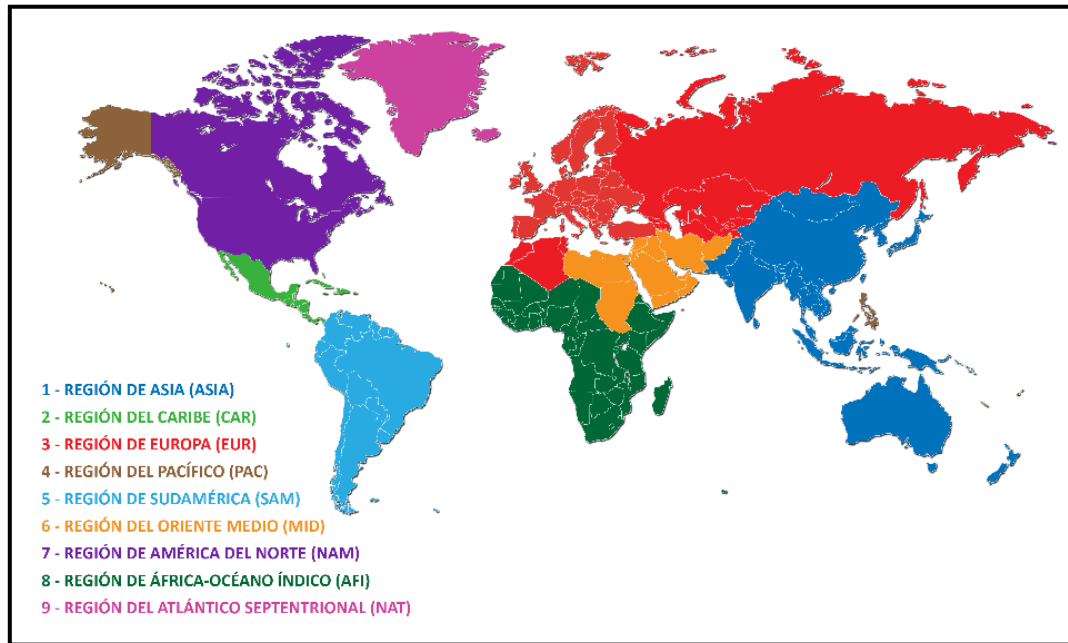


Figura 38: Regiones OACI. Fuente OACI.



Figura 39: Región SAM. Fuente OACI.

Con el fin de que los aeropuertos analizados muestren un verdadero panorama de la región completa, se seleccionaron los dos principales aeropuertos respecto a la cantidad

de operaciones para cada uno de los países de la región, con algunas excepciones. Para países como Colombia, Brasil, Chile y Argentina se seleccionaron tres aeropuertos, dado que tienen gran cantidad de aeropuertos significativos con más de 30.000 operaciones, mientras que por otro lado, para países como Guyana, Guayana Francesa y Surinam, se seleccionaron solo un aeropuerto por cada uno de ellos, dado a que poseen menor cantidad de aeropuertos significativos.

Esta selección resultó en un total de 26 aeropuertos para el estudio los cuales se muestran en la siguiente Tabla 4. Para cada uno de ellos se buscaron las siguientes características: ubicación, claves de referencia, distancias declaradas, tipos de aproximación, operaciones anuales, entre otras.

Tabla 4: Listado de aeropuertos seleccionados.

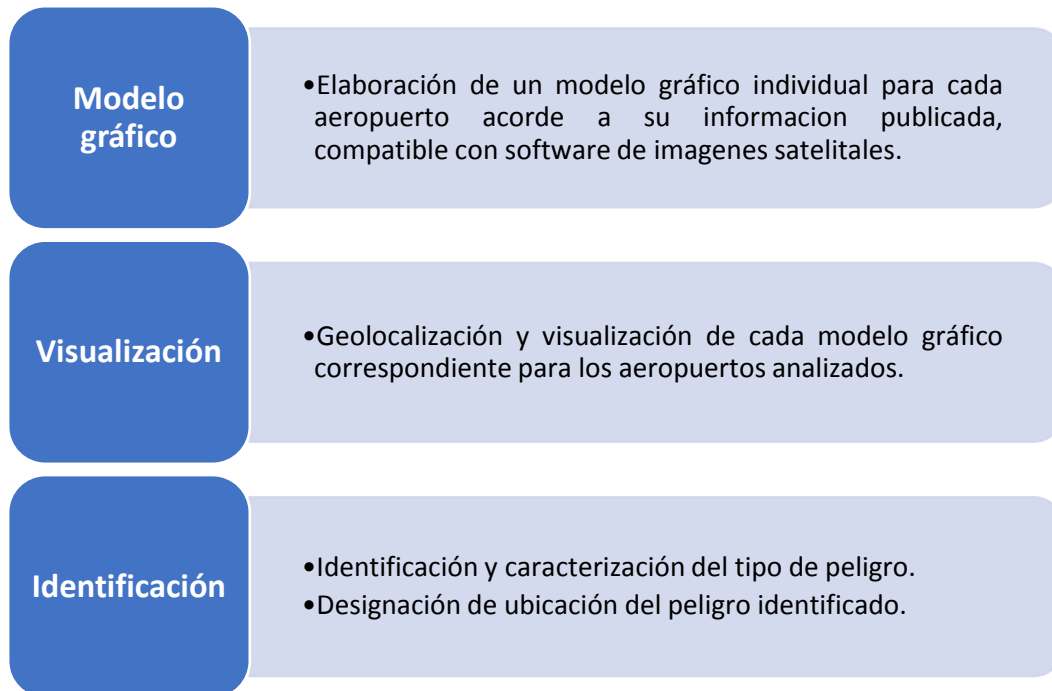
N°	AEROPUERTO	CIUDAD	PAIS	OACI	IATA	OPERACIONES
1	Aeropuerto Internacional El Dorado	Bogotá	Colombia	SKBO	BOG	337.137
2	Aeropuerto Internacional de São Paulo-Guarulhos	San Pablo	Brasil	SBGR	GRU	261.076
3	Aeropuerto de Congonhas	San Pablo	Brasil	SBSP	GGH	205.407
4	Aeropuerto Internacional Juscelino Kubitschek	Brasilia	Brasil	SBBR	BSB	189.570
5	Aeropuerto Internacional Jorge Chávez	Lima	Perú	SPJC	LIM	178.231
6	Aeropuerto Internacional Comodoro A. M. Benítez	Santiago	Chile	SCEL	SCL	141.285
7	Aeroparque Jorge Newbery	Capital Federal	Argentina	SABE	AEP	121.882
8	Aeropuerto Internacional José María Córdova	Medellín	Colombia	SKRG	MDE	75.042
9	Aeropuerto Internacional Ministro Pistarini-Ezeiza	Ezeiza	Argentina	SAEZ	EZE	68.839

N°	AEROPUERTO	CIUDAD	PAIS	OACI	IATA	OPERACIONES
10	Aeropuerto Internacional Silvio Pettrossi	Asunción	Paraguay	SGAS	ASU	46.028
11	Aeropuerto Internacional del Caribe Santiago Mariño	Porlamar	Venezuela	SVMG	PMV	44.263
12	Aeropuerto Andrés Sabella	Antofagasta	Chile	SCFA	SCL	41.610
13	Aeropuerto Internacional de San Fernando	San Fernando	Argentina	SADF	FDO	32.724
14	Aeropuerto Internacional Teniente Alejandro Velasco	Cuzco	Perú	SPZO	CUZ	29.544
15	Aeropuerto Internacional Viru Viru	Santa Cruz de la Sierra	Bolivia	SLVR	VVI	24.226
16	Aeropuerto Internacional El Tepual	Puerto Montt	Chile	SCTE	PMC	23.017
17	Aeropuerto Internacional El Alto	La Paz	Bolivia	SLLP	LPB	21.525
18	Aeropuerto Internacional Mariscal Sucre	Quito	Ecuador	SEQM	UIO	19.200
19	Aeropuerto Internacional de Carrasco	Montevideo	Uruguay	SUMU	MVD	16.800
20	Aeropuerto Internacional José Joaquín de Olmedo	Guayaquil	Ecuador	SEGU	GYE	16.000
21	Aeropuerto Internacional Guaraní	Ciudad del Este	Paraguay	SGES	AGT	7.040
22	Aeropuerto Internacional de Laguna del Sauce	Punta del Este	Uruguay	SULS	PDP	4.680
23	Aeropuerto de Cayenne-Rochambeau	Cayenne	Guayana Francesa	SOCA	CAY	12.540
24	Aeropuerto Internacional Cheddi Jagan	Georgetown	Guyana	SYCJ	GEO	3.700

N°	AEROPUERTO	CIUDAD	PAIS	OACI	IATA	OPERACIONES
25	Aeropuerto Internacional Joan Adolf Pengel	Paramaribo	Surinam	SMJP	PBM	10.270
26	Aeropuerto Internacional de Maiquetía S. Bolívar	Caracas	Venezuela	SVMI	CCS	150.210

6.4. Identificación de peligros

Para lograr identificar los peligros correspondientes mediante el análisis de fotografías satelitales, la metodología que se llevó a cabo consta de los siguientes pasos:



El modelo gráfico desarrollo para el análisis la identificación de peligros, distingue de manera rápida zonas de seguridad de extremo de pista, tanto obligatorias como recomendadas, como así también distingue diferentes sectores de la franja de pista. Para la franja de pista se realizó una división que consta de cuatro partes iguales respecto al eje longitudinal desde el umbral al extremo; en cuatro partes iguales respecto al eje transversal diferenciando entre franja nivelada y no nivelada; y por último dos zonas asociadas a los 60 metros previos y posteriores a la pista. Esta discretización no solo evidencia rápidamente

las zonas de interés, sino que también se ajusta de manera adecuada a los modelos probabilísticos correspondientes a veeroff y overrun que se explican más adelante.

A continuación, en la Figura 40 se muestra un esquema de la discretización de zonas contemplada para el modelo, y posterior a ella en las Figura 41 y Figura 42 se pueden ver dos imágenes que muestran la visualización del modelo con las imágenes satelitales estudiadas.

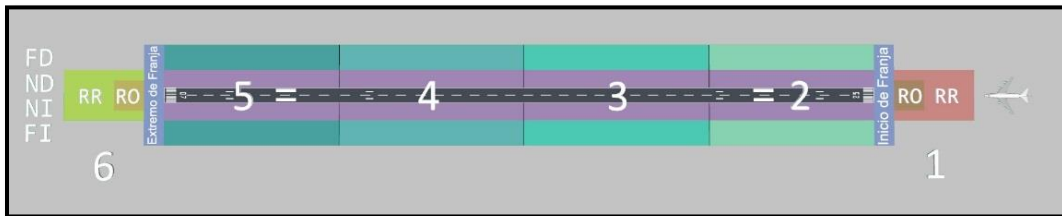


Figura 40: Discretización de pista utilizada en el modelo gráfico. Fuente: elaboración propia.

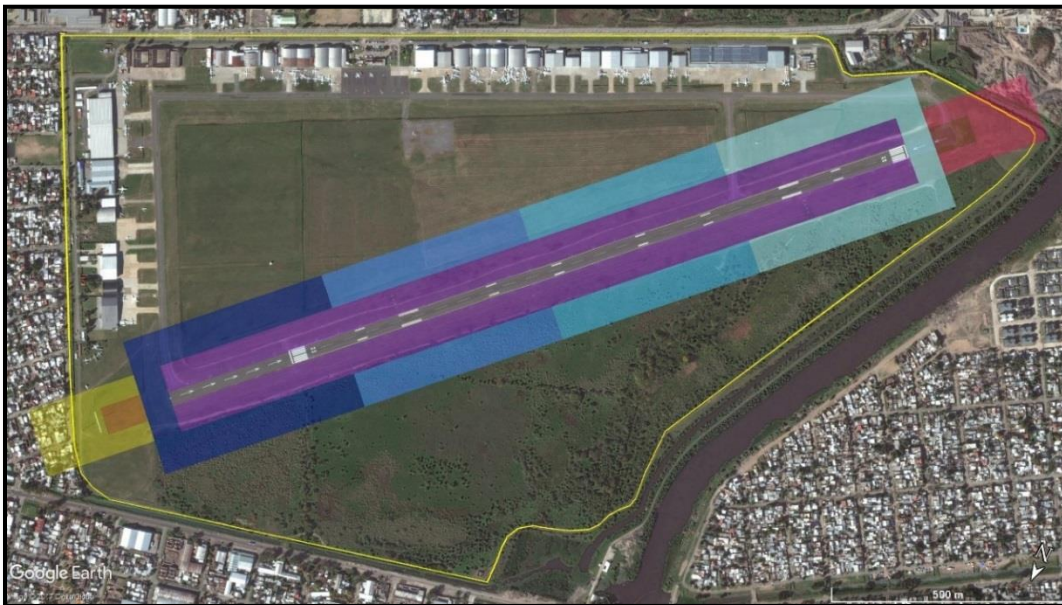


Figura 41: Visualización del modelo con imágenes satelitales (SADF). Fuente: elaboración propia.



Figura 42: Visualización del modelo con imágenes satelitales (SADF). Fuente: elaboración propia.

Por lo tanto, luego de visualizar el modelo gráfico, con la metodología de análisis mencionada, los peligros que se identificaron para cada uno de los aeropuertos son los que se detallan a continuación en la Tabla 5.

Tabla 5: Peligros que identificados para la región SAM.

	Nombre del peligro	Imagen ilustrativa
1	Cuerpo de agua.	
2	Cerco perimetral.	
3	Arboles.	


	Nombre del peligro	Imagen ilustrativa
4	Deflectores de flujo.	
5	Aeronaves fuera de servicio.	
6	Playa de estacionamiento.	
7	Autopista o ruta.	
8	Plataforma de helipuerto.	
9	Plataforma de aeronaves.	
10	Discontinuidad abrupta de terreno.	

	Nombre del peligro	Imagen ilustrativa
11	Edificación sistemas de apoyo.	
12	Edificación urbana.	
13	Edificación aeroportuaria.	
14	Edificio terminal.	
15	Planta de combustible.	


A continuación, en la Tabla 6, se mostrará a modo de ejemplo de los 26 aeropuertos analizados, la planilla correspondiente al aeropuerto de El Dorado. En dicha tabla se pueden ver algunas características del aeropuerto necesarias a la hora de hacer el análisis, como lo son las distancias declaradas de cada pista, la cantidad de operaciones, su emplazamiento, y además se presenta un listado con todos los peligros identificados y su correspondiente ubicación.

Este formato de tablas fue utilizado para cada uno de los aeropuertos analizados, pero serán presentadas en la sección 11.5 del apéndice para no complicar la lectura del trabajo debido a su gran extensión.

Tabla 6: Analisis de Aeropuerto El Dorado.

Aeropuerto El Dorado				
				
Nombre	El Dorado			
Código OACI / IATA	SKBO/BOG			
Emplazamiento	Bogotá, Colombia			
Clave de referencia (número)	4			
Total de operaciones anuales	337137			
Características de las pistas				
Designación de Pista	13L	31R	13R	31L
TORA	3.800	3.800	3.800	3.800
TODA	3.950	3.950	4.100	4.100
ASDA	3.800	3.800	3.860	3.860
LDA	3.800	3.800	3.800	3.800
SWY	0	0	60	60
CWY	150	150	300	300
Ancho de la Pista	45	45	45	45
Sistema de aproximación	CAT I	INP	CAT II	INP
Peligros Identificados				
Tipo de peligro	Ubicación		Pista	
arboles	1 RR		13L	
arboles	1 RO		13L	
arboles	2 FI		13L	
arboles	2 EF		13L	
arboles	5 FD		31R	
arboles	6 RR		31R	

arboles	6 RO	31R
arboles	5 EF	31R
cuerpo de agua	6 RR	31L
cercos perimetrales	6 RR	31L



6.5. Determinación probabilística de sucesos.

Como ya se mencionó anteriormente en la sección 5.5.1, uno de los ejes principales para el desarrollo de la herramienta deseada, es poder determinar la probabilidad de que un peligro identificado se vea asociado a una excursión de pista. Para ello, se debe tener en cuenta que, no solo se debe calcular la probabilidad de ocurrencia del evento, sino que también se debe combinar con la probabilidad de localización del peligro identificado. Esta última, es de suma importancia dado que varía considerablemente con el sentido de operación de la pista. Es decir que un peligro identificado en un cuadrante determinado puede tener una alta probabilidad de ser impactado durante una excursión de pista en un sentido de operación, pero puede tener una muy baja probabilidad en el sentido opuesto de operación. Mientras que por otro lado la probabilidad de ocurrencia sería la misma independientemente del peligro identificado y permite clasificar los eventos de acuerdo a la frecuencia con la que ocurren los mismos en base a datos de antecedentes.

Por lo tanto, como deben ocurrir ambos sucesos simultáneamente la probabilidad final es el producto de las otras probabilidades. Es decir, que no solo tiene que suceder una excursión de pista, sino que también la aeronave debería terminar en un sector determinado donde se ubicaría el peligro. Por lo tanto, el modelo para hallar la probabilidad final de un peligro específico es el siguiente:

$$P_{total} = P_{ocurrencia} * P_{localización}$$

6.5.1 Probabilidad de Ocurrencia

La probabilidad de ocurrencia de un accidente puede ser expresada en función de distintos parámetros en función de las variables disponibles. Por ejemplo, pueden ser expresadas en función de la de operaciones, acorde al tipo de operación, de las horas voladas, cantidad de aeronaves matriculadas; y esta manera de presentar dichas estadísticas se depende de las autoridades aeronáuticas de cada país.

Para el desarrollo de la herramienta en cuestión, se utilizó un modelo de cálculo el cual distingue la cantidad de excursiones de pista diferenciadas entre Veeroff y Overruns, en base a la cantidad de accidentes y a la cantidad de operaciones de toda la región bajo análisis. Por lo tanto, el modelo para el cálculo de la probabilidad de ocurrencia es el que se muestra a continuación:

$$P_{ocurrencia\ OR} = \frac{accidentes}{operaciones} \cdot \frac{excursiones\ de\ pista}{accidentes} \cdot \frac{overrun}{excursiones\ de\ pista}$$

$$P_{ocurrencia\ VO} = \frac{accidentes}{operaciones} \cdot \frac{excursiones\ de\ pista}{accidentes} \cdot \frac{veeroff}{excursiones\ de\ pista}$$

Es importante considerar que para el desarrollo de la herramienta se utilizaron los datos más actuales disponibles, pero esta probabilidad, debería ajustarse al periodo de tiempo analizado.

A continuación, se presentan los datos utilizados considerados para el desarrollo de la herramienta respecto a la probabilidad de ocurrencia, los cuales fueron obtenidos de los reportes de IATA y OACI ya mencionados.

Tabla 7: Probabilidad de ocurrencia para el año 2015. Fuente: IATA, OACI [9] [21]

OACI – IATA		
Suceso	Mundial	Región
Operaciones	33.000.000	13.000.000
Accidentes	92	34
RE/año	20	8
RE/millón de operaciones	6,06E-07	6.15E-7
VO/año (54% de RE)	10,8	4,4
OR/año (46% de RE)	9,2	3,6
VO/ millón de operaciones	3,27E-07	3,38E-07
OR/millón de operaciones	2,78E-07	2,76E-07

Por lo tanto, la probabilidad de ocurrencia para que suceda una excursión de pista, dentro del periodo de tiempo evaluado, por cada millón de vuelos en la región es:

$$P_{RE} = 6,15E - 7$$

Mientras que, por otro lado, separando los sucesos bajo análisis se tiene que las probabilidades de ocurrencia de un Veeroff y de un Overrun, para el mismo periodo de tiempo evaluado son:

$$P_{VO} = 3.38E - 7$$

$$P_{OR} = 2.76E - 7$$

Teniendo en cuenta que las operaciones aerocomerciales poseen un valor muy superior a la cantidad de accidentes, el enfoque utilizado para la evaluación del riesgo y la seguridad implica el modelado probabilístico que estudia la ocurrencia de accidentes aéreos a lo largo del tiempo y se ajusta a las condiciones de distribución temporales adecuadamente. Éste es conocido como Modelo de Poisson, y el mismo permite determinar la probabilidad de ocurrencia de un determinado evento en el tiempo o el espacio y no en un número definido de repeticiones del experimento.

Para la aplicación de este modelo, los eventos se producen aleatoriamente en el espacio o tiempo y la frecuencia de ocurrencia de un evento es tan baja con relación a la frecuencia de no ocurrencia que de acuerdo con las hipótesis se consideran como sucesos “*anómalos*”. Para ello es necesario adoptar las siguientes hipótesis:

- Un **evento** puede ocurrir al azar y en cualquier momento o punto en el espacio. Los accidentes de aviación se han producido de manera aleatoria en diferentes partes del mundo, por lo cual los definimos como fenómeno aleatorio, es decir que bajo idénticas condiciones iniciales no se obtienen siempre los mismos resultados.
- La **ocurrencia** de un evento en un intervalo de tiempo es independiente de lo que ocurrió en cualquier otro intervalo o segmento no superpuesto. Es decir, los accidentes aéreos ocurren como una serie de eventos independientes en el tiempo y el espacio.
- La **probabilidad de ocurrencia** de un evento en un intervalo Δt puede ser estimada mediante $\lambda \cdot \Delta t$ donde λ es la tasa media de ocurrencia de un evento.

Dicho parámetro se asume constante y se calcula como $\lambda = 1/T_a$, donde T_a es el intervalo medio de ocurrencia de entre dos eventos consecutivos.

Para la utilización del modelo mencionado es necesario realizar un análisis que permita observar que la distribución histórica temporal de los accidentes es exponencial e independiente del tipo de vuelo, aeronave, país, entre otros. Es por ello que en los siguientes gráficos obtenidos de trabajos anteriores desarrollados en la UIDET GTA-GIAI [22], se puede observar la distribución exponencial que tiene en cuenta la cantidad de sucesos en un intervalo determinado entre dos accidentes. Por ejemplo, analizando los sucesos de aviación comercial en toda la región SAM, se observa que de los 10 años bajo análisis hubo 121 casos donde el intervalo de tiempo entre un accidente y otro fue menor a 2 días, y 94 casos donde el intervalo de tiempo entre accidentes fue menor a 5 días.

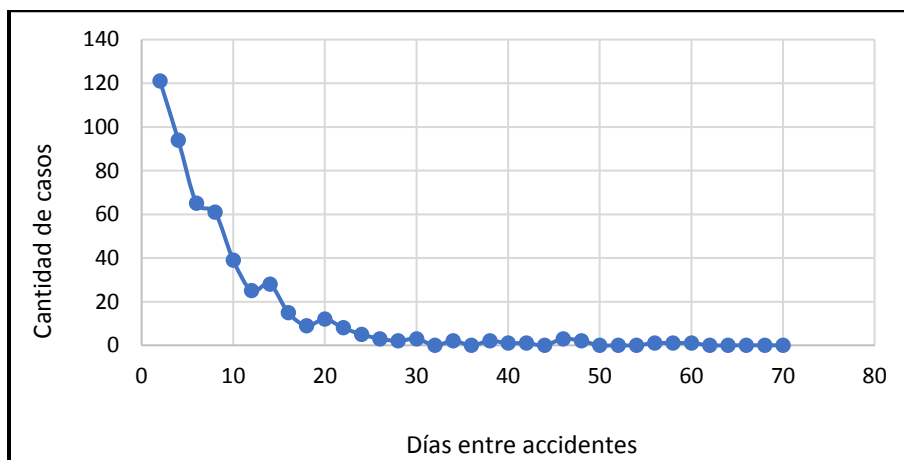


Figura 43: accidentes por intervalo de tiempo para la región SAM –Aviación Comercial. Fuente: E. M. Brito, “Estudio y Caracterización de Accidentes Aéreos: Excursiones de Pista.” 2015 [22]

En la figura anterior se observa una distribución exponencial, lo que sumado a las hipótesis anteriormente mencionadas confirma la validez de la aplicación de un modelo probabilístico discreto como lo es el Modelo de Poisson. En este modelo, el período de tiempo entre sucesivos eventos se representa mediante una distribución exponencial, donde se tiene que, la probabilidad de que ocurra al menos un accidente en el tiempo t la expresamos:

$$P(T \leq t) = 1 - P(T > t) = P(X_t \neq 0) = 1 - e^{-\lambda t}$$

Donde:

- T la variable aleatoria que representa el tiempo entre dos accidentes consecutivos
- X_t es el número de accidentes en el período t .
- λ es la tasa media de ocurrencia de un evento.

Con este modelo, la probabilidad de ocurrencia puede ser interpretada como cantidad de sucesos por tiempo transcurrido para cada aeropuerto en particular. Por lo tanto, para los valores de probabilidad de ocurrencia se plantea que sean distribuidos dentro de 6 categorías temporales.

- **Excepcional:** el evento ocurre una vez en 10 años.
- **Improbable:** el evento ocurre una vez cada 5 años.
- **Poco Frecuente:** el evento ocurre al menos una vez por año.
- **Ocasional:** el evento ocurre al menos una vez por mes.
- **Probable:** el evento ocurre al menos una vez por semana.
- **Frecuente:** el evento ocurre al menos una vez cada dos días.

Una vez obtenida la probabilidad de ocurrencia, resta poder cuantificar la probabilidad de localización para poder tener la verdadera probabilidad de riesgo.

6.5.2 Probabilidad de localización

Respecto a la probabilidad de localización, se debe mencionar que es de suma importancia poder describir mediante estadísticas la posición final aproximada de cada aeronave. Para ello se utilizan modelos desarrollados por la ACRP [23], capaces de distinguir entre veeroff y overrun, los cuales se detallan más adelante.

Es importante destacar que para la determinación de la localización de cada peligro se utilizó la discretización de pista ya mencionada en la sección 6.4, y que la misma integra las operaciones de aterrizaje y despegue, por lo que las probabilidades de ambas operaciones fueron sumadas dentro del modelo establecido.

Cada cuadrante de la discretización establecida tiene asociada una probabilidad de localización correspondiente, la cual a su vez está conformada por el producto de una probabilidad respecto al eje longitudinal de pista (x) y respecto al eje transversal de pista (y), los cuales también dependen del tipo de suceso analizado.

$$P_{localizacion} = P_x * P_y$$

Por ejemplo, la probabilidad en el eje x , para el caso de Overruns indicaría la probabilidad de que, habiéndose salido de pista por el extremo, la aeronave alcance una distancia longitudinal " x " medida desde el extremo de la pista, sea cual sea la distancia lateral " y " a la que llegue. Ésta misma probabilidad en " x " pero para el caso de los Veeroff, indicaría la probabilidad de que, habiéndose salido de pista por los laterales de la misma, la aeronave llegue a una distancia " x " medida desde el umbral de una pista normalizada (0=umbral 1=extremo).

Por otro lado, la probabilidad en el eje " y ", para el caso de overruns, indicaría la probabilidad de que, habiéndose salido de pista por el extremo, la aeronave se haya desviado lateralmente del eje de pista y ésta alcance una distancia transversal " y ", sea cual sea la distancia longitudinal " x " a la que llegue. Mientras que para el caso de Veeroff indicaría la probabilidad de que, habiéndose salido de pista por el lateral de la misma, la aeronave se haya desviado lateralmente alcanzando una distancia " y " medida desde el borde de la pista.

A modo de resumen de lo recientemente descrito, a continuación se presenta en las Figura 44 y Figura 45 el sistema de coordenadas " x " e " y " para cada modelo dependiendo el suceso analizado.



Figura 44: Sistema de coordenadas para modelo de Overrun. Fuente: Elaboración propia.



Figura 45: Sistemas de coordenadas para modelos de Veeroff. Fuente: Elaboración propia.

Los modelos de ACRP adaptados para este análisis, cuentan con estadísticas que permiten validar a los mismos.

Para los sucesos de Veeroff las distancias medidas desde el eje de pista hasta la posición final de la aeronave son las que se muestran a continuación en la Figura 46.

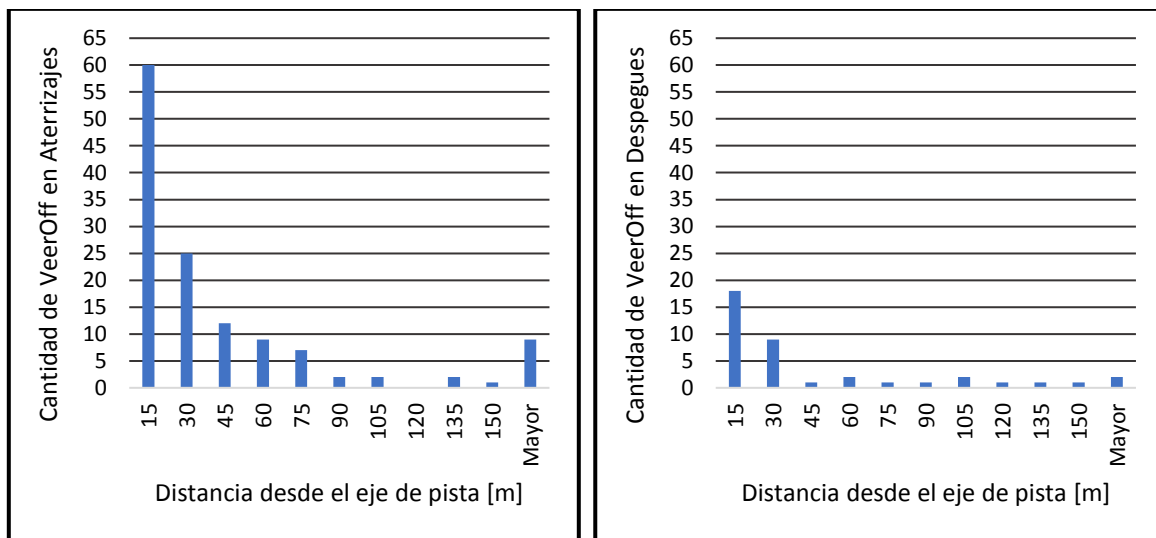


Figura 46: Cantidad de VeerOff según su distancia final al eje de pista. Fuente ACRP [23].

Durante operaciones normales, la distribución probabilística de la posición de la aeronave respecto al eje de pista tiene una distribución normal como lo muestra Figura 47 para la cual claramente la probabilidad de posición de la aeronave aumenta con la

proximidad al eje de pista. Por lo tanto, es lógico pensar que los cuadrantes más próximos al eje de pista, tienen una mayor relevancia que los más lejanos.

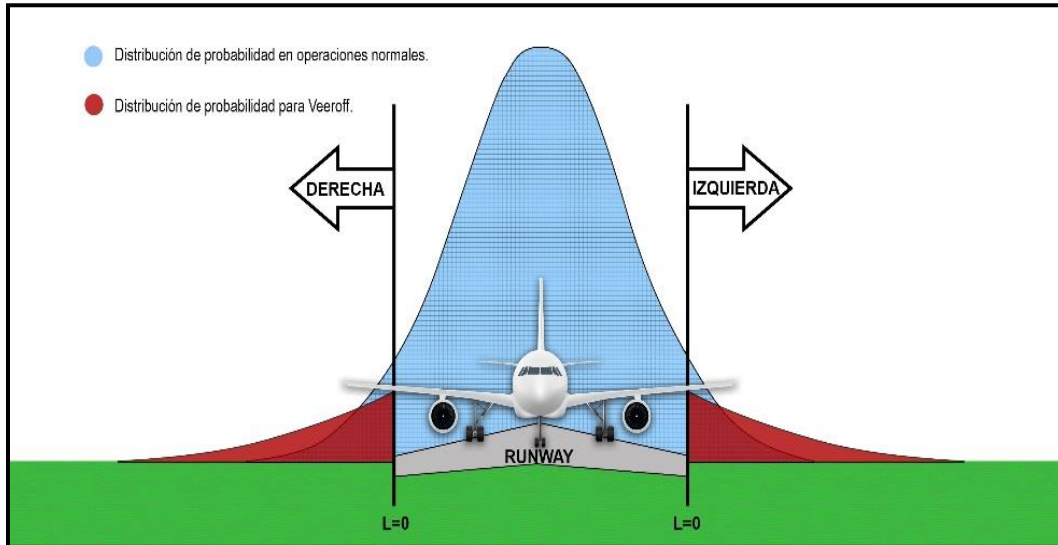


Figura 47: Distribución probabilística transversal al eje de pista. Fuente ACRP [23].

De similar manera que, para los Veeroff, también se conocen las distancias respecto del extremo de pista a la posición final de las aeronaves que protagonizan un suceso de Overrun, las cuales se pueden ver en la Figura 48.

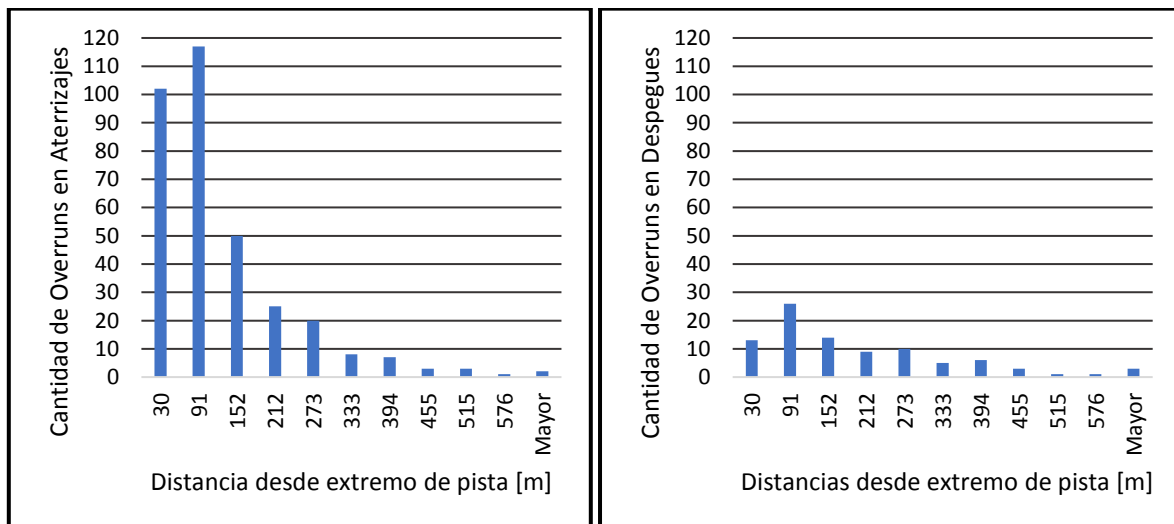


Figura 48: Cantidad de Overruns según distancia al extremo de pista. Fuente ACRP [23].

En base a dichas estadísticas, los modelos probabilísticos aplicados para el cálculo de la probabilidad de localización son los que se muestran a continuación en la

Tabla 8 y luego de la misma sus correspondientes gráficos para visualizar su variación respecto al sistema de coordenadas.

Tabla 8: Tabla modelos probabilísticos de localización. Fuente: ACRP [23].

TIPO DE ACCIDENTE	EJE	MODELO
LDOR	x	$P\{d > x\} = e^{-0.00321 \cdot x^{0.984941}}$
	y	$P\{d > y\} = e^{-0.20983 \cdot y^{0.4862}}$
LDVO	x	$P_x = -20.45D^6 + 63.23D^5 - 69.406D^4 + 29.26D^3 - 1.803D^2 + 0.153D$
	y	$P\{d > y\} = e^{-0.02568 \cdot y^{0.803946}}$
TOOR	x	$P\{d > x\} = e^{-0.00109 \cdot x^{1.06764}}$
	y	$P\{d > y\} = e^{-0.04282 \cdot y^{0.659566}}$
TOVO	x	$P_x = 13.15D^6 - 43.37D^5 + 54.631D^4 - 32.024D^3 + 7.408D^2 + 1.207D$
	y	$P\{d > y\} = e^{-0.01639 \cdot y^{0.863461}}$

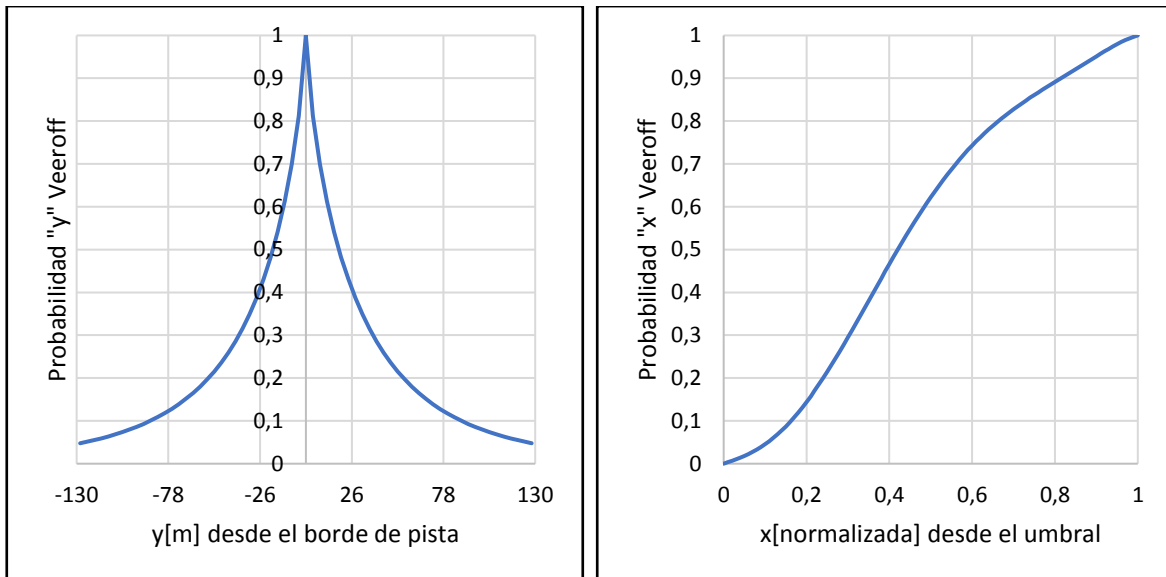


Figura 49: Probabilidad “x” e “y” para Veeroff, para despegues y aterrizajes. Fuente ACRP [23]

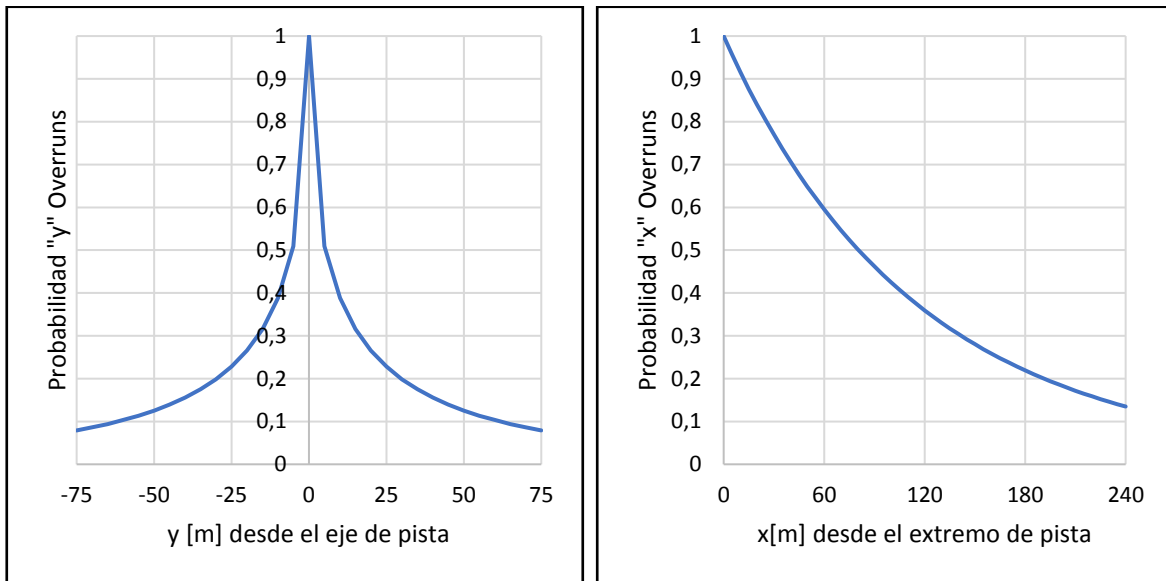


Figura 50: Probabilidad "x" e "y" para Overruns, para despegues y aterrizajes. Fuente ACRP [23]

En la siguiente Figura 51 se muestra la cantidad de excursiones de pista categorizados por tipo de suceso y según al tipo de operación.

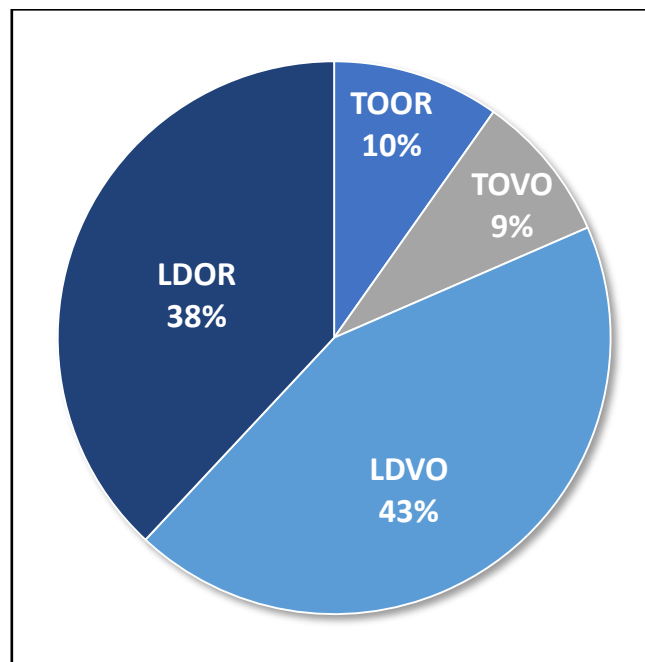


Figura 51: Porcentaje de sucesos de excursiones de pista. Fuente ACRP [23].

Con estos datos estadísticos y ajustando los modelos a la discretización utilizada, se desarrolló la probabilidad de localización para cada uno de los cuadrantes, la cual se puede ver en la Tabla 9 con su respectiva visualización en Figura 52.

Tabla 9: Probabilidad de localización por cuadrantes. Fuente: Elaboración propia

Cuadrante	P (localización)
1° TRAMO FRANJA NO NIVELDA	0,024
1° TRAMO FRANJA NIVELADA	0,090
2° TRAMO FRANJA NO NIVELDA	0,045
2° TRAMO FRANJA NIVELADA	0,172
3° TRAMO FRANJA NO NIVELDA	0,026
3° TRAMO FRANJA NIVELADA	0,101
4° TRAMO FRANJA NO NIVELDA	0,015
4° TRAMO FRANJA NIVELADA	0,059
FRANJA DE EXTREMO	0,174
RESA OBLIGATORIA	0,120
RESA RECOMENDADA	0,087



Figura 52: Visualización de probabilidad de localización. Fuente: Elaboración propia

6.5.3 Niveles de probabilidad.

Por último, respecto a la probabilidad del suceso, se debe calcular la probabilidad final del suceso, la cual ya se definió anteriormente como el producto de ambas probabilidades involucradas. Por lo tanto, combinando a probabilidad de localización obtenida, con las probabilidades de ocurrencia para cada una de las diferentes operaciones, se tiene la probabilidad final para cada uno de los cuadrantes que se muestra a continuación en la Figura 53.

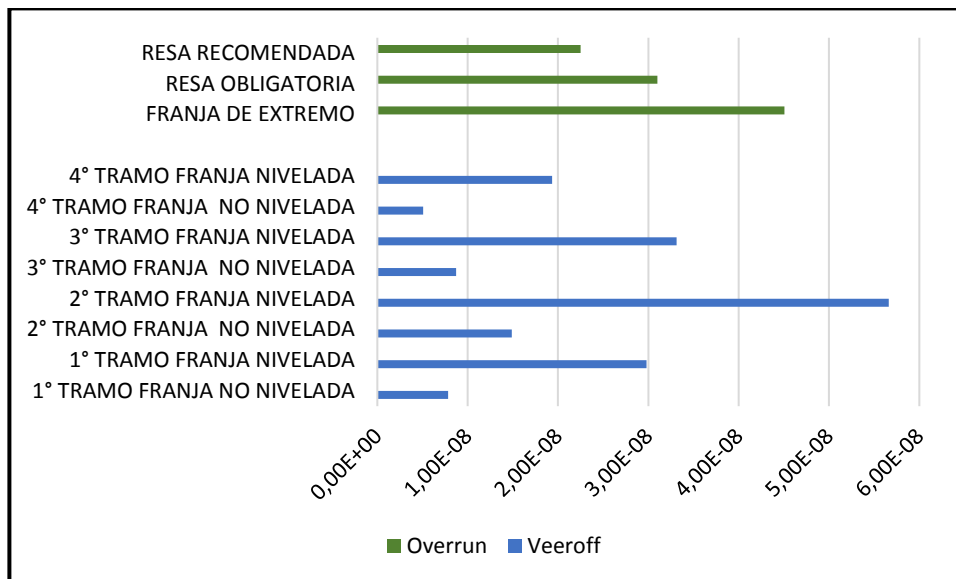


Figura 53: Probabilidad final por cuadrantes para Veeroff y Overrun. Fuente: elaboración propia.

Habiendo obtenido estos valores de probabilidades finales, se definió un nivel de categorías con el objetivo de que la herramienta sea capaz de identificar el nivel de probabilidad de manera, al igual que como se planteó un rango para los niveles de severidad. Por lo tanto, los niveles planteados de probabilidad son los que se muestran a continuación:

- **Frecuente:** $> 10^{-3}$ por operación. Probable que ocurra muchas veces (ha ocurrido frecuentemente).
- **Ocasional:** $> 10^{-5}$ y $< 10^{-3}$ por operación. Probable que ocurra algunas veces (ha ocurrido infrecuentemente).
- **Remoto:** $> 10^{-7}$ y $< 10^{-5}$ por operación. Improbable, pero es posible que ocurra (ocurre raramente)

- **Extremadamente Remoto:** $> 10^{-9}$ y $< 10^{-7}$ por operación. Muy improbable que ocurra (no se conoce que haya ocurrido).
- **Extremadamente Improbable:** $< 10^{-9}$ por operación. Casi inconcebible que el evento ocurra.

Con el fin de que el usuario de la herramienta pueda distinguir rápidamente el nivel de probabilidad, se implementó el siguiente código de colores.

Extremadamente improbable	Extremadamente remoto	Remoto	Ocasional	Frecuente
Menor a 10^{-9}	10^{-9} a 10^{-7}	10^{-7} a 10^{-5}	10^{-5} a 10^{-3}	Mayor a 10^{-3}

6.6. Ponderación de severidad para peligros identificados

El estudio de una base de datos histórica de accidentes, tanto en los aeropuertos analizados como en otros similares, es un dato de especial relevancia a la hora de evaluar los riesgos que pueden derivar de los peligros descritos, puesto que permite valorar en qué condiciones se produjeron estos hechos y cuál fue la efectividad real de las defensas que estaban implantadas.

En función de poder desarrollar una herramienta de análisis de seguridad operacional, se debe estimar la severidad asociada a un peligro, y para ello es necesario conocer que factores relevantes intervienen, los cuales pueden actuar como agravantes o atenuantes. Por lo tanto, deben identificarse cada uno de estos factores que conforman la caracterización del escenario, donde se van a evaluar los riesgos a partir de un análisis exhaustivo de cualquier condición física o procedimental que pueda repercutir en la materialización de los riesgos.

Para el desarrollo de la herramienta deseada, los factores relevantes que se tuvieron en cuenta a la hora de evaluar la severidad son los siguientes: Tipo de Peligro, Ubicación del Peligro y la Aeronave Involucrada. Además, cada uno de ellos está ponderado de acuerdo a distintas características que se explican en detalle en la siguiente sección.

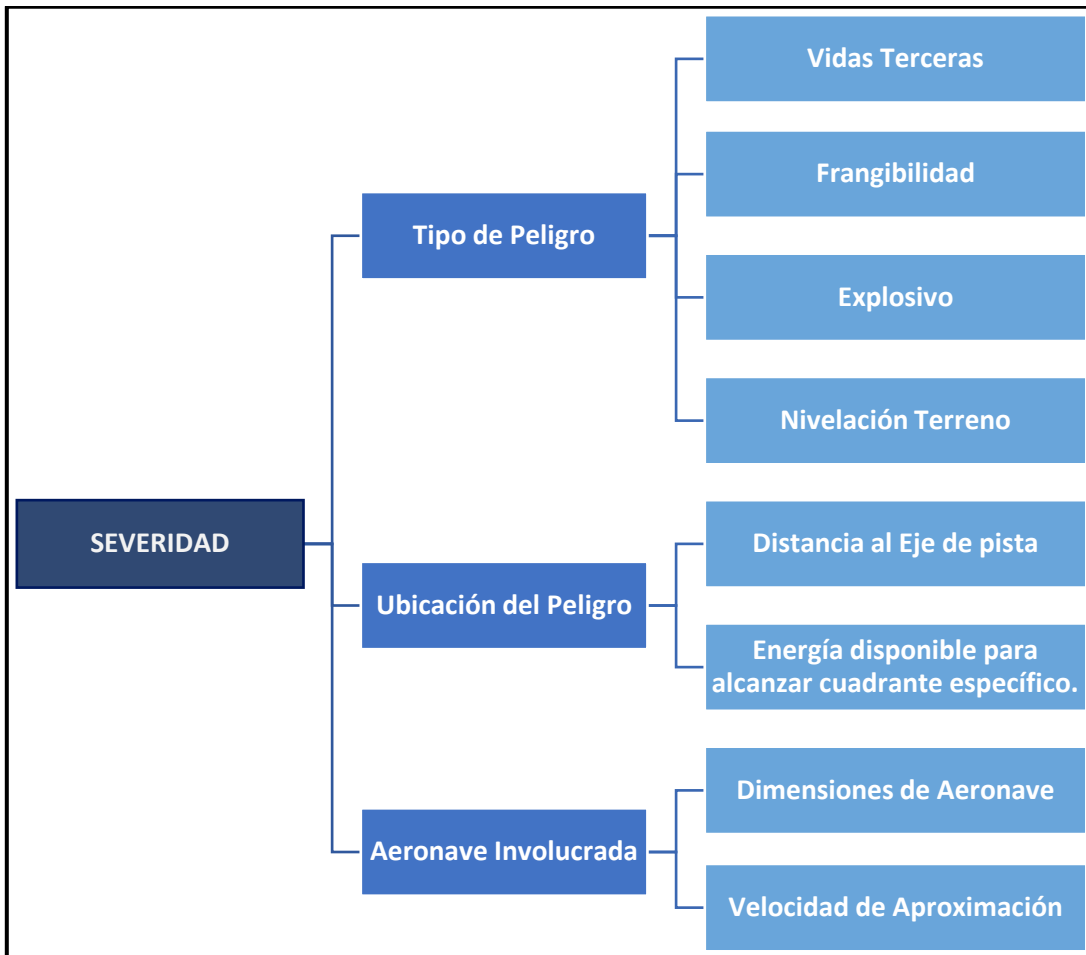
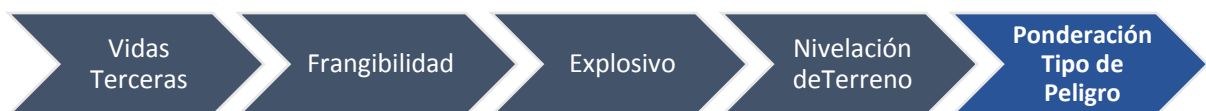


Figura 54: Factores relevantes a la severidad de un accidente. Fuente: Elaboración propia.

6.6.1 Tipo de peligro.

Respecto al tipo de peligro identificado, lo que se buscó, es que la herramienta sea capaz de poder evidenciar ciertas características físicas del peligro. Por lo tanto, se hizo una caracterización que sirvió para ponderar y determinar una prelación entre los mismos considerando diferentes criterios, como el nivel de frangibilidad, si se corresponde a desnivelaciones en el terreno, si tienen características explosivas y si suma vidas de terceros al accidente.



Para cada una de las características mencionadas, se propusieron los siguientes valores de ponderación:

Nivel de Frangibilidad:

- 0= Totalmente frangible.
- 1= Parcialmente frangible.
- 2= No frangible en absoluto.

Nivelación de Terreno:

- 0= Terreno nivelado.
- 1=Terreno desnivelado.
- 2=Terreno intransitable.

Involucra vidas terceras:

- 0 = No adiciona vidas de terceros.
- 1 = Adiciona vidas de terceros.
- 2 = Adiciona muchas vidas de terceros.

Contiene fluidos explosivos:

- 0 = No explosivo.
- 1 = Posiblemente explosivo.
- 2 = Altamente explosivo.

Combinando estas características y afectándolas por un coeficiente el cual define un peso relativo, se obtuvo una ponderación que establece una prelación para los peligros identificados. Esta ponderación se muestra a continuación y define mediante una secuencia lógica cuales características del peligro identificado son más relevantes que otras.

$$Ponderación_{objeto} = Frangibilidad \cdot A + Terreno \cdot B + Vidas \cdot C + Explosivo \cdot D$$

Tabla 10: Características y ponderación de los tipos de peligros.

PONDERACIÓN TIPO DE PELIGRO					
DENOMINACIÓN	FRANGIBILIDAD	TERRENO	VIDAS TERCERAS	EXPLOSIVO	PONDERACIÓN
Edificación sistemas de apoyo	1	0	0	0	2
Cerco perimetral	2	0	0	0	4
Aeronaves fuera de servicio	2	0	0	0	4
Arboles	2	0	0	0	4
Deflectores de flujo	2	0	0	0	4
Cuerpo de agua	0	2	0	0	6
Discontinuidad abrupta de terreno	2	1	0	0	7
Playa de estacionamiento	1	0	1	1	11
Plataforma de helipuerto	1	0	1	1	11
Planta de combustible	2	0	0	2	12
Edificación urbana	2	0	2	0	14
Edificio aeroportuario	2	0	2	0	14
Edificio terminal	2	0	2	0	14
Autopista o ruta	1	0	2	1	16
Plataforma con aeronave	1	0	2	1	16

6.6.2 Ubicación del peligro.

Respecto al segundo factor interviniente para la severidad, la ubicación de los peligros identificados, se definió un criterio de manera que cada cuadrante de la discretización planteada para el modelo gráfico, tenga asignado un valor ponderado de severidad.

Para lograr esta ponderación entre los diferentes cuadrantes de manera que determinen un orden de peligrosidad, lo que se llevó a cabo es un análisis de energía

asociada a una aeronave ante una salida de pista, dentro de diferentes escenarios hipotéticos.

En otras palabras, considerando diferentes aeronaves y diferentes puntos de toma de contacto en el aterrizaje, se evaluó la capacidad de disminuir la energía acumulada de la aeronave por medio de una desaceleración lineal. Luego, mediante la combinación de los diferentes escenarios planteados, se identificó cuáles son los cuadrantes que presentan un mayor peligro ante una eventual salida de pista.

Los escenarios hipotéticos utilizados para el cálculo de energía, fueron planteados en base al punto de contacto con la pista, y respecto a dos aeronaves específicas, consideradas como los dos extremos de la flota prevista. En otras palabras, se consideró un Boeing-747 el cual requiere la mayor longitud de pista de la flota analizada, y por otro lado un Cessna Citation, el cual requiere la menor longitud de pista de la flota analizada. Para cada una de estas aeronaves se analizó dos escenarios, uno considerando la toma de contacto en el punto de visada y otra considerando un aterrizaje largo, donde la toma de contacto es 250m después del punto de visada. Por lo tanto, los escenarios hipotéticos planteados son:

- Escenario 1: Aeronave Boeing 747 con toma de contacto en el punto de visada (aterrizaje ideal).
- Escenario 2: Aeronave Boeing 747 con toma de contacto 250m después del punto de visada (aterrizaje largo).
- Escenario 3: Aeronave Cessna Citation con toma de contacto en el punto de visada (aterrizaje ideal).
- Escenario 4: Aeronave Cessna Citation con toma de contacto 250m después del punto de visada (aterrizaje largo).

Para el cálculo correspondiente en cada uno de estos escenarios planteados, no solo se tuvo en cuenta el lugar de toma de contacto de la aeronave, sino que también se tuvo en cuenta la distancia recorrida durante el tiempo de reconfiguración de la aeronave, para

indicar donde comienza el frenado, tal como lo establece el Manual de diseño de Aeródromos (Volumen II) [24].

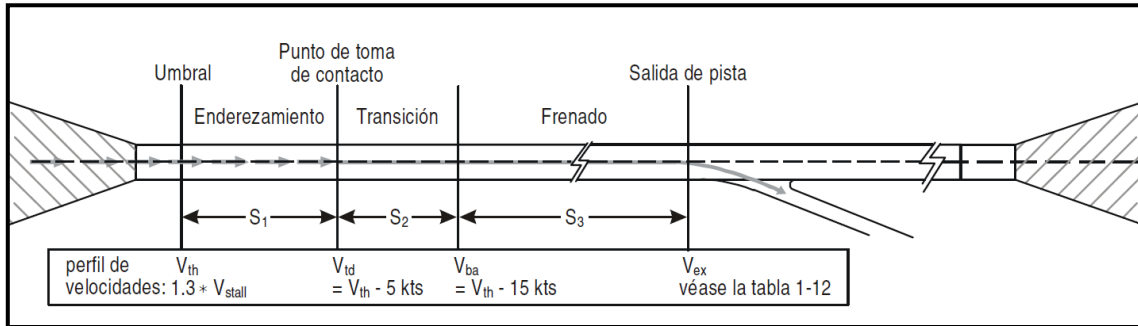


Figura 55: Esquema de distancias necesarias de frenado. Fuente: OACI [24]

Por lo tanto, para poder conocer este punto de inicio de frenado en cada uno de los escenarios planteados se debe conocer:

- La velocidad de aproximación de la aeronave.
- La distancia desde el umbral al punto de toma de contacto el cual no necesariamente considera con el punto de visada.
- La distancia recorrida durante la reconfiguración de la aeronave previo al inicio de frenado.

Luego, una vez comenzado el frenado se consideró una desaceleración lineal de 1.8m/s^2 , la cual es un promedio de desaceleración para pistas secas indicada en los Airport Planning de las aeronaves evaluadas.

Como lo muestra la Figura 56 a continuación, para el escenario del Boeing-747 con toma de contacto ideal, a partir del punto estimado de inicio el frenado, la desaceleración fue visualizada de manera radial sobre la pista, permitiendo visualizar con qué porcentaje aproximado de energía remanente la aeronave puede alcanzar cada uno de los cuadrantes y en base a ello se le asignara una ponderación a cada cuadrante.

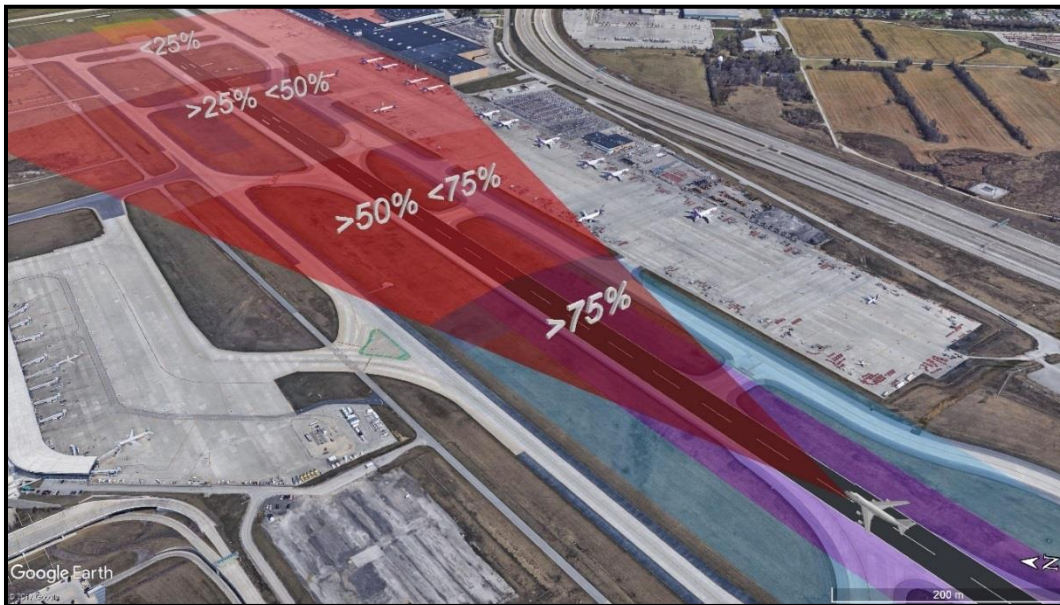
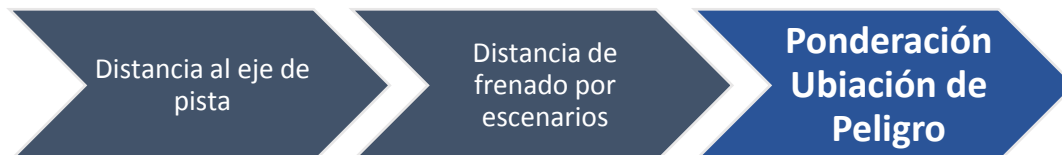


Figura 56: Visualización de distancias de frenado para un B747 tocando en el punto de visada. Fuente: elaboración propia

Por último, para el factor de localización también se tuvo en cuenta la distancia de cada cuadrante al eje de pista, dado a que también influye en la ponderación del cuadrante, debido a que los cuadrantes alineados a la trayectoria de la aeronave como lo son las áreas de seguridad de extremo de pista, son de suma importancia para aterrizajes largos.



Distancia de frenado:

- 0 = no es posible que llegue al cuadrante.
- 1 = llega con menos del 25% de energía.
- 2 = llega con menos del 25% y más del 50% de energía.
- 3 = llega con menos del 50% y más del 75% de energía.
- 4 = llega con más del 75% de energía.

Distancia al eje de pista:

- 1 = Más de 75m del eje de pista.

- 2 = Menos de 75m del eje de pista.
- 3 = Sobre el eje de pista.

Combinando estas características, para todos los escenarios planteados y definiendo un peso relativo a cada una de ellas, se obtuvo una ponderación para la ubicación del peligro.

$$Ponderación_{ubicacion} = Dist. \text{ al eje de pista} + Esc1 + Esc2 + Esc3 + Esc4$$

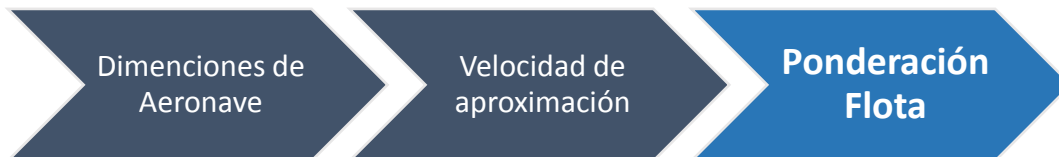
Tabla 11: Tabla de ponderacion según ubicación.

PONDERACION UBICACIÓN						
CUADRANTE	DISTANCIA AL EJE DE PISTA	ESCENARIO 1	ESCENARIO 2	ESCENARIO 3	ESCENARIO 4	PONDERACIÓN
2° TRAMO FRANJA NIVELADA	2	4	4	0	4	14
3° TRAMO FRANJA NIVELADA	2	4	1	4	3	14
2° TRAMO FRANJA NO NIVELADA	1	4	4	0	4	13
3° TRAMO FRANJA NO NIVELADA	1	4	1	4	3	13
4° TRAMO FRANJA NIVELADA	2	2	0	3	0	7
4° TRAMO FRANJA NO NIVELADA	1	2	0	3	0	6
RESA EXTREMO OBLIGATORIA	3	1	0	2	0	6
RESA EXTREMO RECOMENDADA	3	1	0	2	0	6
EXTREMO DE FRANJA	3	1	0	2	0	6
RESA UMBRAL OBLIGATORIA	3	0	0	0	0	3
RESA UMBRAL RECOMENDADA	3	0	0	0	0	3
1° TRAMO FRANJA NIVELADA	2	0	0	0	0	2
1° TRAMO FRANJA NO NIVELADA	1	0	0	0	0	1

6.6.3 Aeronave involucrada.

Por último, para terminar la caracterización de los peligros, el último factor relevante analizado es el tipo de aeronave que potencialmente se podría ver involucrada en un accidente. Este factor depende directamente de las características del tráfico que atiende a cada aeropuerto en particular y constituye otro de los elementos de influencia a la hora de evaluar la severidad ante un suceso. Como se analiza la región SAM completa, se caracterizó la composición de una flota que sea lo más representativa posible de la misma, y para ello se consideró un total de 83 aeronaves que actualmente suelen operar en la región.

Para llevar a cabo la ponderación, por un lado, se caracterizó las aeronaves en tres diferentes tipos según sus dimensiones, diferenciándolas directamente por su tipo de fuselaje, y por otro lado, se caracterizaron en cuatro niveles según la velocidad de aproximación.



Dimensiones de Aeronave:

- 3 = Aviación Ejecutiva.
- 2 = Fuselaje Angosto.
- 1 = Fuselaje Ancho.

Velocidad de Aproximación:

- 1 = Menor a 100knots
- 2 = Entre 100knots y 120knots.
- 3 = Entre 120knots y 140knots.
- 4 = Mayor a 140knots.

De la misma manera que para los factores anteriores, se buscó combinar estas características con diferentes pesos relativos representados por coeficientes, de manera que las aeronaves de menor porte sean más críticas, dado que los daños son mayores ante una misma colisión en comparación con las de mayores dimensiones. De esta manera la ponderación obtenida es la siguiente:

$$Ponderación_{flota} = Categoría \cdot A' + Velocidad \cdot B'$$

En la Tabla 12 que se muestra a continuación, se pueden ver a modo de ejemplo algunas de las aeronaves considerada como parte de la flota de la región la cual se muestra completa en la sección 11.6 del apéndice.

Tabla 12: Tabla de ponderación de flota (ejemplo de 13 aeronaves).

PONDERACION FLOTA			
AERONAVE	CATEGORIA	VELOCIDAD DE APROXIMACION	PONDERACION
Cessna 560 Citation V	3	110	11
Dassault Falcon 2000	3	110	11
Cessna 650 Citation III	3	115	11
Embraer Phenom 300	3	117	11
Learjet 85	3	119	11
B737-900	2	141	10
A321-200	2	142	10
B737-800	2	142	10
B757-300	2	143	10
MD-83	2	144	10
B747-400	1	157	7
A340-200	1	136	6
A330-300	1	137	6
...

6.6.4 Niveles de Severidad

Para el cálculo final de la severidad, la herramienta combina mediante diferentes pesos relativos establecidos por coeficientes, cada una de las ponderaciones obtenidas correspondientes a los factores relevantes, con el fin de obtener un valor final de ponderación de severidad.

$$Severidad = (Ponderación_{objeto} \cdot X + Ponderación_{ubicación} \cdot Y + Ponderación_{flota} \cdot Z)$$

De esta manera, la ponderación final desarrollada para la determinación de la severidad, está enmarcada en cinco categorías del más grave al más leve, en función de la evaluación de los posibles daños producidos, tanto en la aeronave como lesiones a las personas (pasajeros o externos a la operación):

Catastrófico

- Pérdida de fuselaje.
- Destrucción de equipamiento.
- Pérdida total de control.
- Fatalidades.

Peligroso:

- Gran reducción de márgenes de seguridad o capacidades funcionales de la aeronave.
- Lesiones serias, con heridos graves.
- Daños mayores al equipamiento.

Mayor/Grave:

- Reducción significativa de márgenes de seguridad o capacidades funcionales de la aeronave.
- Lesiones a las personas.

Menor/Leve:

- Reducción leve de márgenes de seguridad o capacidades funcionales de la aeronave
- Interferencias o limitaciones operativas
- Utilización de procedimientos de emergencia

Sin efecto/ Insignificante:

- Sin efectos, la aeronave resulta sin daños, ni lesiones a las personas.

Con el fin de identificar el nivel de severidad de manera rápida y eficaz, la herramienta utiliza el siguiente código de colores que se muestra a continuación.

Insignificante	Menor	Mayor	Peligroso	Catastrofico
0 a 19	20 a 39	40 a 59	60 a 79	Mayor a 80

Figura 57: Código de colores niveles de severidad. Fuente: elaboración propia.

7. RESULTADOS

7.1 Resultados del análisis en la región

En esta sección se presentan detalladamente los resultados obtenidos para todo el análisis llevado a cabo en la región SAM. Sobre un total de 26 aeropuertos analizados, y considerando los diferentes sentidos de operaciones para sus respectivas pistas, lo que indica un total de 72 pistas operativas, se identificaron un total de 848 peligros dentro de las zonas bajo análisis. En el siguiente gráfico se puede observar la distribución de los mismos respecto a cada uno de los aeropuertos.

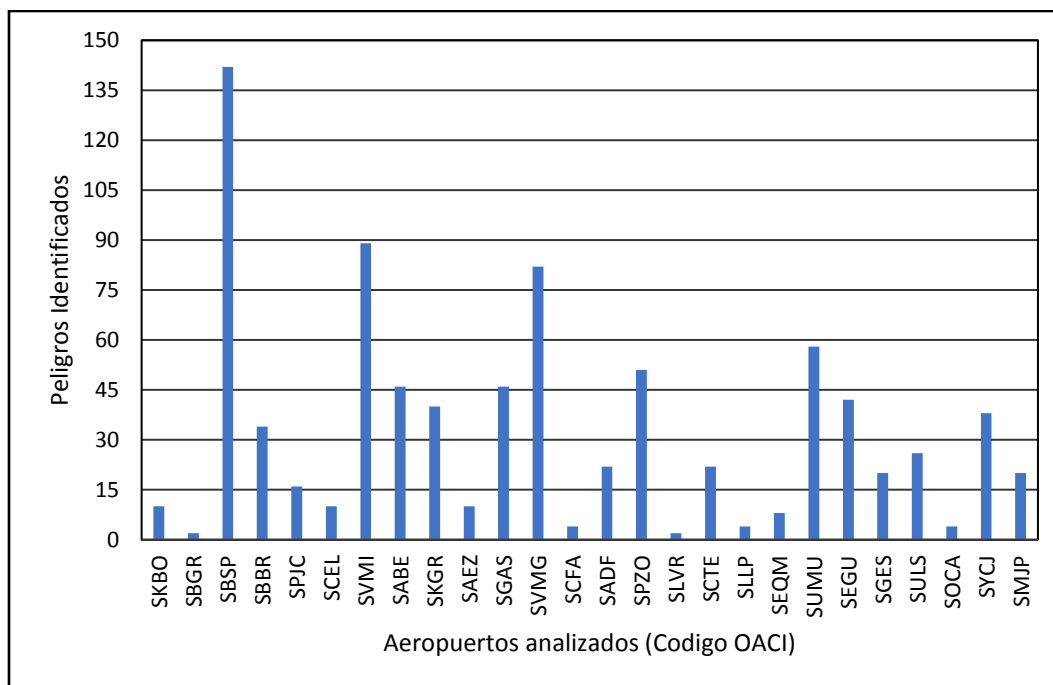


Figura 58: Peligros identificados para cada aeropuerto. Fuente: elaboración propia.

Además, sobre el total de estos peligros identificados, también se puede visualizar en la Figura 59 presentada a continuación, cuáles son los peligros más comunes para los aeropuertos estudiados.

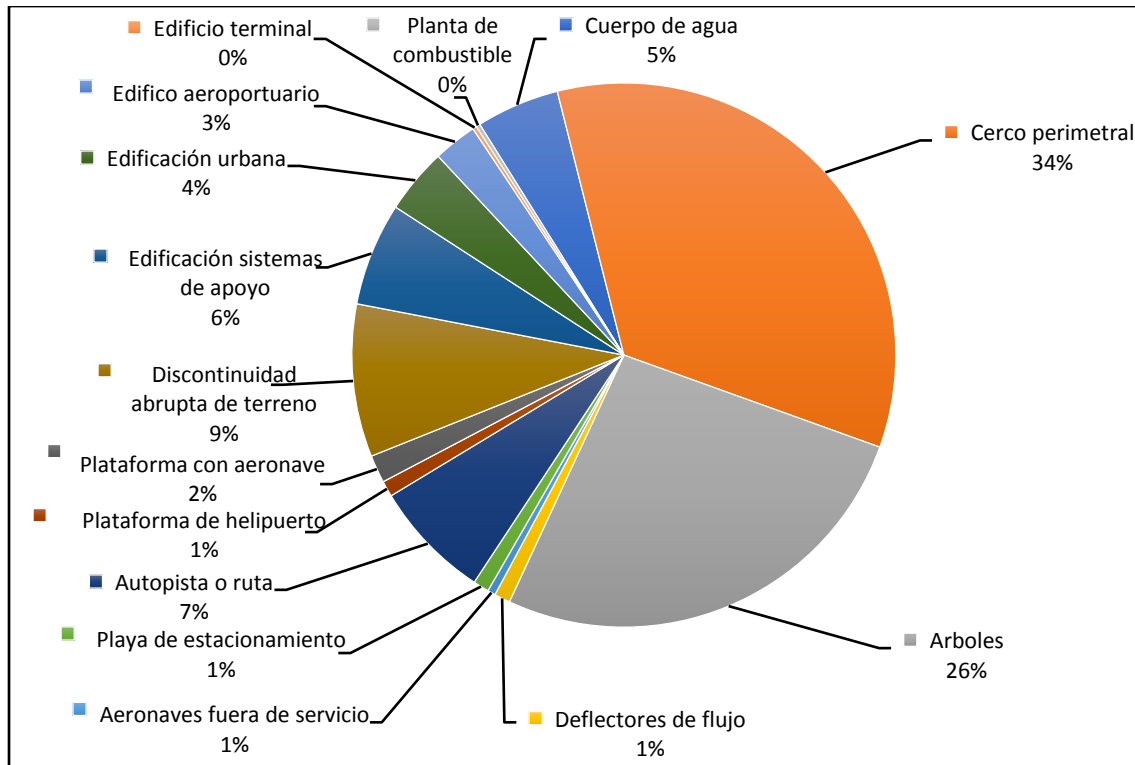


Figura 59: Porcentaje de peligros identificados en la región. Fuente: Elaboración propia.

En base a estos números, se puede observar que claramente hay una 60% de los peligros identificados que está dominado por solamente dos peligros. El primero de ellos es el cerco perimetral, el cual representa un 34% de los peligros identificados, seguido por arboles los cuales representan un 26% de los mismos. El resto de los peligros identificados se distribuyen en el 40% restante, donde algunos de ellos tienen una mayor relevancia como lo son discontinuidad abrupta de terreno con un 9%, seguido por autopista o ruta con un 7% y edificaciones de sistemas de apoyo con un 6%.

Por otro lado, teniendo en cuenta que a cada uno de los peligros se le asignó una ubicación determinada según la discretización de cuadrantes en la Figura 60 que se presenta a continuación se puede evidenciar cuáles fueron los cuadrantes que se vieron más comprometidos en este análisis.

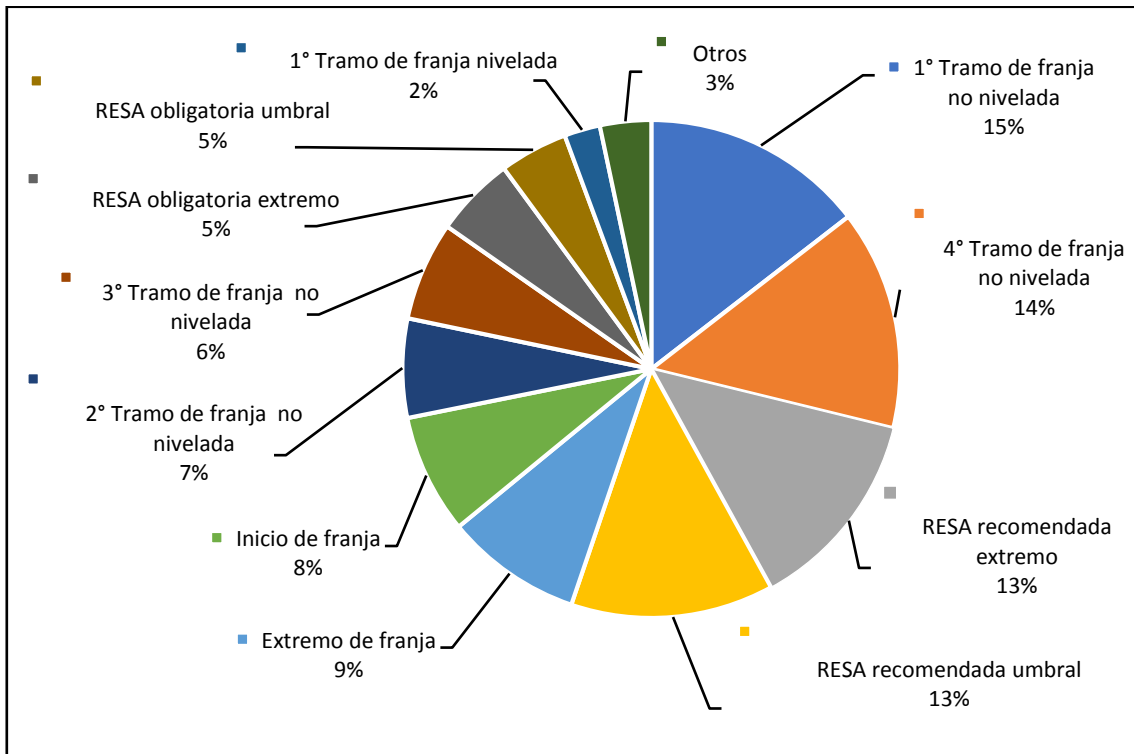


Figura 60: Porcentaje de cuadrantes afectados en la región. Fuente: Elaboración propia.

Respecto al gráfico anterior se puede evidenciar claramente que, los sectores más vulnerados por los peligros identificados son, el primer tramo de franja (15%), luego el cuarto tramo de franja (14%) y seguido por las RESAS obligatoria y recomendada de extremo de pista (cada una 13%). Para comprender mejor estos últimos datos presentados a continuación se muestra una imagen de referencia con cada uno de los sectores mencionados.

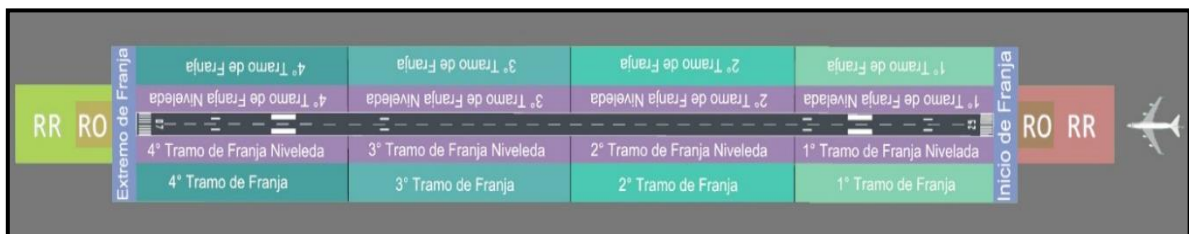


Figura 61: Referencia de sectores analizados en el entorno de pista. Fuente: elaboración propia.

Otra manera posible de interpretar el análisis llevado a cabo para la región SAM, es visualizar a cada uno de los aeropuertos evaluados, evidenciando la cantidad de peligros

identificados, pero esta vez relacionados a la cantidad de operaciones de cada uno de ellos. Esta relación se puede ver en la Figura 62 que se presenta a continuación.

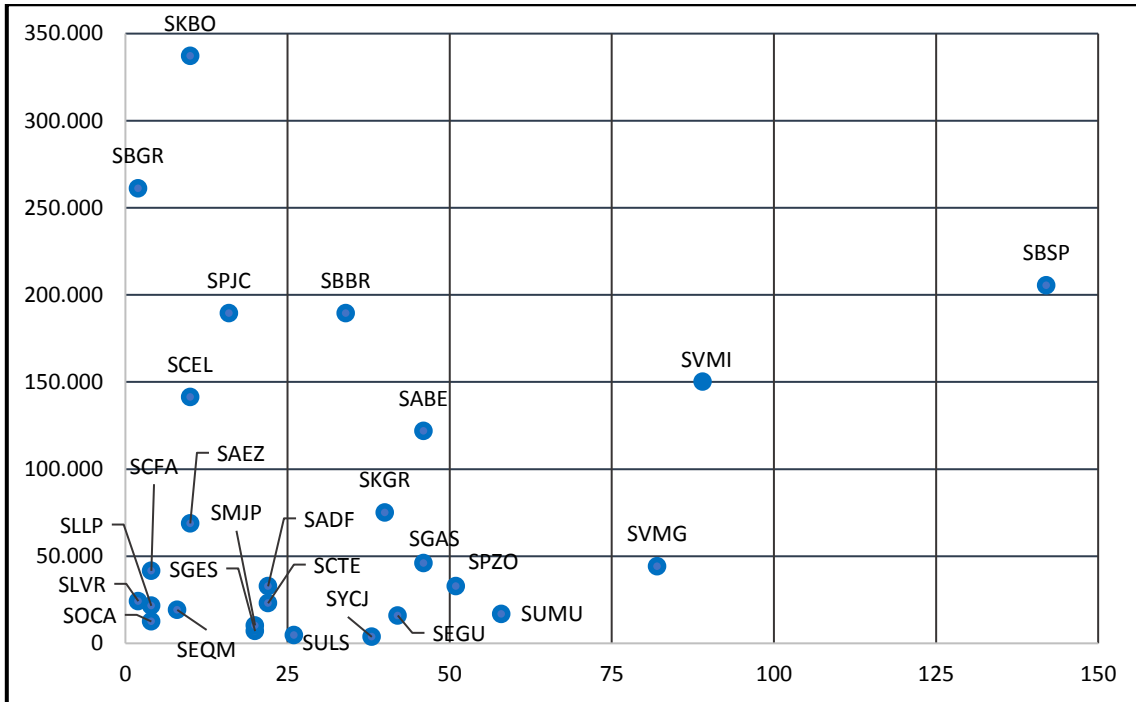


Figura 62: Cantidad de peligros vs cantidad de operaciones por aeropuerto. Fuente: Elaboración propia.

Mediante este análisis, lo que se busca es evidenciar si existe una relación directa entre la cantidad de peligros y la cantidad de operaciones. Pero como se puede ver en la dispersión de puntos no hay ninguna tendencia marcada, dado que existen aeropuertos con más de 200.000 operaciones que prácticamente no tienen peligros evidenciados como lo son SCEL, SBBR o SPJC, mientras que para una cantidad de operaciones similar SBSP, es el aeropuerto con mayor cantidad de riesgos identificados.

7.2 Presentación de herramienta

A continuación, se presenta la herramienta desarrollada, la cual combina de manera sencilla, rápida y eficaz, mediante una interfaz amigable en Excel, cada uno de los modelos, análisis y criterios utilizados en el desarrollo del presente trabajo.

La interfaz de la herramienta es la que se muestra a continuación en la Figura 63, la misma permite al usuario poder seleccionar dentro de tres menús desplegables que le permiten clasificar el riesgo identificado.

SEVERIDAD		
IDENTIFICACION DEL PELIGRO	<input type="text"/>	Ponderación de peligro A DEFINIR
UBICACIÓN DEL PELIGRO	<input type="text"/>	Ponderación de ubicación A DEFINIR
AERONAVE	<input type="text"/>	Ponderación de aeronave A DEFINIR
SEVERIDAD	#VALUE!	#VALUE!
PROBABILIDAD		
PROBABILIDAD FINAL	Calculo automatico según ubicación del peligro	Probabilidad final A DEFINIR

Figura 63: Interfaz de herramienta desarrollada para identificación de riesgo preliminar. Fuente: elaboración propia.

A continuación, en la Figura 64 se muestra un esquema, el cual representa los datos necesarios de entrada que el usuario debe completar para que la herramienta pueda asignar un nivel de probabilidad y severidad al peligro.



Figura 64: Esquema de inputs necesarios para la herramienta. Fuente: elaboración propia.

Lo primero que debe hacer el usuario, es seleccionar los tres casilleros blancos, los cuales son entradas obligatorias y se corresponden con los factores relevantes analizados. Hecho esto, la herramienta devuelve tanto una estimación de severidad como de probabilidad.

La primera selección que el usuario de la herramienta debe llevar a cabo, representa el tipo de peligro y como se puede ver en la Figura 65, la herramienta permite elegir dentro de un listado con los peligros que fueron ya previamente identificados.

The image shows a software interface titled "SEVERIDAD". It is divided into several horizontal sections. The top section is "IDENTIFICACION DEL PELIGRO" with a dropdown menu. The second section is "UBICACION DEL PELIGRO" with a dropdown menu showing options: "Cercos perimetrales", "Aeronaves fuera de servicio", "Edificación sistemas de apoyo", "Arboles", "Deflectores de flujo", "Cuerpo de agua", "Discontinuidad abrupta de terreno", and "Edificación urbana". To the right of this dropdown is a "Ponderación de ubicación" section with a button "A DEFINIR". The third section is "AERONAVE" with an empty input field and a button "A DEFINIR". The fourth section is "SEVERIDAD" with two input fields containing "#¡VALOR!". The bottom section is "PROBABILIDAD" with a "Cálculo automático" section containing a button "A DEFINIR" and a "Probabilidad final" section containing an input field with "#¡VALOR!".

Figura 65: Selección del tipo de peligro. Fuente: elaboración propia.

Como se puede observar en el siguiente diagrama de flujo, el cual muestra las posibilidades de selección del tipo de peligro, existe una opción denominada "Otro peligro". Esta, brinda al usuario la posibilidad de incorporar un nuevo peligro que no haya sido identificado previamente. Para ello, una vez seleccionada esta opción, se debe completar otra sección de la planilla, la cual se muestra en la Figura 66, donde se tiene que definir las características del nuevo peligro.

The image shows a software interface titled "DEFINICION PELIGRO DESCONOCIDO". It has a yellow background. At the top, it says "CARACTERISTICAS QUE SE DEBEN DEFINIR SOLAMENTE SI EL PELIGRO NO ESTA DEFINIDO EN LA LISTA ANTERIOR". Below this, there are four input fields: "FRANGIBILIDAD", "NIVELACION DE TERRENO", "SUMA VIDAS TERCERAS", and "EXPLOSIVO". A green arrow points down to the "FRANGIBILIDAD" field. To the right of these fields is a "Ponderación de peligro desconocido" section with a large input field containing "#¡VALOR!".

Figura 66: Interfaz para la identificación de nuevo peligro. Fuente: elaboración propia.

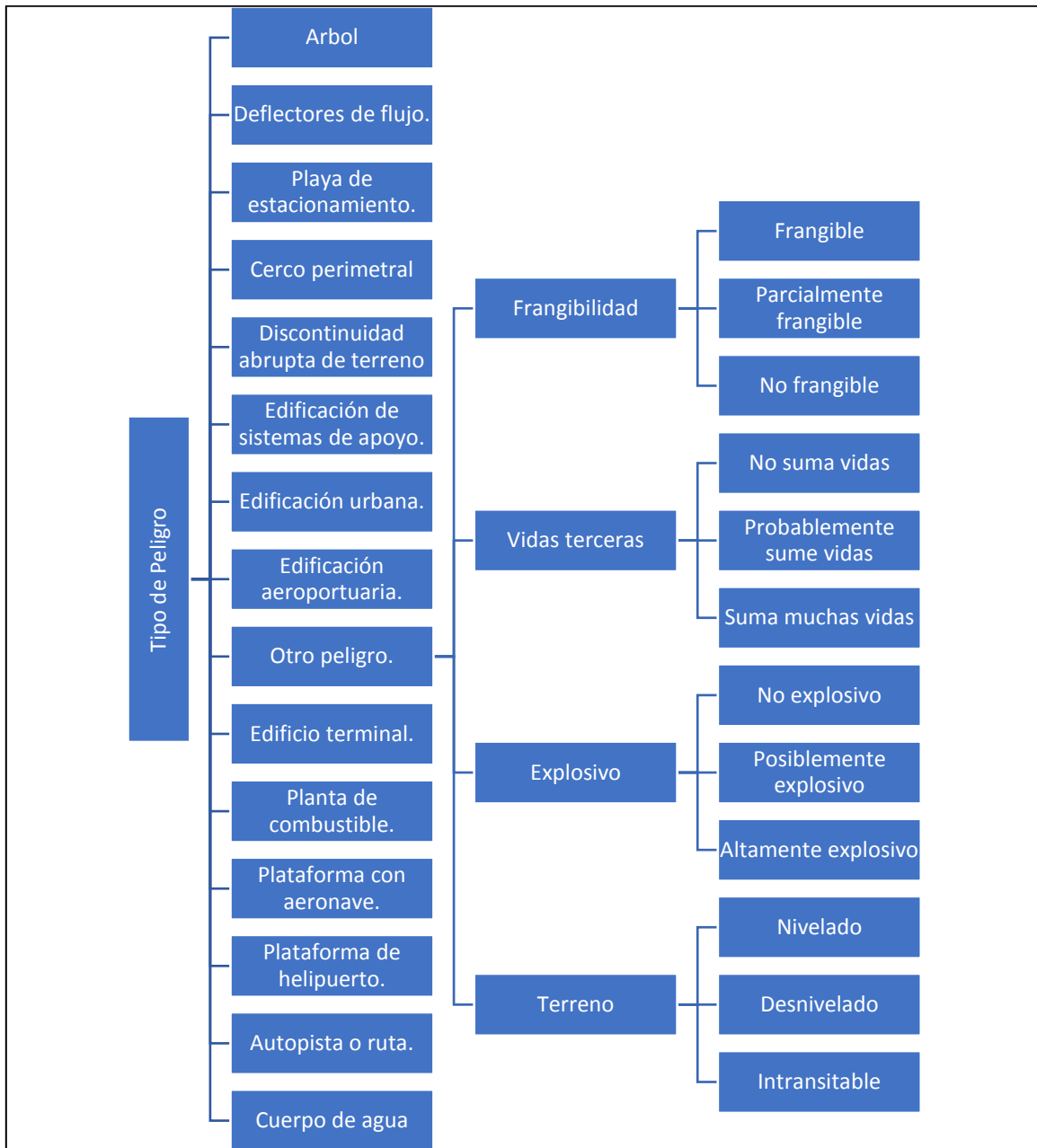


Figura 67: Esquema menú de selección Tipo de Peligro. Fuente: elaboración propia.

Por otra parte, la segunda selección que debe hacer el usuario, es determinar cuál es la ubicación del peligro identificado. Para ello, en base a la discretización llevada a cabo, se debe seleccionar en que cuadrante está situado el peligro identificado. Esta entrada, no solo es contemplada para el cálculo de la severidad, sino que también es relevante para que la herramienta haga el cálculo de la probabilidad correspondiente. La Figura 68 a

continuación, muestra el listado con las opciones disponibles, las cuales se detallan luego de la misma en el diagrama de flujo siguiente.

The screenshot shows a web-based interface for calculating operational severity. It is organized into several sections:

- SEVERIDAD** (Severity):
 - IDENTIFICACION DEL PELIGRO** (Danger Identification): A text input field.
 - UBICACION DEL PELIGRO** (Danger Location): A dropdown menu with a tooltip that reads: "Ubicación del peligro de peligro. Se debe definir el cuadrante de ubicación del peligro sin diferenciar entre izquierda o derecha, de modo a su simetría respecto al eje de pista." The dropdown is currently open, showing a list of options.
 - AERONAVE** (Aircraft): A dropdown menu with options: "RESA RECOMENDADA UMBRAL", "RESA OBLIGATORIA UMBRAL", "INICIO DE FRANJA", "1º TRAMO FRANJA", "1º TRAMO FRANJA NIVELADA", "2º TRAMO FRANJA", "2º TRAMO FRANJA NIVELADA", and "3º TRAMO FRANJA NIVELADA".
 - SEVERIDAD** (Severity): Two input fields, both containing "#¡VALOR!".
- PROBABILIDAD** (Probability):
 - PROBABILIDAD FINAL** (Final Probability): A section with a "Calculo automatico" button (containing "A DEFINIR") and a "Probabilidad final" input field (containing "#¡VALOR!").

Figura 68: Selección de la ubicación de peligro. Fuente: elaboración propia.

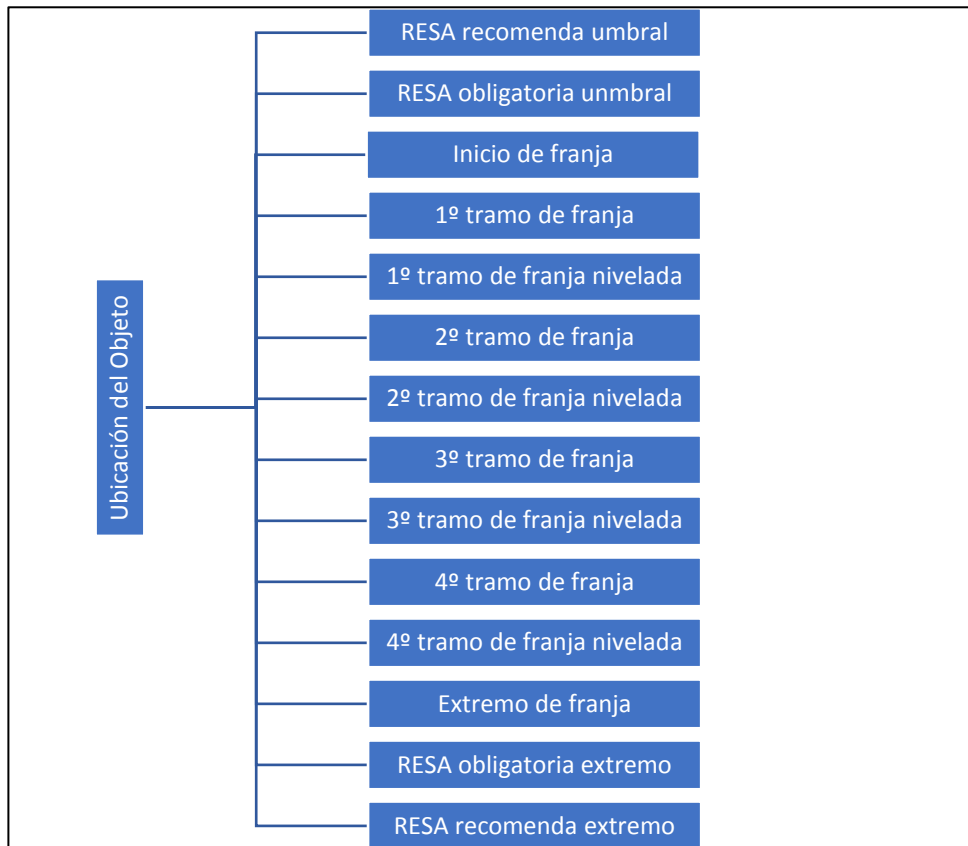


Figura 69: Esquema menú de selección Ubicación del Peligro. Fuente: elaboración propia.

Para finalizar, la tercera y última opción que el usuario debe introducir en la herramienta es el tipo de aeronave que podría verse involucrada en el eventual accidente. La Figura 70 que se muestra a continuación, muestra el listado correspondiente a este factor, y a continuación de la misma se muestra el diagrama de flujo con cada una de las opciones posibles.

SEVERIDAD	
IDENTIFICACION DEL PELIGRO	<input type="text"/>
UBICACION DEL PELIGRO	<input type="text"/> A DEFINIR
AERONAVE	<input type="text"/> A DEFINIR
SEVERIDAD	<input type="text"/> #¡VALOR!
PROBABILIDAD	
PROBABILIDAD FINAL	<input type="text"/> #¡VALOR!

Figura 70: Selección de aeronave involucrada. Fuente: elaboración propia.

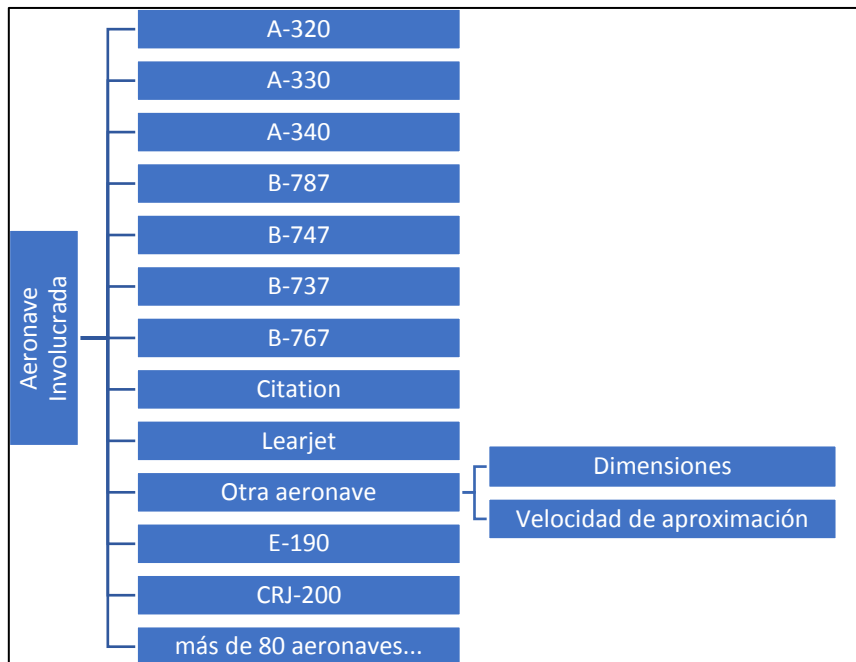


Figura 71: Esquema menú de selección tipo de aeronave involucrada. Fuente: elaboración propia

Cabe destacar que como se puede ver en el diagrama de flujo anterior, al igual que ocurrió con el tipo de peligro, esta tercera selección también incluye una opción donde el usuario puede seleccionar una “Otra Aeronave” que no haya sido analizada previamente. De este modo el usuario debe completar en la interfaz que se muestra a continuación las características solicitadas de la nueva aeronave.

Figura 72: Interfaz para la incorporación de nueva aeronave. Fuente: elaboración propia.

De esta manera, al finalizar de completar todos los campos necesarios, el usuario obtiene el resultado directo tanto de la severidad como de la probabilidad, resaltando con una escala de colores que destaca a que nivel pertenece el peligro analizado. Esta escala de colores es la que se presenta a continuación.

Insignificante	Menor	Mayor	Peligroso	Catastrofico
0 a 19	20 a 39	40 a 59	60 a 79	Mayor a 80

Figura 73: niveles de severidad, con escala de colores. Fuente: elaboración propia.

Extremadamente improbable	Extremadamente remoto	Remoto	Ocasional	Frecuente
Menor a 10^{-9}	10^{-9} a 10^{-7}	10^{-7} a 10^{-5}	10^{-5} a 10^{-3}	Mayor 10^{-3}

Figura 74: Niveles de probabilidad con escala de colores. Fuente: elaboración propia.

A modo de ejemplo, la Figura 75 muestra los resultados concretos para el caso de una discontinuidad abrupta de terreno, ubicada en el 2° tramo de franja nivelada, operando con un Boeing 787; donde la herramienta determina una severidad catastrófica y una probabilidad extremadamente remota.

SEVERIDAD		
IDENTIFICACION DEL PELIGRO	Discontinuidad abrupta de terreno	Ponderación de peligro 7
UBICACIÓN DEL PELIGRO	2° TRAMO FRANJA	Ponderación de ubicación 13
AERONAVE	B787	Ponderación de aeronave 7
SEVERIDAD	237	CATASTROFICO
PROBABILIDAD		
PROBABILIDAD FINAL	Calculo automatico 1,48792E-08	Probabilidad final EXTREMADAMENTE REMOTO

Figura 75: Ejemplo de utilización de herramienta. Fuente: elaboración propia.

Es importante destacar que, la herramienta es capaz de determinar la severidad y la probabilidad del peligro identificado, pero no analiza el riesgo del mismo dado a la diversidad que tiene cada país respecto a la tolerabilidad distinta a cada peligro como se explicó en la sección 5.5.1.

7.3 Ejercicio de aplicación y validación

Con el fin de aplicar la herramienta y mostrar todos los pasos hasta obtener el análisis correspondiente, se procede a evaluar un aeropuerto adicional a los 26 ya analizados. Este aeropuerto es el Aeropuerto de El Palomar (SADP), y el mismo se evalúa debido al presente contexto en el que se encuentra involucrado. Según sostuvieron fuentes periodísticas de Argentina [25][26], dos aerolíneas de bajo costo (Flybondi y Norwegian) próximamente operaran en el país, y tienen pensado establecer como base operativa las instalaciones de El Palomar. Por lo tanto, viendo que las operaciones en dicho aeropuerto se verán fuertemente incrementadas a corto plazo, se considera necesario hacer el estudio preliminar de riesgos del mismo.

El primer paso para la evaluación de riesgo del aeropuerto mencionado consta de construir los correspondientes modelos 3D para cada una de las distancias declaradas del aeropuerto y visualizarlo con las imágenes satelitales para identificar los peligros.

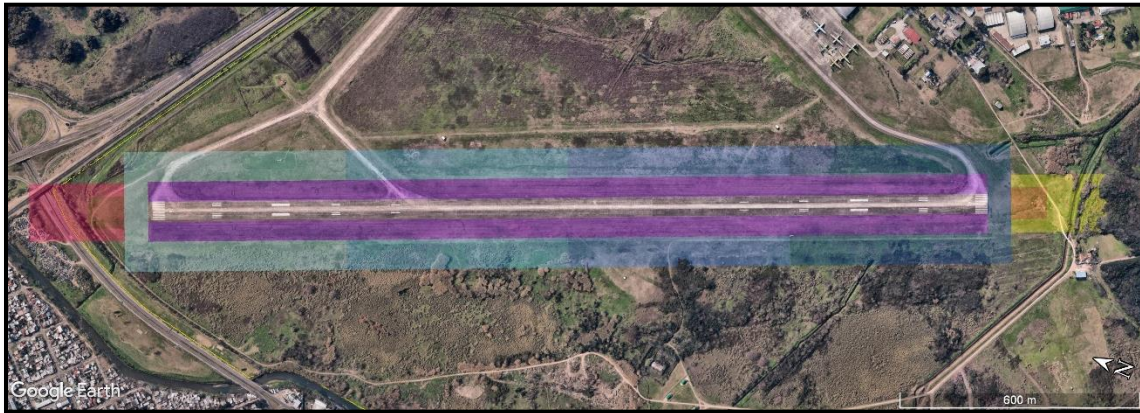


Figura 76: Visualización de modelo sobre El Palomar, pista 16. Fuente: Elaboración propia.



Figura 77: Visualización de modelo sobre El Palomar, pista 34. Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se muestran una serie de imágenes donde se puede evidenciar con más detalle algunos de los peligros identificados.



Figura 78: Autopista, cerco perimetral, árboles y desarmadero en RESA recomendada. Fuente: elaboración propia.



Figura 79: Arboles y discontinuidades abruptas de terreno en franja y RESA recomendada. Fuente: elaboración propia.



Figura 80: Arboles, discontinuidad abrupta de terreno y edificación de sistemas de apoyo. Fuente: elaboración propia.

A continuación, se muestra en la Tabla 13, todos los peligros identificados, considerando que fueron diferenciados según el sentido de operación. En la misma se

puede ver la ubicación del peligro, la severidad y la probabilidad asignada a través de la herramienta desarrollada y además se agregó un código de identificación que distingue tanto el sentido de operación como el peligro identificado con el fin de luego poder compararlos fácilmente.

Tabla 13: Identificación de peligros caso de aplicación SADP. Fuente: elaboración propia.

Peligros Identificados Aeropuerto El Palomar					
Tipo de peligro	Ubicación	Pista	Severidad	Probabilidad	Identificación
Autopista o ruta	1 RR	16	PELIGROSO	0,00E+00	sadp16-01
Cerco perimetral	1 RR	16	MENOR	0,00E+00	sadp16-02
Arboles	1 RR	16	MENOR	0,00E+00	sadp16-03
Discontinuidad abrupta de terreno	1 RR	16	MAYOR	0,00E+00	sadp16-04
Desarmadero de vehículos *	1 RR	16	MAYOR	0,00E+00	sadp16-05
Discontinuidad abrupta de terreno	1 RO	16	MAYOR	0,00E+00	sadp16-06
Arboles	2 EF	16	MENOR	0,00E+00	sadp16-07
Discontinuidad abrupta de terreno	2 EF	16	MAYOR	0,00E+00	sadp16-08
Arboles	2 FD	16	MENOR	7,83E-09	sadp16-09
Edificación sistemas de apoyo	2 FI	16	MENOR	7,83E-09	sadp16-10
Arboles	3 FD	16	CATASTROFICO	1,49E-08	sadp16-11
Arboles	4 FD	16	CATASTROFICO	8,71E-09	sadp16-12
Arboles	5 FD	16	MAYOR	5,09E-09	sadp16-13
Arboles	5 EF	16	MAYOR	4,51E-08	sadp16-14
Discontinuidad abrupta de terreno	5 EF	16	PELIGROSO	4,51E-08	sadp16-15
Arboles	6 RR	16	MAYOR	2,25E-08	sadp16-16
Discontinuidad abrupta de terreno	6 RR	16	PELIGROSO	2,25E-08	sadp16-17
Edificación sistemas de apoyo	6 RR	16	MAYOR	2,25E-08	sadp16-18
Autopista o ruta	6 RR	34	CATASTROFICO	2,25E-08	sadp34-01
Cerco perimetral	6 RR	34	MAYOR	2,25E-08	sadp34-02
Arboles	6 RR	34	MAYOR	2,25E-08	sadp34-03
Discontinuidad abrupta de terreno	6 RR	34	PELIGROSO	2,25E-08	sadp34-04
Desarmadero de vehículos *	6 RR	34	PELIGROSO	2,25E-08	sadp34-05
Discontinuidad abrupta de terreno	6 RO	34	PELIGROSO	2,25E-08	sadp34-06
Arboles	5 EF	34	MAYOR	2,25E-08	sadp34-07
Discontinuidad abrupta de terreno	5 EF	34	PELIGROSO	2,25E-08	sadp34-08
Arboles	5 FI	34	MAYOR	2,25E-08	sadp34-09
Edificación sistemas de apoyo	5 FD	34	MAYOR	2,25E-08	sadp34-10
Arboles	4 FI	34	MAYOR	3,10E-08	sadp34-11
Arboles	3 FI	34	CATASTROFICO	4,51E-08	sadp34-12
Arboles	2 FI	34	CATASTROFICO	4,51E-08	sadp34-13

Peligros Identificados Aeropuerto El Palomar					
Tipo de peligro	Ubicación	Pista	Severidad	Probabilidad	Identificación
Arboles	2 EF	34	MENOR	5,09E-09	sadp34-14
Discontinuidad abrupta de terreno	2 EF	34	MAYOR	5,09E-09	sadp34-15
Arboles	1 RR	34	MENOR	8,71E-09	sadp34-16
Discontinuidad abrupta de terreno	1 RR	34	MAYOR	1,49E-08	sadp34-17
Edificación sistemas de apoyo	1 RR	34	MENOR	7,83E-09	sadp34-18

* fue considerado como playa de estacionamiento

Es importante destacar que, como se ve en la tabla anterior, para los peligros ubicados en cuadrantes previos al umbral, la probabilidad asignada es 0. Esto se debe a que técnicamente, ese accidente sería un Undershoot y no es considerado como una excursión de pista. Pero para el mismo peligro ubicado en el mismo cuadrante, operando en sentido contrario, la herramienta sí asigna un valor de probabilidad dado que sería un Overrun.

De esta manera, con cada uno de los peligros identificados, con su correspondiente ubicación, y habiéndole asignado un valor de probabilidad y una severidad mediante la herramienta desarrollada a cada uno de ellos, el siguiente paso es presentarlos en una matriz de riesgo para evidenciar cual es la tolerancia al riesgo de cada uno de ellos. Dado a que el aeropuerto analizado está emplazado en territorio argentino, se usa como matriz de referencia la recomendada por ANAC [17]. Para facilitar la lectura de los datos en dicha matriz, dado que mucho de ellos tienen valores cercanos entre sí, se construye una matriz para cada una de las pistas operativas.

MATRIZ DE RIESGO SADM PISTA 16 (id peligros)		SEVERIDAD				
		CATASTROFICO	PELIGROSO	MAYOR	MENOR	INSIGNIFICANTE
PROBABILIDAD	FRECUENTE					
	OCASIONAL					
	REMOTO					
	IMPROBABLE	11	15; 17	14; 16; 18		
	EXTREMADAMENTE IMPROBABLE	12	01	04; 05; 06; 08; 13	02; 03; 07; 09; 10	

Figura 81: Matriz de riesgo - Pista 16 SADP. Fuente: elaboración propia.

MATRIZ DE RIESGO SADM PISTA 34 (id peligros)		SEVERIDAD				
		CATASTROFICO	PELIGROSO	MAYOR	MENOR	INSIGNIFICANTE
PROBABILIDAD	FRECUENTE					
	OCASIONAL					
	REMOTO					
	IMPROBABLE	01; 12; 13	04; 05; 06; 08	02; 03; 07; 09 10; 11; 17		
	EXTREMADAMENTE IMPROBABLE			15	14; 16; 18	

Figura 82: Matriz de riesgo - Pista 34 SADP. Fuente: elaboración propia.

Es importante destacar que, la identificación utilizada es capaz de distinguir según el tipo de operación, pero sin embargo el indicativo final, es igual para un mismo peligro independientemente de su operación. Esto hace posible que se pueda evidenciar como un mismo peligro puede significar un riesgo mayor en un sentido de operación, pero puede no significar mucho para el sentido de operación contrario.

8. CONCLUSIONES

Como primera conclusión se puede decir que los resultados del análisis indican una evidente diferencia del nivel de riesgo asociado a un mismo peligro dependiendo del sentido de operación de pista. Esto es muy importante para el operador del aeropuerto, dado que se puede optar por buscar medidas que busquen mitigar dicho riesgo mediante limitaciones operativas.

Por otro lado, es de suma importancia conocer los criterios de cada autoridad aeronáutica involucrada en un análisis de riesgo. Como se mencionó anteriormente, cada autoridad define su tolerabilidad al riesgo implicado en base a consideraciones propias, como así también del escenario de peligro y del tipo de actividad desarrollada. Por lo tanto, para los aeropuertos emplazados en diferentes países, un mismo peligro identificado, inclusive ubicado en un mismo cuadrante, puede requerir acciones inmediatas para bajar el nivel de riesgo, o bien puede significar un riesgo aceptable, simplemente por cambiar el nivel de tolerabilidad del riesgo, acorde al grupo de expertos interviniente y a la autoridad aeronáutica competente.

En los resultados presentados se aprecia que, los peligros más frecuentes de encontrar en la región son peligros como cercos perimetrales (34%), arboles (26%), mientras el porcentaje restante (40%) se divide entre los peligros restantes, haciendo que otros peligros asociados a una mayor severidad no tengan relevancia para la región con porcentajes inferiores al 2% como lo son edificios terminales o de combustible.

Por otro lado, se puede concluir que la cantidad de operaciones no es un factor influyente respecto a la cantidad de peligros identificados, ya que no se evidenció tendencia alguna entre estos aspectos. Existen aeropuertos en la región que tienen más de 200.000 operaciones anuales los cuales tienen menos de 10 peligros identificados, mientras que otros tienen más de 140, mientras que la diferencia también sucede para aeropuertos de bajo movimiento.

Sin embargo, se puede decir que para el 100% de los aeropuertos analizados se identificó al menos un peligro, ninguno está exento de peligros. Por lo tanto, esto pone en evidencia que, para la región completa de América del Sur, es necesario proyectar nuevos estudios aeronáuticos que permitan definir los riesgos y los niveles de tolerabilidad acordes, para que los aeropuertos puedan cumplir satisfactoriamente con los requerimientos y normativas vigentes.

Esta condición de los aeropuertos de la región, también pone en evidencia en cierta manera, la falta de planificación tanto en respecto del entorno urbano del aeropuerto como así también respecto a la competencia contra su propia expansión, dado que muchos peligros identificados fueron propios del aeropuerto.

9. TRABAJOS FUTUROS

Para continuar el presente desarrollo en materia de seguridad operacional, una línea de trabajo en la cual se puede seguir avanzando es la posibilidad de incorporar a la herramienta desarrollada, la posibilidad de calcular el riesgo final. Para ello es indispensable poder identificar la matriz de riesgo recomendada por cada una de las autoridades aeronáuticas de casa país involucrado. Conociendo cada una de ellas, la herramienta podría tener anexando un listado donde se seleccione en qué país se está trabajando, y de esta manera pueda detectar el nivel de riesgo asociado.

Por otro lado, con el fin de mejorar el nivel de detalle y poder tener mayor precisión de la probabilidad asociada a un peligro determinado, se podría establecer una discretización de la pista mucha más reducida. De esta manera cada cuadrante tendría una probabilidad más acotada y certera que con la discretización actual utilizada.

También como complemento futuro de la herramienta, se podría modificar el imput correspondiente a la aeronave involucrada, haciendo que éste sea tome como referencia la clave de referencia de la flota haciéndolo más genérico. Los aeropuertos habitualmente disponen de esta información, y por lo tanto, sin saber específicamente que aeronave es, la herramienta podría llevar a cabo el análisis de riesgo simplemente conociendo la clave de referencia de la flota que opera en el aeropuerto.

10. BIBLIOGRAFIA

- [1] OACI, “Tablas relativas al mundo del transporte aéreo en 2015,” 2015.
- [2] Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), “Situación de la seguridad operacional de la aviación mundial,” 2011.
- [3] Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), “Informe de seguridad operacional,” 2015.
- [4] Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), “Situación de la seguridad operacional de la aviación mundial,” 2013.
- [5] Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), “Safety Report,” 2016.
- [6] International Air Transport Association (IATA), “Annual Review 2016,” 2016.
- [7] IATA, “Regional Safety Workshop Risk Reduction.”
- [8] International Air Transport Association (IATA), *Safety Report 2009-2013*. 2013.
- [9] International Air Transport Association (IATA), *Safety Report 2012-2016*, no. April. 2017.
- [10] OACI, *ANEXO 14 - Aeródromos - Volumen I*. 2016.
- [11] T. Known and G. Reinforced, “Yeager Airport Runway Extension,” no. October, 2010.
- [12] T. A. Herald, “Accident: PSA Airlines CRJ2 at Charleston on Jan 19th 2010, overran runway on takeoff,” pp. 1–8, 2010.
- [13] Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), *Safety Management Manual (SMM)*. 2013.
- [14] FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION (FAA), “Safety Risk Management Policy This.”
- [15] AESA (Agencia Estatal de Seguridad Aérea), “ELABORACIÓN DE LOS ESTUDIOS DE SEGURIDAD - REGLAMENTO (UE) N° 139/2014,” pp. 1–32, 2014.

- [16] Reglamento Aeronáutico Latinoamericano, “LAR 153 - Operación de Aerodromos,” 2017.
- [17] A. N. de A. C. (ANAC), “Regulaciones Argentinas de Aviación Civil - Parte 153 - Operación de Aerodromos,” 2016.
- [18] G. de A. C. e I. A. (DINACIA) Dirección, “PROCEDIMIENTO PARA LA ACTUALIZACION Y SEGUIMIENTO DE LAS DEFICIENCIAS DE LA NAVEGACIÓN AÉREA,” pp. 1–26.
- [19] D. G. D. A. C. D. P. (DGAC), “CRITERIOS PARA EVALUAR LA GESTIÓN DE RIESGOS DEL SOLICITANTE DE UNA EXENCIÓN,” pp. 1–12, 2014.
- [20] Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), *Anexo 14 - Aeródromos - Volumen I*. 2016.
- [21] Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), “Tablas relativas al mundo del transporte aéreo en 2015,” 2015.
- [22] E. M. Brito, “Estudio y Caracterización de Accidentes Aéreos: Excursiones de Pista.” 2015.
- [23] Airport Cooperative Research Program (ACRP), *Development of a Runway Veer-Off Location Distribution Risk Assessment Model and Reporting Template*. 2014.
- [24] Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), “Manual de diseño de aeródromos - Volumen II,” 2005.
- [25] L. Nación, “Norwegian avanza con su modelo low cost en la Argentina y quiere volar desde El Palomar,” *La Nación*, pp. 10–12, 2017.
- [26] “Presentan el plan para relanzar el aeropuerto de El Palomar,” *La Nación*, pp. 2–4, 2018.
- [27] The Aviation Herald, “Crash: Germanwings A320.,” 2015.
- [28] The Aviation Herald, “Crash: Metrojet A321.,” 2015.

- [29] The Aviation Herald, "Crash: Malaysia B772 , aircraft missing, data indicate flight MH-370.," 2014.
- [30] The Aviation Herald, "Crash: Malaysia B772, aircraft was shot down from separatist controlled ground.," 2014.

11.APENDICE

11.1 Accidente Germanwings 9525

El vuelo 9525 de Germanwings (4U9525/GWI9525) del 24 de marzo de 2015 fue un vuelo internacional regular de pasajeros operado por un avión Airbus A320-211. Partió del aeropuerto de Barcelona-El Prat a las 10:01 (CET) hacia el aeropuerto Internacional de Düsseldorf con 144 pasajeros, 2 pilotos y 4 miembros de la tripulación. Se estrelló en el macizo de Estrop, en los Alpes franceses de Provenza, cerca de la localidad de Barcelonnette. Se trata de la peor catástrofe de la aviación europea en cinco años y el primer siniestro de una línea de bajo coste en la Unión Europea. Las autoridades francesas y alemanas y un portavoz de Germanwings han indicado que la caída de la aeronave fue provocada deliberadamente por el copiloto. [27]

11.2 Accidente Metrojet 9268

El vuelo 9268 de Kogalymavia (KGL 9268/7K9268) fue un vuelo chárter de pasajeros, entre el Aeropuerto Internacional de Sharm el-Sheij y el Aeropuerto Internacional Púlkovo en la ciudad rusa de San Petersburgo. El avión, con registro EI-ETJ, era un Airbus A321-231 que llevaba 217 pasajeros y siete tripulantes, y se estrelló 23 minutos después de despegar en la península del Sinaí, Egipto. El hecho tuvo lugar el 31 de octubre de 2015. Además de la tripulación, formada por 7 personas, 212 de las personas a bordo eran rusos, cuatro ucranianos y un bielorruso, en su mayoría turistas.

A mediados de noviembre de 2015 Rusia afirmó que el avión ruso que se estrelló en el Sinaí explotó debido a una bomba a bordo colocada por terroristas, según declaró el jefe del Servicio Federal de Seguridad, Alexánder Bortnikov. [28]

11.3 Accidente Malaysia Airlines 370

El vuelo 370 de Malaysia Airlines (MH370/MAS370), fue un vuelo internacional regular de pasajeros desaparecido el 8 de marzo de 2014, operado por un Boeing 777-200 que llevaba 227 pasajeros y una tripulación de 12 personas.

Desde el momento en el que se perdió contacto con el avión se inició y desarrolló una operación de búsqueda y rescate que ha sido considerada la más larga de la historia, así como una de las operaciones de investigación y búsqueda más difíciles y costosas de la historia de la aviación. [29]


11.4 Accidente Malaysia Airlines 17




El vuelo 17 de Malaysia Airlines (MH17/MAS17) del 17 de julio de 2014 fue un vuelo internacional regular de pasajeros operado por un avión Boeing 777-200ER. Partió del aeropuerto de Ámsterdam-Chipola (Países Bajos) a las 12:14 (CEST) hacia el aeropuerto Internacional de Kuala Lumpur (Malasia) con 283 pasajeros y 15 miembros de la tripulación. Se estrelló en la villa de Grábovo, 40 kilómetros de la frontera con Rusia. Funcionarios de inteligencia estadounidenses dijeron que un misil tierra-aire había sido el causante del accidente, pero no se han confirmado los autores.

Fue el segundo incidente de la línea aérea en menos de cinco meses, a raíz de la desaparición del vuelo 370 a principios de marzo de 2014. Con 283 pasajeros y 15 tripulantes fallecidos, se trata del mayor accidente de la aerolínea, superando al vuelo 370. [30].

11.5 Tablas de aeropuertos analizados

A continuación, se muestran todas las planillas completadas para cada uno de los aeropuertos analizados, las cuales complementan a la sección 6.4 de identificación de peligros.

02 - Aeropuerto Internacional de São Paulo - Guarulhos				
				
Nombre	Guarulhos			
Código OACI / IATA	SBGR/GRU			
Emplazamiento	San Pablo, Brasil			
Clave de referencia (número)	4			
Total de operaciones anuales	261076			
Características de las pistas				
Designación	09L	27R	09R	27L
TORA	3.700	3.700	3.000	3.000
TODA	3.700	3.700	3.300	3.000
ASDA	3.760	3.760	3.060	3.060
LDA	3.610	3.640	3.000	3.000
SWY	60	60	60	60
CWY	0	0	300	0
Ancho	45 m	45 m	45 m	45 m
Sistema de aproximación	ILS CAT2	ILS CAT1	ILS CAT2	ILS CAT1
Peligros Identificados				
Tipo de peligro	Ubicación		Pista	
Arboles	5 FI		09L	

Arboles	2 FD	27R
		

03 - Aeropuerto de Congonhas



Nombre	Congonhas			
Código OACI / IATA	SBSP/GGH			
Emplazamiento	San Pablo, Brasil			
Clave de referencia (número)	3			
Total de operaciones anuales	205.407			
Características de las pistas				
Designación	17L	35R	17R	35L
TORA	3.700	1.435	1.940	1.940
TODA	3.700	1.435	1.940	1.940
ASDA	3.760	1.435	1.940	1.940
LDA	3.610	1.435	1.810	1.880
SWY	0	60	0	0
CWY	0	0	0	0
Ancho	45 m	45 m	45 m	45 m
Sistema de aproximación	INP	INP	ILS CAT1	INP
Peligros Identificados				
Tipo de peligro	Ubicación		Pista	
Arboles	4 FI		17L	
Arboles	5 FI		17L	
Arboles	6 RO		17L	
Arboles	6 RR		17L	
Autopista o ruta	1 RR		17L	
Autopista o ruta	2 EF		17L	
Autopista o ruta	2 FI		17L	

Desarrollo de una herramienta de análisis de seguridad operacional en franja de pista mediante modelos probabilísticos de accidente por excursiones de pista. | Federico Pinto

Cerco Perimetral	2 EF	17L
Cerco Perimetral	2 EF	17L
Discontinuidad abrupta de terreno	1 RO	17L
Discontinuidad abrupta de terreno	1 RR	17L
Discontinuidad abrupta de terreno	2 EF	17L
Discontinuidad abrupta de terreno	5 FD	17L
Discontinuidad abrupta de terreno	5 FI	17L
Discontinuidad abrupta de terreno	5 ND	17L
Discontinuidad abrupta de terreno	5 NI	17L
Discontinuidad abrupta de terreno	6 RO	17L
Discontinuidad abrupta de terreno	6 RR	17L
Edificación urbana	2 EF	17L
Edificación urbana	4 FI	17L
Edificación urbana	5 FI	17L
Edificación urbana	6 RO	17L
Edificación urbana	6 RR	17L
Edificio aeroportuario	2 FD	17L
Edificio aeroportuario	2 FI	17L
Edificio aeroportuario	3 FI	17L
Edificio aeroportuario	4 FI	17L
Edificio aeroportuario	5 FI	17L
Cerco Perimetral	6 RO	17L
Cerco Perimetral	6 RR	17L
Cerco Perimetral	5 FI	17L
Cerco Perimetral	5 NI	17L
Cerco Perimetral	4 FI	17L
Cerco Perimetral	2 FI	17L
Cerco Perimetral	1 RO	17L
Cerco Perimetral	1 RR	17L
Arboles	2 EF	17R
Arboles	2 EF	17R
Arboles	2 FD	17R
Arboles	5 EF	17R
Arboles	5 FI	17R
Autopista o ruta	6 RO	17R
Autopista o ruta	1 RO	17R
Autopista o ruta	1 RR	17R
Autopista o ruta	2 EF	17R
Cerco Perimetral	2 FD	17R


Desarrollo de una herramienta de análisis de seguridad operacional en franja de pista mediante modelos probabilísticos de accidente por excursiones de pista. | Federico Pinto

Cerco Perimetral	1 RO	17R
Cerco Perimetral	1 RR	17R
Cerco Perimetral	2 FD	17R
Cerco Perimetral	2 FD	17R
Cerco Perimetral	2 ND	17R
Cerco Perimetral	5 EF	17R
Cerco Perimetral	5 FI	17R
Cerco Perimetral	6 RO	17R
Discontinuidad abrupta de terreno	6 RR	17R
Discontinuidad abrupta de terreno	1 RO	17R
Discontinuidad abrupta de terreno	1 RR	17R
Discontinuidad abrupta de terreno	2 FD	17R
Discontinuidad abrupta de terreno	2 FD	17R
Discontinuidad abrupta de terreno	2 FI	17R
Discontinuidad abrupta de terreno	2 ND	17R
Discontinuidad abrupta de terreno	2 NI	17R
Discontinuidad abrupta de terreno	5 EF	17R
Discontinuidad abrupta de terreno	5 FD	17R
Discontinuidad abrupta de terreno	5 FI	17R
Discontinuidad abrupta de terreno	6 RO	17R
Edificación urbana	6 RR	17R
Edificación urbana	2 EF	17R
Edificación urbana	6 RO	17R
Edificio aeroportuario	6 RR	17R
Edificio aeroportuario	2 FD	17R
Edificio aeroportuario	5 EF	17R
Arboles	1 RO	35R
Arboles	1 RR	35R
Arboles	2 FD	35R
Arboles	3 FD	35R
Autopista o ruta	5 EF	35R
Autopista o ruta	5 FD	35R
Autopista o ruta	6 RO	35R
Autopista o ruta	6 RR	35R
Cerco Perimetral	1 RO	35R
Cerco Perimetral	1 RR	35R
Cerco Perimetral	2 EF	35R
Cerco Perimetral	2 FD	35R
Cerco Perimetral	2 ND	35R

Desarrollo de una herramienta de análisis de seguridad operacional en franja de pista mediante modelos probabilísticos de accidente por excursiones de pista. | Federico Pinto

Cerco Perimetral	3 FD	35R
Cerco Perimetral	5 EF	35R
Cerco Perimetral	5 FD	35R
Cerco Perimetral	6 RO	35R
Cerco Perimetral	6 RR	35R
Discontinuidad abrupta de terreno	1 RO	35R
Discontinuidad abrupta de terreno	1 RR	35R
Discontinuidad abrupta de terreno	2 EF	35R
Discontinuidad abrupta de terreno	2 ND	35R
Discontinuidad abrupta de terreno	5 EF	35R
Discontinuidad abrupta de terreno	5 FD	35R
Discontinuidad abrupta de terreno	5 ND	35R
Discontinuidad abrupta de terreno	6 RO	35R
Discontinuidad abrupta de terreno	6 RR	35R
Edificación urbana	1 RO	35R
Edificación urbana	1 RR	35R
Edificación urbana	2 EF	35R
Edificación urbana	3 FD	35R
Edificación urbana	6 RR	35R
Edificio aeroportuario	2 FD	35R
Edificio aeroportuario	3 FD	35R
Edificio aeroportuario	4 FD	35R
Edificio aeroportuario	5 FD	35R
Arboles	1 RO	35L
Arboles	2 EF	35L
Arboles	2 FD	35L
Arboles	5 EF	35L
Arboles	5 FI	35L
Autopista o ruta	5 EF	35L
Autopista o ruta	5 FI	35L
Autopista o ruta	6 RO	35L
Autopista o ruta	6 RR	35L
Cerco Perimetral	1 RO	35L
Cerco Perimetral	1 RR	35L
Cerco Perimetral	2 EF	35L
Cerco Perimetral	2 FD	35L
Cerco Perimetral	5 FI	35L
Cerco Perimetral	5 FI	35L
Cerco Perimetral	5 NI	35L

Desarrollo de una herramienta de análisis de seguridad operacional en franja de pista mediante modelos probabilísticos de accidente por excursiones de pista. | Federico Pinto

Cerco Perimetral	6 RO	35L
Cerco Perimetral	6 RR	35L
Discontinuidad abrupta de terreno	1 RO	35L
Discontinuidad abrupta de terreno	1 RR	35L
Discontinuidad abrupta de terreno	2 EF	35L
Discontinuidad abrupta de terreno	2 FD	35L
Discontinuidad abrupta de terreno	2 FI	35L
Discontinuidad abrupta de terreno	5 FD	35L
Discontinuidad abrupta de terreno	5 FI	35L
Discontinuidad abrupta de terreno	5 FI	35L
Discontinuidad abrupta de terreno	5 ND	35L
Discontinuidad abrupta de terreno	5 NI	35L
Discontinuidad abrupta de terreno	6 RO	35L
Discontinuidad abrupta de terreno	6 RR	35L
Edificación urbana	1 RO	35L
Edificación urbana	1 RR	35L
Edificación urbana	5 EF	35L
Edificio aeroportuario	2 EF	35L
Edificio aeroportuario	5 FI	35L
		

04 - Aeropuerto Internacional Juscelino Kubitschek				
Nombre		Juscelino Kubitschek		
Código OACI / IATA		SBBR/BSB		
Emplazamiento		Brasilia, Brasil		
Clave de referencia (número)		4		
Total de operaciones anuales		189.570		
Características de las pistas				
Designación	11R	29L	11L	29R
TORA	3.300	3.300	3.200	3.200
TODA	3.300	3.300	3.200	3.200
ASDA	3.300	3.300	3.200	3.200
LDA	3.300	3.300	3.200	3.200
SWY	0	0	0	0
CWY	0	0	0	0
Ancho	45 m	45 m	45 m	45 m
Sistema de aproximación	ILS CAT 2	ILS CAT 1	ILS	ILS
Peligros Identificados				
Tipo de peligro	Ubicación		Pista	
Arboles	1 RR		11L	
Edificación sistemas de apoyo	1 RR		11L	
Arboles	2 FI		11L	
Edificio aeroportuario	2 FI		11L	
Discontinuidad abrupta de terreno	6 RO		11L	
Arboles	6 RR		11L	
Autopista o ruta	6 RR		11L	

Desarrollo de una herramienta de análisis de seguridad operacional en franja de pista mediante modelos probabilísticos de accidente por excursiones de pista. | Federico Pinto

Cerco perimetral	6 RR	11L
Discontinuidad abrupta de terreno	6 RR	11L
Edificación sistemas de apoyo	6 RR	11L
Arboles	2 EF	11L
Arboles	5 EF	11L
Discontinuidad abrupta de terreno	4 FD	11R
Discontinuidad abrupta de terreno	5 FD	11R
Discontinuidad abrupta de terreno	6 RR	11R
Edificación sistemas de apoyo	6 RR	11R
Discontinuidad abrupta de terreno	5 EF	11R
Discontinuidad abrupta de terreno	1 RO	29R
Arboles	1 RR	29R
Autopista o ruta	1 RR	29R
Cerco perimetral	1 RR	29R
Discontinuidad abrupta de terreno	1 RR	29R
Edificación sistemas de apoyo	1 RR	29R
Arboles	5 FD	29R
Edificio aeroportuario	5 FD	29R
Arboles	6 RR	29R
Edificación sistemas de apoyo	6 RR	29R
Arboles	5 EF	29R
Arboles	2 EF	29R
Discontinuidad abrupta de terreno	1 RR	29L
Edificación sistemas de apoyo	1 RR	29L
Discontinuidad abrupta de terreno	2 FI	29L
Discontinuidad abrupta de terreno	3 FI	29L
Discontinuidad abrupta de terreno	2 EF	29L





05 - Aeropuerto Internacional Jorge Chávez



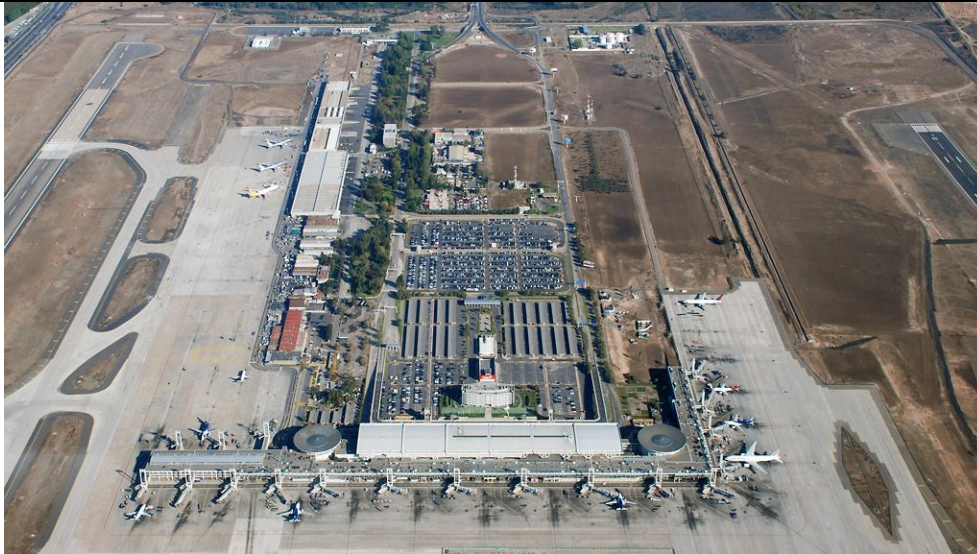
Nombre	Jorge Chávez	
Código OACI / IATA	SPJC/LIM	
Emplazamiento	Lima, Perú	
Clave de referencia (número)	4	
Total de operaciones anuales	189.570	
Características de las pistas		
Designación	15	33
TORA	3.507	3.507
TODA	3.507	3.507
ASDA	3.567	3.567
LDA	3.507	2.897
SWY	60	60
CWY	0	0
Ancho	45 m	45 m
Sistema de aproximación	ILS CAT1	ILS CAT1
Peligros Identificados		
Tipo de peligro	Ubicación	Pista
cercos perimetrales	6 RR	15
cercos perimetrales	1 RR	15
cercos perimetrales	2 FD	15
cercos perimetrales	3 FD	15
cercos perimetrales	4 FD	15
cercos perimetrales	5 FD	15
cercos perimetrales	2 EF	15

Desarrollo de una herramienta de análisis de seguridad operacional en franja de pista mediante modelos probabilísticos de accidente por excursiones de pista. | Federico Pinto

cercos perimetrales	5 EF	15
cercos perimetrales	1 RR	33
cercos perimetrales	6 RR	33
cercos perimetrales	2 FD	33
cercos perimetrales	3 FD	33
cercos perimetrales	4 FD	33
cercos perimetrales	5 FD	33
cercos perimetrales	2 EF	33
cercos perimetrales	5 EF	33


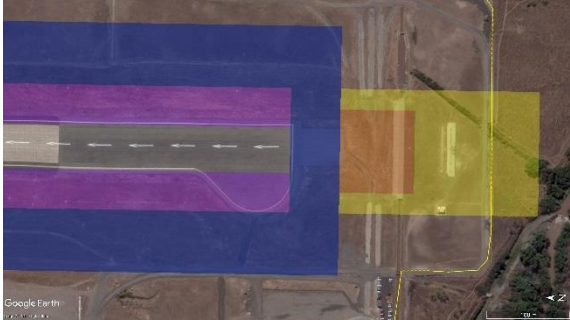
06 - Aeropuerto Internacional Comodoro Arturo Merino Benítez



Nombre	Comodoro Arturo Merino Benítez			
Código OACI / IATA	SCEL/SCL			
Emplazamiento	Santiago, Chile			
Clave de referencia (número)	4			
Total de operaciones anuales	141.285			
Características de las pistas				
Designación	17L	35R	17R	35L
TORA	3.750	3.750	3.800	3.800
TODA	3.750	3.750	3.800	3.800
ASDA	3.750	3.750	3.800	3.800
LDA	3.750	3.200	3.800	3.800
SWY	0	0	0	0
CWY	0	0	0	0
Ancho	55 m	55 m	45 m	45 m
Sistema de aproximación	ILS	INP	ILS	INP
Peligros Identificados				
Tipo de peligro	Ubicación		Pista	
Edificación sistemas de apoyo	5 FI		35L	
Edificación sistemas de apoyo	2 FD		17R	
Edificación sistemas de apoyo	5 FD		35R	
Cerco perimetral	1 RR		35R	
Arboles	1 RR		35R	
Edificación sistemas de apoyo	1 RR		35R	
Edificación sistemas de apoyo	2 FI		17L	

Desarrollo de una herramienta de análisis de seguridad operacional en franja de pista mediante modelos probabilísticos de accidente por excursiones de pista. | Federico Pinto

Cerco perimetral	6 RR	17L
Arboles	6 RR	17L
Edificación sistemas de apoyo	6 RR	17L

	
---	--

07 - Aeroparque Jorge Newbery


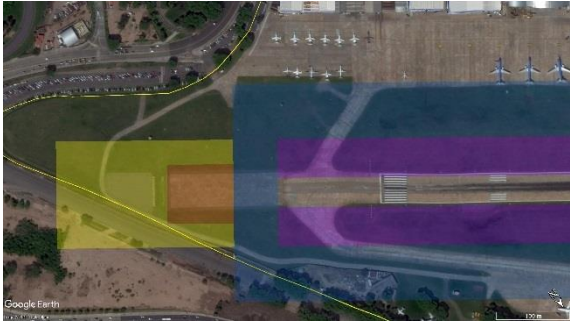



Nombre	Jorge Newbery	
Código OACI / IATA	SABE/AEP	
Emplazamiento	Capital Federal, Argentina	
Clave de referencia (número)	4	
Total de operaciones anuales	121.882	
Características de las pistas		
Designación	13	31
TORA	2.100	2.100
TODA	2.100	2.100
ASDA	2.100	2.100
LDA	2.100	1.973
SWY	0	0
CWY	0	0
Ancho	40 m	40 m
Sistema de aproximación	ILS CAT1	INP
Peligros Identificados		
Tipo de peligro	Ubicación	Pista
Arboles	2 FI	13
Arboles	5 FI	13
Arboles	6 RR	13
Arboles	2 EF	13
Arboles	5 EF	13

Desarrollo de una herramienta de análisis de seguridad operacional en franja de pista mediante modelos probabilísticos de accidente por excursiones de pista. | Federico Pinto



Autopista o ruta	2 FD	13
Autopista o ruta	2 FI	13
Autopista o ruta	2 EF	13
Cerco perimetral	2 FD	13
Cerco perimetral	2 FI	13
Cerco perimetral	5 FI	13
Cerco perimetral	6 RR	13
Cerco perimetral	2 EF	13
Cerco perimetral	5 EF	13
Edificio aeroportuario	5 FI	13
Edificación sistemas de apoyo	2 FI	13
Edificación sistemas de apoyo	5 FI	13
Plataforma con aeronave	4 FD	13
Plataforma con aeronave	5 FD	13
Playa de estacionamiento	3 FI	13
Playa de estacionamiento	5 FI	13
Playa de estacionamiento	6 RR	13
Playa de estacionamiento	5 EF	13
Arboles	1 RR	31
Arboles	2 EF	31
Arboles	2 FD	31
Arboles	5 EF	31
Arboles	5 FD	31
Autopista o ruta	5 EF	31
Autopista o ruta	5 FD	31
Autopista o ruta	5 FI	31
Cerco perimetral	1 RR	31
Cerco perimetral	2 EF	31
Cerco perimetral	2 FD	31
Cerco perimetral	5 EF	31
Cerco perimetral	5 FD	31
Cerco perimetral	5 FI	31
Edificio aeroportuario	2 FD	31
Edificación sistemas de apoyo	2 FD	31
Edificación sistemas de apoyo	5 FD	31
Plataforma con aeronave	2 FI	31
Plataforma con aeronave	3 FI	31
Playa de estacionamiento	1 RR	31
Playa de estacionamiento	2 EF	31

Playa de estacionamiento	2 FD	31
Playa de estacionamiento	4 FD	31

	
---	--

08 - Aeropuerto Internacional José María Córdova		
		
Nombre	José María Córdova	
Código OACI / IATA	SKGR/MDE	
Emplazamiento	Medellín, Colombia	
Clave de referencia (número)	4	
Total de operaciones anuales	75.042	
Características de las pistas		
Designación	01	19
TORA	3.500	3.500
TODA	3.700	3.640
ASDA	3.500	3.500
LDA	3.500	3.500
SWY	0	0
CWY	200	140
Ancho	45 m	45 m
Sistema de aproximación	ILS	INP
Peligros Identificados		

Tipo de peligro	Ubicación	Pista
Arboles	1 RR	01
Arboles	2 FD	01
Arboles	3 FD	01
Arboles	4 FD	01
Arboles	5 FD	01
Autopista o ruta	1 RO	01
Autopista o ruta	1 RR	01
Cerco perimetral	1 RO	01
Cerco perimetral	1 RR	01
Cerco perimetral	2 FD	01
Cerco perimetral	2 ND	01
Cerco perimetral	3 ND	01
Cerco perimetral	4 ND	01
Cerco perimetral	5 FD	01
Cerco perimetral	5 ND	01
Cerco perimetral	6 RR	01
Cerco perimetral	2 EF	01
Cerco perimetral	5 EF	01
Cuerpo de agua	3 FD	01
Edificio aeroportuario	3 FD	01
Arboles	6 RR	19
Arboles	2 FI	19
Arboles	3 FI	19
Arboles	5 FI	19
Arboles	4 FI	19
Autopista o ruta	6 RR	19
Autopista o ruta	6 RO	19
Cerco perimetral	6 RR	19
Cerco perimetral	6 RO	19
Cerco perimetral	5 FI	19
Cerco perimetral	5 FI	19
Cerco perimetral	4 NI	19
Cerco perimetral	3 NI	19
Cerco perimetral	2 NI	19
Cerco perimetral	2 FI	19
Cerco perimetral	1 RR	19
Cerco perimetral	5 EF	19
Cerco perimetral	2 EF	19



Cuerpo de agua	4 FI	19
Edificio aeroportuario	4 FI	01
		

09 - Aeropuerto Internacional Ministro Pistarini



Nombre	Ministro Pistarini			
Código OACI / IATA	SAEZ/EZE			
Emplazamiento	Ezeiza, Argentina			
Clave de referencia (número)	4			
Total de operaciones anuales	68.839			
Características de las pistas				
Designación	11	29	17	35
TORA	3.300	3.300	3.105	3.105
TODA	3.500	3.300	3.105	3.405
ASDA	3.300	3.300	3.105	3.105
LDA	3.330	3.300	3.105	2.805
SWY	0	0	0	0
CWY	200	0	0	300
Ancho	60 m	60 m	45 m	45 m
Sistema de aproximación	ILS CAT3	INP	INP	ILS CAT 1
Peligros Identificados				
Tipo de peligro	Ubicación		Pista	
arboles	5 EF		11	
arboles	2 EF		29	
arboles	3 FI		35	
arboles	4 FI		35	
arboles	5 FI		35	
arboles	5 EF		35	
arboles	2 FD		17	

Desarrollo de una herramienta de análisis de seguridad operacional en franja de pista mediante modelos probabilísticos de accidente por excursiones de pista. | Federico Pinto

arboles	3 FD	17
arboles	4 FD	17
arboles	2 EF	17
		

10 - Aeropuerto Internacional Silvio Pettirossi

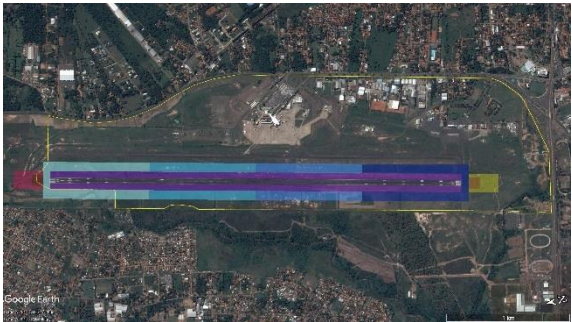




Nombre	Silvio Pettirossi	
Código OACI / IATA	SGAS/ASU	
Emplazamiento	Asunción, Paraguay	
Clave de referencia (número)	4	
Total de operaciones anuales	46.028	
Características de las pistas		
Designación	02	20
TORA	3.352	3.352
TODA	3.352	3.352
ASDA	3.352	3.352
LDA	3.352	3.352
SWY	0	0
CWY	0	0
Ancho	45 m	45 m
Sistema de aproximación	INP	ILS CAT 1
Peligros Identificados		
Tipo de peligro	Ubicación	Pista
Cuerpo de agua	1 RR	02
Cuerpo de agua	3 FD	02
Cuerpo de agua	3 FI	02
Cuerpo de agua	3 NI	02
Edificación sistemas de apoyo	3 NI	02

Desarrollo de una herramienta de análisis de seguridad operacional en franja de pista mediante modelos probabilísticos de accidente por excursiones de pista. | Federico Pinto

Cuerpo de agua	4 FD	02
Cuerpo de agua	4 FI	02
Cuerpo de agua	4 ND	02
Cuerpo de agua	4 NI	02
Arboles	5 FD	02
Cerco perimetral	5 FD	02
Cuerpo de agua	5 FD	02
Arboles	5 FI	02
Cerco perimetral	5 FI	02
Cuerpo de agua	5 FI	02
Cuerpo de agua	5 ND	02
Cerco perimetral	5 NI	02
Cuerpo de agua	5 NI	02
Cerco perimetral	6 RO	02
Cerco perimetral	6 RR	02
Edificación sistemas de apoyo	6 RR	02
Cerco perimetral	5 EF	02
Cuerpo de agua	5 EF	02
Cerco perimetral	1 RO	20
Cerco perimetral	1 RR	20
Edificación sistemas de apoyo	1 RR	20
Arboles	2 FD	20
Cerco perimetral	2 FD	20
Cuerpo de agua	2 FD	20
Arboles	2 FI	20
Cerco perimetral	2 FI	20
Cuerpo de agua	2 FI	20
Cerco perimetral	2 ND	20
Cuerpo de agua	2 ND	20
Cuerpo de agua	2 NI	20
Cuerpo de agua	3 FD	20
Cuerpo de agua	3 FI	20
Cuerpo de agua	3 ND	20
Cuerpo de agua	3 NI	20
Cuerpo de agua	4 FD	20
Cuerpo de agua	4 FI	20
Cuerpo de agua	4 ND	20
Edificación sistemas de apoyo	4 ND	20
Cuerpo de agua	6 RR	20

Desarrollo de una herramienta de análisis de seguridad operacional en franja de pista mediante modelos probabilísticos de accidente por excursiones de pista. | Federico Pinto

Cerco perimetral	2 EF	20
Cuerpo de agua	2 EF	20
		


11 - Aeropuerto Internacional del Caribe Santiago Mariño		
		
Nombre	Caribe Santiago Mariño	
Código OACI / IATA	SVMG/PMV	
Emplazamiento	Porlamar, Venezuela	
Clave de referencia (número)	4	
Total de operaciones anuales	44.263	
Características de las pistas		
Designación	09	27
TORA	3.180	3.180
TODA	3.180	3.180
ASDA	3.180	3.180
LDA	3.180	3.180
SWY	0	0
CWY	0	0
Ancho	45 m	45 m
Sistema de aproximación	ILS	INP
Peligros Identificados		
Tipo de peligro	Ubicación	Pista


Arboles	1 RO	09
Arboles	1 RR	09
Arboles	2 FD	09
Cerco perimetral	2 FD	09
Arboles	2 ND	09
Arboles	3 FD	09
Cerco perimetral	3 FD	09
Arboles	3 ND	09
Cerco perimetral	4 FD	09
Arboles	5 FD	09
Cerco perimetral	5 FD	09
Arboles	5 ND	09
Arboles	6 RO	09
Cerco perimetral	6 RO	09
Arboles	6 RR	09
Cerco perimetral	6 RR	09
Cuerpo de agua	6 RR	09
Discontinuidad abrupta de terreno	6 RR	09
Cerco perimetral	5 EF	09
Arboles	5 EF	09
Cerco perimetral	2 EF	09
Arboles	1 RO	27
Cerco perimetral	1 RO	27
Arboles	1 RR	27
Cerco perimetral	1 RR	27
Cuerpo de agua	1 RR	27
Discontinuidad abrupta de terreno	1 RR	27
Cerco perimetral	2 FI	27
Arboles	2 FI	27
Arboles	2 NI	27
Cerco perimetral	3 FI	27
Arboles	4 FI	27
Cerco perimetral	4 FI	27
Arboles	4 NI	27
Cerco perimetral	5 FI	27
Arboles	5 FI	27
Arboles	5 NI	27
Arboles	6 RO	27
Arboles	6 RR	27



Desarrollo de una herramienta de análisis de seguridad operacional en franja de pista mediante modelos probabilísticos de accidente por excursiones de pista. | Federico Pinto


Cerco perimetral	2 EF	27
Arboles	2 EF	27
Cerco perimetral	5 EF	27
Arboles	1 RO	09L
Arboles	1 RR	09L
Arboles	2 EF	09L
Arboles	2 FI	09L
Plataforma con aeronave	3 FI	09L
Plataforma de helipuerto	3 FI	09L
Plataforma de helipuerto	3 NI	09L
Cerco perimetral	4 FI	09L
Plataforma con aeronave	4 FI	09L
Aeronaves fuera de servicio	5 FI	09L
Arboles	5 FI	09L
Cerco perimetral	5 FI	09L
Arboles	6 RO	09L
Cerco perimetral	6 RO	09L
Discontinuidad abrupta de terreno	6 RO	09L
Arboles	6 RR	09L
Cerco perimetral	6 RR	09L
Cuerpo de agua	6 RR	09L
Discontinuidad abrupta de terreno	6 RR	09L
Arboles	5 EF	09L
Arboles	1 RO	27R
Cerco perimetral	1 RO	27R
Discontinuidad abrupta de terreno	1 RO	27R
Arboles	1 RR	27R
Cerco perimetral	1 RR	27R
Cuerpo de agua	1 RR	27R
Discontinuidad abrupta de terreno	1 RR	27R
Arboles	2 EF	27R
Aeronaves fuera de servicio	2 FD	27R
Arboles	2 FD	27R
Cerco perimetral	2 FI	27R
Plataforma con aeronave	3 FD	27R
Cerco perimetral	3 FI	27R
Plataforma con aeronave	4 FD	27R
Plataforma de helipuerto	4 FD	27R
Plataforma de helipuerto	4 ND	27R

Desarrollo de una herramienta de análisis de seguridad operacional en franja de pista mediante modelos probabilísticos de accidente por excursiones de pista. | Federico Pinto

Arboles	5 EF	27R
Arboles	5 FD	27R
Arboles	6 RO	27R
Arboles	6 RR	27R
		

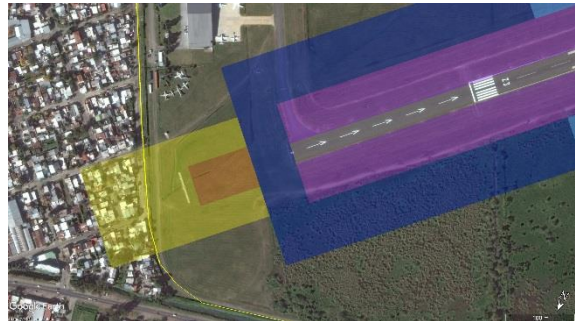
12 - Aeropuerto Andrés Sabella		
		
Nombre	Andrés Sabella	
Código OACI / IATA	SCFA/SCL	
Emplazamiento	Antofagasta, Chile	
Clave de referencia (número)	4	
Total de operaciones anuales	41.610	
Características de las pistas		
Designación	01	19
TORA	2.599	2.599
TODA	2.599	2.599
ASDA	2.599	2.599
LDA	2.599	2.599
SWY	0	0
CWY	0	0
Ancho	50 m	50 m
Sistema de aproximación	INP	INP
Peligros Identificados		
Tipo de peligro	Ubicación	Pista

Edificación sistemas de apoyo	2 FI	01
Edificación sistemas de apoyo	2 FD	01
Edificación sistemas de apoyo	2 FI	19
Edificación sistemas de apoyo	2 FD	19
		

13 - Aeropuerto Internacional José María Córdova		
		
Nombre	San Fernando	
Código OACI / IATA	SADF/FDO	
Emplazamiento	San Fernando, Argentina	
Clave de referencia (número)	3	
Total de operaciones anuales	32.724	
Características de las pistas		
Designación	05	23
TORA	1.690	1.690
TODA	1.690	1.690
ASDA	1.690	1.690
LDA	1.690	1.415
SWY	0	0
CWY	0	0
Ancho	30 m	30 m
Sistema de aproximación	ILS CAT 1	INP
Peligros Identificados		
Tipo de peligro	Ubicación	Pista
Arboles	1 RR	05
Cerco perimetral	1 RR	05
Cuerpo de agua	1 RR	05
Discontinuidad abrupta de terreno	1 RR	05
Arboles	2 FI	05
Arboles	3 FI	05
Arboles	5 FI	05

Desarrollo de una herramienta de análisis de seguridad operacional en franja de pista mediante modelos probabilísticos de accidente por excursiones de pista. | Federico Pinto

Cerco perimetral	6 RR	05
Edificación urbana	6 RR	05
Arboles	2 EF	05
Arboles	5 EF	05
Cerco perimetral	1 RR	23
Edificación urbana	1 RR	23
Arboles	2 FD	23
Arboles	4 FD	23
Arboles	5 FD	23
Arboles	6 RR	23
Cerco perimetral	6 RR	23
Cuerpo de agua	6 RR	23
Discontinuidad abrupta de terreno	6 RR	23
Arboles	5 EF	23
Arboles	2 EF	23



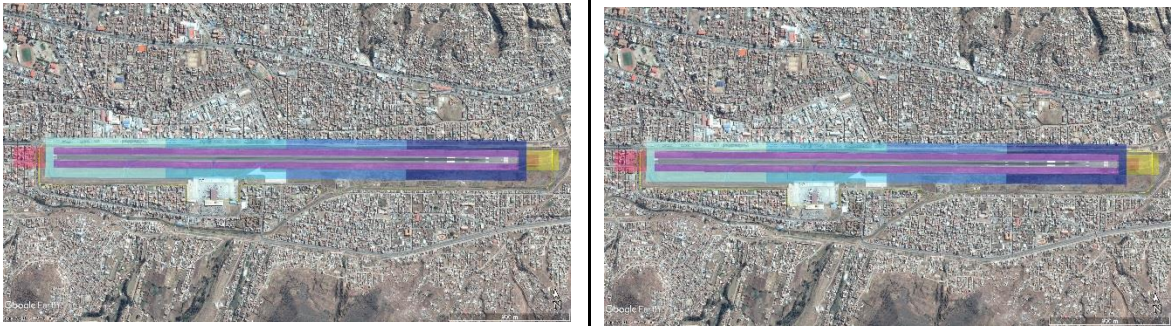
14 - Aeropuerto Internacional Alejandro Velasco Astete




Nombre	Alejandro Velasco Astete	
Código OACI / IATA	SPZO/CUZ	
Emplazamiento	Cuzco, Perú	
Clave de referencia (número)	4	
Total de operaciones anuales	32.724	
Características de las pistas		
Designación	10	28
TORA	3.400	3.400
TODA	3.400	PROHIBIDO
ASDA	3.460	PROHIBIDO
LDA	PROHIBIDO	3.400
SWY	60	60
CWY	0	0
Ancho	45 m	45 m
Sistema de aproximación	ILS CAT 1	INP
Peligros Identificados		
Tipo de peligro	Ubicación	Pista
Autopista o ruta	1 RO	10
Cerco perimetral	1 RO	10
Autopista o ruta	1 RR	10
Cerco perimetral	1 RR	10
Edificación urbana	1 RR	10

Desarrollo de una herramienta de análisis de seguridad operacional en franja de pista mediante modelos probabilísticos de accidente por excursiones de pista. | Federico Pinto

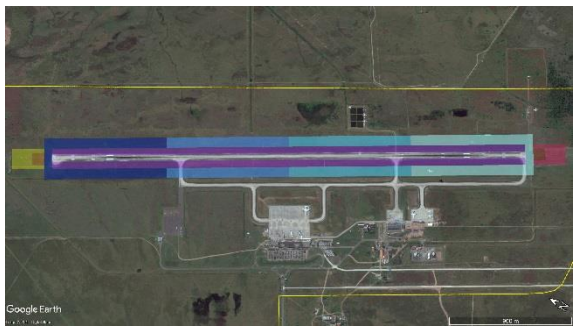
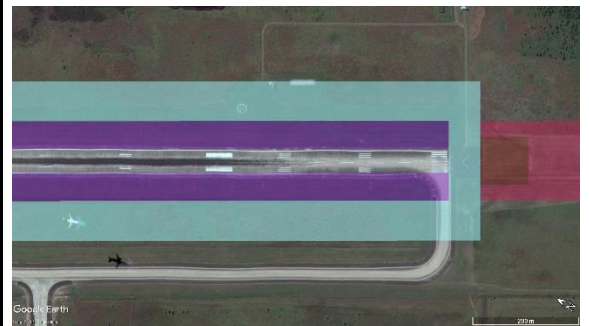
Arboles	2 FI	10
Autopista o ruta	2 FI	10
Cerco perimetral	2 FI	10
Plataforma de helipuerto	3 FD	10
Arboles	3 FI	10
Autopista o ruta	3 FI	10
Cerco perimetral	3 FI	10
Planta de combustible	4 FD	10
Arboles	4 FI	10
Autopista o ruta	4 FI	10
Cerco perimetral	4 FI	10
Arboles	5 FI	10
Autopista o ruta	5 FI	10
Cerco perimetral	5 FI	10
Cerco perimetral	6 RR	10
Edificación urbana	1 RO	10
Arboles	2 EF	10
Autopista o ruta	2 EF	10
Cerco perimetral	2 EF	10
Autopista o ruta	5 EF	10
Cerco perimetral	5 EF	10
Arboles	2 FD	28
Autopista o ruta	2 FD	28
Cerco perimetral	2 FD	28
Arboles	3 FD	28
Autopista o ruta	3 FD	28
Cerco perimetral	3 FD	28
Planta de combustible	3 FI	28
Arboles	4 FD	28
Autopista o ruta	4 FD	28
Cerco perimetral	4 FD	28
Plataforma de helipuerto	4 FI	28
Arboles	5 FD	28
Autopista o ruta	5 FD	28
Cerco perimetral	5 FD	28
Autopista o ruta	6 RO	28
Cerco perimetral	6 RO	28
Autopista o ruta	6 RR	28
Cerco perimetral	6 RR	28


Edificación urbana	6 RR	28
Edificación urbana	6 RO	28
Arboles	5 EF	28
Autopista o ruta	5 EF	28
Cerco perimetral	5 EF	28
Autopista o ruta	2 EF	28
Cerco perimetral	2 EF	28
		

*La planta de combustible está a 155m del eje de pista, cae fuera de la franja, pero se consideró por estar al límite.



15 - Aeropuerto Internacional Viru Viru		
		
Nombre	Viru Viru	
Código OACI / IATA	SLVR/VVI	
Emplazamiento	Santa Cruz de la Sierra, Bolivia	
Clave de referencia (número)	4	
Total de operaciones anuales	24.226	
Características de las pistas		
Designación	16	34
TORA	-	-
TODA	-	-
ASDA	-	-
LDA	-	-
SWY	-	-
CWY	-	-
Ancho	45 m	45 m
Sistema de aproximación	INP	ILS
Peligros Identificados		
Tipo de peligro	Ubicación	Pista


Desarrollo de una herramienta de análisis de seguridad operacional en franja de pista mediante modelos probabilísticos de accidente por excursiones de pista. | Federico Pinto


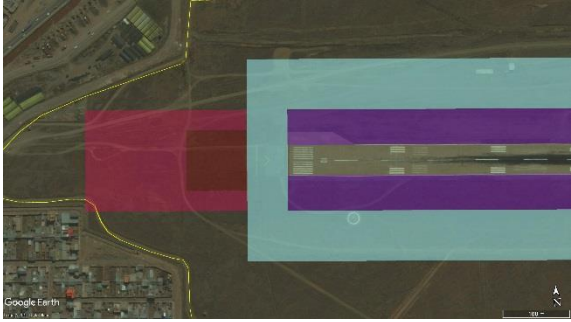
Edificación sistemas de apoyo	2 FD	01
Edificación sistemas de apoyo	5 FI	01
		


16 - Aeropuerto Internacional El Tepual		
		
Nombre	El Tepual	
Código OACI / IATA	SCTE/PMC	
Emplazamiento	Puerto Montt, Chile	
Clave de referencia (número)	4	
Total de operaciones anuales	23.017	
Características de las pistas		
Designación	17	35
TORA	2.650	2.650
TODA	2.710	2.710
ASDA	2.650	2.650
LDA	2.650	2.650
SWY	0	0
CWY	60	60
Ancho	45 m	45 m
Sistema de aproximación	INP	ILS CAT 1
Peligros Identificados		
Tipo de peligro	Ubicación	Pista
Arboles	1 RR	35
Arboles	2 FD	35
Arboles	3 FD	35
Arboles	4 FD	35
Arboles	5 FD	35
Arboles	6 RR	35
Autopista o ruta	6 RR	35

Desarrollo de una herramienta de análisis de seguridad operacional en franja de pista mediante modelos probabilísticos de accidente por excursiones de pista. | Federico Pinto

Cerco perimetral	6 RR	35
Edificación sistemas de apoyo	5 FD	35
Edificación sistemas de apoyo	6 RR	35
Arboles	2 EF	35
Arboles	1 RR	17
Arboles	2 FI	17
Arboles	3 FI	17
Arboles	4 FI	17
Arboles	5 FI	17
Arboles	6 RR	17
Autopista o ruta	1 RR	17
Cerco perimetral	1 RR	17
Edificación sistemas de apoyo	1 RR	17
Edificación sistemas de apoyo	2 FI	17
Arboles	5 EF	17
		


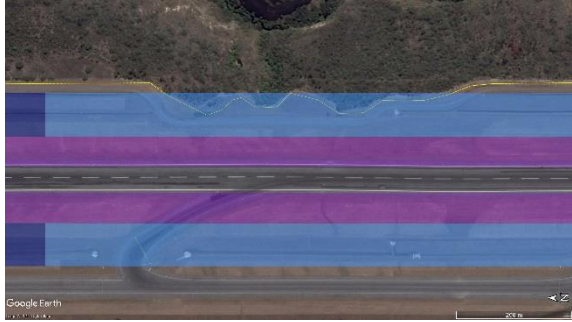
17 - Aeropuerto Internacional El Alto		
		
Nombre	El Alto	
Código OACI / IATA	SLLP/LPB	
Emplazamiento	La Paz, Bolivia	
Clave de referencia (número)	4	
Total de operaciones anuales	21.525	
Características de las pistas		
Designación	10	28
TORA	4.000	4.000
TODA	4.000	4.000
ASDA	4.000	4.000
LDA	4.000	4.000
SWY	0	0
CWY	0	0
Ancho	45 m	45 m
Sistema de aproximación	ILS	INP
Peligros Identificados		
Tipo de peligro	Ubicación	Pista
Cerco perimetral	1 RR	10
Edificación sistemas de apoyo	2 FI	10

Cerco perimetral	6 RR	28
Edificación sistemas de apoyo	5 FD	28
		

18 - Aeropuerto Internacional Mariscal Sucre		
		
Nombre	Mariscal Sucre	
Código OACI / IATA	SEQM/UIO	
Emplazamiento	Quito, Ecuador	
Clave de referencia (número)	4	
Total de operaciones anuales	19.200	
Características de las pistas		
Designación	18	36
TORA	4.098	4.098
TODA	4.098	4.098
ASDA	4.098	4.098
LDA	4.098	4.098
SWY	0	0
CWY	0	0
Ancho	45 m	45 m
Sistema de aproximación	ILS CAT 1	ILS CAT 1
Peligros Identificados		
Tipo de peligro	Ubicación	Pista
Edificación sistemas de apoyo	2 FI	18
Cerco perimetral	3 FI	18

Desarrollo de una herramienta de análisis de seguridad operacional en franja de pista mediante modelos probabilísticos de accidente por excursiones de pista. | Federico Pinto

Edificación sistemas de apoyo	5 FI	18
Arboles	3 FI	18
Edificación sistemas de apoyo	2 FD	36
Cerco perimetral	4 FD	36
Edificación sistemas de apoyo	5 FD	36
Arboles	4 FD	36


	
---	--

19 - Aeropuerto Internacional de Carrasco



Nombre	Carrasco			
Código OACI / IATA	SUMU/MVD			
Emplazamiento	Montevideo, Uruguay			
Clave de referencia (número)	4			
Total de operaciones anuales	16.800			
Características de las pistas				
Designación	01	19	06	24
TORA	2.250	2.250	3.050	3.200
TODA	2.250	2.250	3.200	3.200
ASDA	2.250	2.250	3.200	3.200
LDA	2.250	2.250	2.700	3.050
SWY	0	0	150	0
CWY	0	0	150	0
Ancho	45 m	45 m	45 m	45 m
Sistema de aproximación	INP	ILS	INP	ILS
Peligros Identificados				
Tipo de peligro	Ubicación		Pista	
Arboles	1 RR		24	
Arboles	3 FD		24	
Arboles	5 EF		24	
Arboles	5 FD		24	
Arboles	5 FI		24	
Arboles	6 RR		24	
Autopista o ruta	1 RR		24	

Cerco perimetral	1 RR	24
Cerco perimetral	2 EF	24
Cerco perimetral	5 EF	24
Cerco perimetral	5 FD	24
Cerco perimetral	5 FI	24
Cerco perimetral	6 RR	24
Deflectores de flujo	1 RR	24
Deflectores de flujo	2 EF	24
Edificación sistemas de apoyo	2 FD	24
Edificación urbana	1 RR	24
Arboles	1 RR	06
Arboles	2 EF	06
Arboles	2 FD	06
Arboles	2 FI	06
Arboles	4 FI	06
Arboles	6 RR	06
Autopista o ruta	6 RR	06
Cerco perimetral	1 RR	06
Cerco perimetral	2 EF	06
Cerco perimetral	2 FD	06
Cerco perimetral	2 FI	06
Cerco perimetral	5 EF	06
Cerco perimetral	6 RR	06
Deflectores de flujo	5 EF	06
Deflectores de flujo	6 RR	06
Edificación sistemas de apoyo	5 FI	06
Edificación urbana	6 RR	06
Arboles	1 RR	01
Arboles	2 FI	01
Arboles	5 EF	01
Arboles	6 RR	01
Arboles	2 EF	01
Cerco perimetral	1 RR	01
Cerco perimetral	2 FD	01
Cerco perimetral	2 FI	01
Cerco perimetral	5 EF	01
Cerco perimetral	6 RR	01
Cerco perimetral	2 EF	01
Edificación sistemas de apoyo	2 FD	01

Arboles	1 RR	19
Arboles	2 EF	19
Arboles	5 FD	19
Arboles	6 RR	19
Arboles	5 EF	19
Cerco perimetral	1 RR	19
Cerco perimetral	2 EF	19
Cerco perimetral	5 FD	19
Cerco perimetral	5 FI	19
Cerco perimetral	6 RR	19
Cerco perimetral	5 EF	19
Edificación sistemas de apoyo	5 FI	19
		

20 - Aeropuerto Internacional José Joaquín de Olmedo

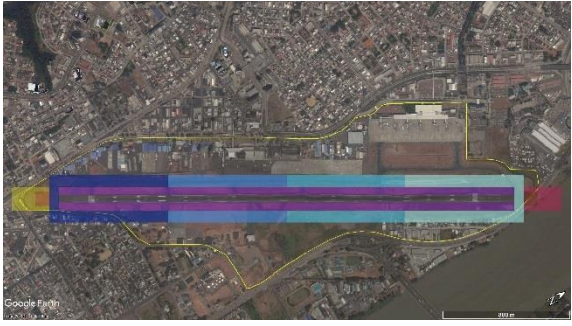
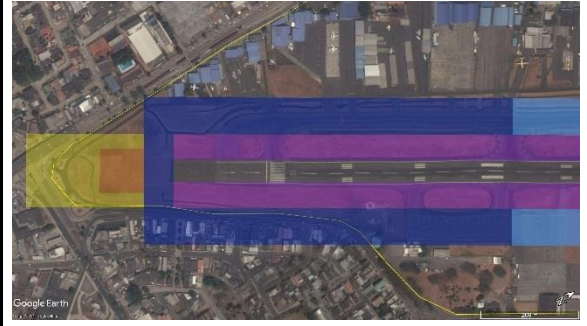



Nombre	José Joaquín de Olmedo	
Código OACI / IATA	SEGU/GYE	
Emplazamiento	Guayaquil, Ecuador	
Clave de referencia (número)	4	
Total de operaciones anuales	16.000	
Características de las pistas		
Designación	03	21
TORA	2.684	2.684
TODA	2.684	2.790
ASDA	2.684	2.877
LDA	2.580	2.547
SWY	0	87
CWY	0	0
Ancho	45 m	45 m

Sistema de aproximación	INP	ILS CAT 1
Peligros Identificados		
Tipo de peligro	Ubicación	Pista
Arboles	1 RO	21
Arboles	1 RR	21
Arboles	2 FI	21
Autopista o ruta	1 RO	21
Autopista o ruta	1 RR	21
Autopista o ruta	2 EF	21
Autopista o ruta	2 FI	21
Cerco perimetral	1 RO	21
Cerco perimetral	1 RR	21
Cerco perimetral	1 RR	21
Cerco perimetral	2 EF	21
Cerco perimetral	5 FI	21
Cerco perimetral	5 NI	21
Cerco perimetral	2 FI	21
Cuerpo de agua	1 RR	21
Cuerpo de agua	2 EF	21
Deflectores de flujo	1 RO	21
Deflectores de flujo	1 RR	21
Edificación sistemas de apoyo	2 NI	21
Edificación urbana	5 FI	21
Edificación urbana	5 EF	21
Edificio aeroportuario	5 FI	21
Edificio aeroportuario	5 EF	21
Plataforma con aeronave	3 FI	21
Plataforma de helipuerto	5 FI	21
Arboles	5 FD	03
Arboles	6 RR	03
Autopista o ruta	5 EF	03
Autopista o ruta	6 RR	03
Cerco perimetral	1 RR	03
Cerco perimetral	2 EF	03
Cerco perimetral	2 FD	03
Cerco perimetral	5 EF	03
Cerco perimetral	6 RR	03
Cuerpo de agua	6 RR	03

Desarrollo de una herramienta de análisis de seguridad operacional en franja de pista mediante modelos probabilísticos de accidente por excursiones de pista. | Federico Pinto


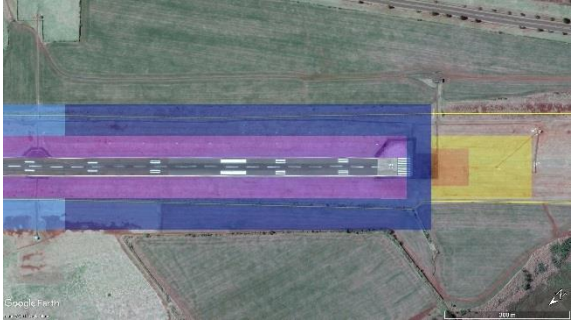
Deflectores de flujo	6 RR	03
Edificación urbana	2 EF	03
Edificación urbana	2 FD	03
Edificio aeroportuario	2 FD	03
Plataforma con aeronave	4 FD	03
Plataforma de helipuerto	2 FD	03
Edificación sistemas de apoyo	5 ND	03


	
---	--

21 - Aeropuerto Internacional Guaraní		
		
Nombre	Guaraní	
Código OACI / IATA	SGES/FDO	
Emplazamiento	San Fernando, Argentina	
Clave de referencia (número)	3	
Total de operaciones anuales	7.040	
Características de las pistas		
Designación	05	23
TORA	3.389	3.389
TODA	3.389	3.389
ASDA	3.389	3.389
LDA	3.389	3.389
SWY	60	60
CWY	60	60
Ancho	45 m	45 m
Sistema de aproximación	INP	ILS CAT 1
Peligros Identificados		
Tipo de peligro	Ubicación	Pista
Edificación sistemas de apoyo	2 FD	23
Arboles	5 FD	23
Arboles	3 FD	23
Cerco perimetral	2 FD	23
Cerco perimetral	3 FD	23

Desarrollo de una herramienta de análisis de seguridad operacional en franja de pista mediante modelos probabilísticos de accidente por excursiones de pista. | Federico Pinto



Cerco perimetral	4 FD	23
Cerco perimetral	4 FI	23
Cerco perimetral	5 FD	23
Cerco perimetral	5 FI	23
Cerco perimetral	5 EF	23
Edificación sistemas de apoyo	5 FI	05
Arboles	2 FI	05
Arboles	4 FI	05
Cerco perimetral	2 FD	05
Cerco perimetral	2 FI	05
Cerco perimetral	3 FD	05
Cerco perimetral	3 FI	05
Cerco perimetral	4 FI	05
Cerco perimetral	5 FI	05
Cerco perimetral	2 EF	05






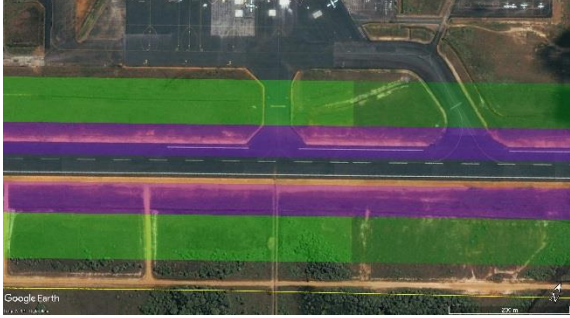
22 - Aeropuerto Internacional Laguna del Sauce				
				
Nombre	Laguna del Sauce			
Código OACI / IATA	SULS/PDP			
Emplazamiento	Punta del Este, Uruguay			
Clave de referencia (número)	3			
Total de operaciones anuales	4.680			
Características de las pistas				
Designación	01	19	08	26
TORA	1.600	1.600	2.133	2.133
TODA	1.600	1.600	2.133	2.133
ASDA	1.600	1.600	2.133	2.133
LDA	1.600	1.600	2.133	2.133
SWY	0	0	0	0
CWY	0	0	0	0
Ancho	38 m	38 m	45 m	45 m
Sistema de aproximación	INP	INP	INP	INP
Peligros Identificados				
Tipo de peligro	Ubicación		Pista	
Cerco perimetral	6 RR		08	
Cerco perimetral	1 RR		26	
Arboles	1 RR		19	
Arboles	2 FD		19	
Arboles	2 FI		19	
Arboles	3 FD		19	
Autopista o ruta	6 RR		19	


Desarrollo de una herramienta de análisis de seguridad operacional en franja de pista mediante modelos probabilísticos de accidente por excursiones de pista. | Federico Pinto

Cerco perimetral	1 RR	19
Cerco perimetral	2 FD	19
Cerco perimetral	2 FI	19
Cerco perimetral	3 FD	19
Cerco perimetral	6 RR	19
Arboles	2 EF	19
Cerco perimetral	2 EF	19
Autopista o ruta	1 RR	01
Cerco perimetral	1 RR	01
Arboles	4 FI	01
Cerco perimetral	4 FI	01
Arboles	5 FD	01
Cerco perimetral	5 FD	01
Arboles	5 FI	01
Cerco perimetral	5 FI	01
Arboles	6 RR	01
Cerco perimetral	6 RR	01
Arboles	5 EF	01
Cerco perimetral	5 EF	01

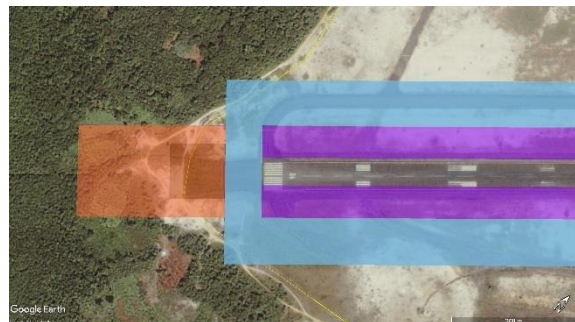
23 - Aeropuerto de Cayenne-Rochambeau		
		
Nombre	Andrés Sabella	
Código OACI / IATA	SOCA/CAY	
Emplazamiento	Cayenne, Guayana Francesa	
Clave de referencia (número)	4	
Total de operaciones anuales	12.538	
Características de las pistas		
Designación	08	26
TORA	3.200	3.200
TODA	3.200	3.200
ASDA	3.200	3.200
LDA	3.200	3.200
SWY	0	0
CWY	200	0
Ancho	45 m	45 m
Sistema de aproximación	INP	INP
Peligros Identificados		
Tipo de peligro	Ubicación	Pista
Arboles	1 RR	01
Edificación sistemas de apoyo	2 FD	01


Edificación sistemas de apoyo	5 FI	19
Arboles	6 RR	19
		

24 - Aeropuerto Internacional Cheddi Jagan		
		
Nombre	San Fernando	
Código OACI / IATA	SYCJ/GEO	
Emplazamiento	Georgetown, Guyana	
Clave de referencia (número)	4	
Total de operaciones anuales	3704	
Características de las pistas		
Designación	06	24
TORA	-	-
TODA	-	-
ASDA	-	-
LDA	-	-
SWY	-	-
CWY	-	-
Ancho	45 m	45 m
Sistema de aproximación	ILS	ILS
Peligros Identificados		
Tipo de peligro	Ubicación	Pista
Arboles	1 RR	06
Arboles	2 FD	06
Arboles	2 FI	06
Arboles	4 FD	06
Arboles	5 FI	06
Arboles	6 RR	06
Arboles	5 FD	06

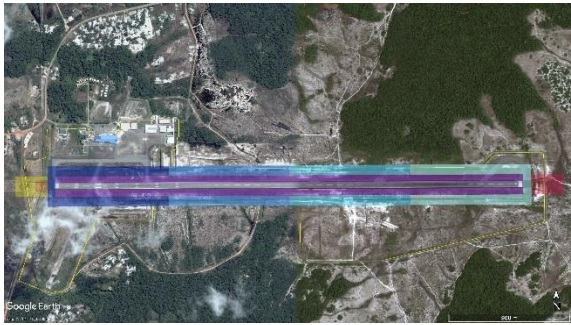
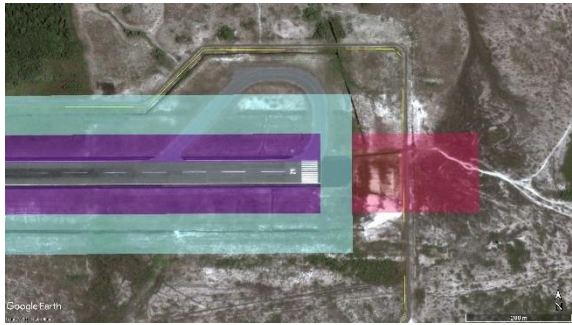
Desarrollo de una herramienta de análisis de seguridad operacional en franja de pista mediante modelos probabilísticos de accidente por excursiones de pista. | Federico Pinto

Cerco perimetral	1 RO	06
Cerco perimetral	1 RR	06
Cerco perimetral	2 FD	06
Cerco perimetral	2 FI	06
Cerco perimetral	6 RR	06
Cerco perimetral	5 EF	06
Arboles	2 EF	06
Cerco perimetral	2 EF	06
Arboles	1 RR	24
Arboles	2 FD	24
Arboles	3 FI	24
Arboles	5 FD	24
Arboles	5 FI	24
Arboles	6 RR	24
Arboles	2 FI	24
Cerco perimetral	1 RO	24
Cerco perimetral	1 RR	24
Cerco perimetral	2 FD	24
Cerco perimetral	2 FI	24
Cerco perimetral	3 FI	24
Cerco perimetral	5 FD	24
Cerco perimetral	5 FI	24
Cerco perimetral	6 RO	24
Cerco perimetral	6 RR	24
Cerco perimetral	2 EF	24
Arboles	5 EF	24
Cerco perimetral	5 EF	24



25 - Aeropuerto Internacional Joan Adolf Pengel		
		
Nombre	Joan Adolf Pengel	
Código OACI / IATA	SMJP/PMB	
Emplazamiento	Paramaribo, Surinam	
Clave de referencia (número)	4	
Total de operaciones anuales	10.270	
Características de las pistas		
Designación	11	29
TORA	0	0
TODA	0	0
ASDA	0	0
LDA	0	0
SWY	0	0
CWY	0	0
Ancho	45 m	45 m
Sistema de aproximación	INP	ILS
Peligros Identificados		
Tipo de peligro	Ubicación	Pista
Edificación sistemas de apoyo	1 RR	23
Cerco perimetral	1 RR	23
Cerco perimetral	2 FD	23
Cerco perimetral	3 FD	23
Cerco perimetral	3 FI	23
Cerco perimetral	4 FD	23
Cerco perimetral	4 FI	23

Edificación sistemas de apoyo	5 FI	23
Cerco perimetral	5 FI	23
Cerco perimetral	6 RR	23
Edificación sistemas de apoyo	2 FD	05
Edificación sistemas de apoyo	6 RR	05
Cerco perimetral	1 RR	05
Cerco perimetral	2 FD	05
Cerco perimetral	3 FD	05
Cerco perimetral	3 FI	05
Cerco perimetral	4 FD	05
Cerco perimetral	4 FI	05
Cerco perimetral	5 FI	05

26 - Aeropuerto Internacional de Maiquetía Simón Bolívar



Nombre	Maiquetía Simón Bolívar			
Código OACI / IATA	SVM/CCS			
Emplazamiento	Santiago, Chile			
Clave de referencia (número)	4			
Total de operaciones anuales	150.206			
Características de las pistas				
Designación	10	28	09	27
TORA	3.500	3.500	2.900	PROHIBIDO
TODA	3.500	3.500	2.900	PROHIBIDO
ASDA	3.500	3.500	2.900	PROHIBIDO
LDA	3.500	3.500	PROHIBIDO	3.000
SWY	45	45	0	170
CWY	30	90	60	60
Ancho	45 m	45 m	45 m	45 m
Sistema de aproximación	ILS	INP	INP	ILS
Peligros Identificados				
Tipo de peligro	Ubicación	Pista		
Arboles	1 RO	10		
Autopista o ruta	1 RO	10		
Cerco perimetral	1 RO	10		
Discontinuidad abrupta de terreno	1 RO	10		
Edificación urbana	1 RR	10		
Arboles	1 RR	10		
Autopista o ruta	1 RR	10		

Desarrollo de una herramienta de análisis de seguridad operacional en franja de pista mediante modelos probabilísticos de accidente por excursiones de pista. | Federico Pinto


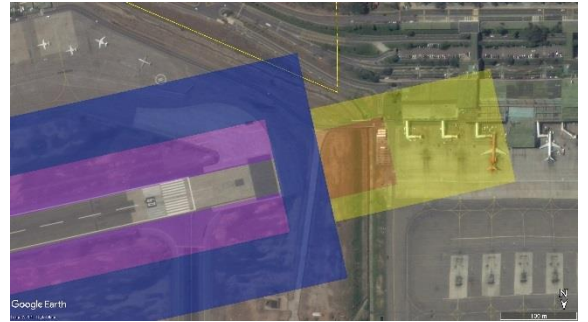
Cerco perimetral	1 RR	10
Discontinuidad abrupta de terreno	1 RR	10
Cerco perimetral	2 FD	10
Arboles	2 FI	10
Cerco perimetral	2 FI	10
Arboles	3 FI	10
Cerco perimetral	3 FI	10
Arboles	4 FI	10
Cerco perimetral	4 FI	10
Discontinuidad abrupta de terreno	4 FI	10
Arboles	5 FI	10
Cerco perimetral	5 FI	10
Discontinuidad abrupta de terreno	5 FI	10
Edificación urbana	5 FI	10
Cerco perimetral	5 NI	10
Cerco perimetral	6 RO	10
Arboles	6 RR	10
Cerco perimetral	6 RR	10
Edificación urbana	6 RR	10
Discontinuidad abrupta de terreno	6 RR	10
Cerco perimetral	2 EF	10
Arboles	5 EF	10
Cerco perimetral	5 EF	10
Discontinuidad abrupta de terreno	5 EF	10
Aeronaves fuera de servicio	2 FI	27
Autopista o ruta	1 RR	27
Cerco perimetral	2 FD	27
Cerco perimetral	2 FI	27
Cerco perimetral	2 ND	27
Cerco perimetral	2 NI	27
Cerco perimetral	2 EF	27
Cuerpo de agua	1 RO	27
Cuerpo de agua	1 RR	27
Discontinuidad abrupta de terreno	1 RO	27
Discontinuidad abrupta de terreno	1 RR	27
Edificación sistemas de apoyo	2 FI	27
Edificio terminal	6 RR	27
Plataforma con aeronave	6 RO	27
Plataforma con aeronave	6 RR	27

Desarrollo de una herramienta de análisis de seguridad operacional en franja de pista mediante modelos probabilísticos de accidente por excursiones de pista. | Federico Pinto

Cerco perimetral	5 EF	27
Deflectores de flujo	5 EF	27
Plataforma con aeronave	1 RO	09
Edificio terminal	1 RR	09
Plataforma con aeronave	1 RR	09
Aeronaves fuera de servicio	5 FD	09
Cerco perimetral	5 FD	09
Edificación sistemas de apoyo	5 FD	09
Cerco perimetral	5 FI	09
Cerco perimetral	5 ND	09
Cerco perimetral	5 NI	09
Cuerpo de agua	6 RO	09
Discontinuidad abrupta de terreno	6 RO	09
Autopista o ruta	6 RR	09
Cuerpo de agua	6 RR	09
Discontinuidad abrupta de terreno	6 RR	09
Cerco perimetral	5 EF	09
Cerco perimetral	1 RO	28
Arboles	1 RR	28
Cerco perimetral	1 RR	28
Edificación urbana	1 RR	28
Discontinuidad abrupta de terreno	1 RR	28
Arboles	2 FD	28
Cerco perimetral	2 FD	28
Discontinuidad abrupta de terreno	2 FD	28
Edificación urbana	2 FD	28
Cerco perimetral	2 ND	28
Arboles	3 FD	28
Cerco perimetral	3 FD	28
Discontinuidad abrupta de terreno	3 FD	28
Arboles	4 FD	28
Cerco perimetral	4 FD	28
Arboles	5 FD	28
Cerco perimetral	5 FD	28
Cerco perimetral	5 FI	28
Arboles	6 RO	28
Autopista o ruta	6 RO	28
Cerco perimetral	6 RO	28
Discontinuidad abrupta de terreno	6 RO	28

Desarrollo de una herramienta de análisis de seguridad operacional en franja de pista mediante modelos probabilísticos de accidente por excursiones de pista. | Federico Pinto

Cerco perimetral	5 EF	28
Arboles	5 EF	28
Cerco perimetral	5 EF	28
Discontinuidad abrupta de terreno	5 EF	28

	
---	--

11.6 Tabla análisis de aeronaves para severidad

TRAFICO			
AERONAVE	CATEGORIA	VELOCIDAD DE APROXIMACION	PONDERACION
B747-400	1	157	7
B747-400ER	1	157	7
MD-11	1	153	7
B747-300	1	152	7
B747-200	1	150	7
B747-8	1	150	7
B767-400ER	1	150	7
B777-300	1	149	7
B777-300ER	1	149	7
A340-600	1	148	7
B767-300ER	1	145	7
MD-83	2	144	10
MD-88	2	144	10
B747-100	1	144	7
B757-300	2	143	10
A321-200	2	142	10
B737-800	2	142	10
A340-500	1	142	7
B767-200ER	1	142	7
B737-900	2	141	10
CRJ200ER	2	140	10
B747-SP	1	140	7
B767-300	1	140	7
B777-200LR	1	140	7
B787-8	1	140	7
B717-200	2	139	9
B737-400	2	139	9
A310-300	1	139	6
A340-300	1	139	6
B777-200ER	1	139	6
CRJ1000	2	138	9
DC8-62	2	138	9
MD-90	2	138	9
A380-800	1	138	6

Desarrollo de una herramienta de análisis de seguridad operacional en franja de pista mediante modelos probabilísticos de accidente por excursiones de pista. | Federico Pinto

B707-320C	2	137	9
B757-200	2	137	9
A300-200	1	137	6
A330-300	1	137	6
A320-200	2	136	9
B727-200	2	136	9
CRJ900	2	136	9
CRJ900ER	2	136	9
A330-200	1	136	6
A340-200	1	136	6
B777-200	1	136	6
CRJ700	2	135	9
CRJ700ER	2	135	9
DC9-50	2	135	9
A300-600R	1	135	6
B767-200	1	135	6
MD-81	2	134	9
MD-82	2	134	9
MD-87	2	134	9
B737-200	2	133	9
B737-300	2	133	9
CS300	2	133	9
DC9-15	2	132	9
B737-700	2	130	9
A319-100	2	128	9
B737-500	2	128	9
ERJ 190-200	2	128	9
CS100	2	127	9
DC9-20	2	126	9
ERJ 170-200	2	126	9
B737-600	2	125	9
DHC-8-400	2	125	9
ERJ 190-100	2	125	9
A318-100	2	124	9
ERJ 170-100	2	124	9
Gulfstream G550	3	120	12
Gulfstream IV	3	120	12
Learjet 55	3	119	11
Learjet 60	3	119	11

Learjet 85	3	119	11
Embraer Phenom 300	3	117	11
Cessna 650 Citation III	3	115	11
Cessna 560 Citation V	3	110	11
Dassault Falcon 2000	3	110	11
DHC-8-300	2	107	8
HA-420 HondaJet	3	105	11
DHC-8-200	2	102	8
DHC-8-100	2	101	8
Eclipse 500	3	94	10