

# MODELO CUANTITATIVO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA PROBABILIDAD DE COLISIÓN CON OBSTÁCULOS EN LA PROXIMIDAD DE UNA PISTA

Rogelio Faut<sup>1</sup>, Pinto Federico<sup>1</sup>, Andreani Marco<sup>1</sup>; Coppa Matías<sup>1</sup>; Pitrelli Sergio<sup>1</sup>; Di Bernardi Alejandro<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Grupo de Transporte Aéreo – UIDET GTA-GIAI, Departamento de Aeronáutica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata. Calle 116 e/ 47 y 48, 1900 La Plata, Pcia Buenos Aires, Argentina

---

**Resumen**—Uno de los desafíos a los que se enfrentan actualmente los Estados y los operadores aeroportuarios en la región latinoamericana, es el proceso de certificación de los aeropuertos. En ese proceso, la identificación de peligros en un emplazamiento aeroportuario puede redundar en la necesidad de estudios aeronáuticos tendientes a evaluar el riesgo asociado a estos peligros.

Entre los posibles peligros que se identifican en un aeródromo, se destaca la existencia de obstáculos físicos ubicados en la proximidad de una pista, así como la falta nivelación de estos sectores acorde a los requerimientos de la normativa.

De esta manera, surge la necesidad de cuantificar la probabilidad de ocurrencia de un suceso, que permita la evaluación del riesgo asociado. En este sentido, se desarrolla un modelo cuantitativo que permite determinar la probabilidad de ocurrencia de una colisión con un objeto ubicado en la proximidad de una pista, en función de su localización, del tipo de operación que se desarrolla (aterrizaje o despegue), y de la pista utilizada (sentido de operación).

El modelo contempla la determinación de la probabilidad ocurrencia de un suceso tipo Veer off (salida lateral de pista), u Overrun (aeronave que sobrepasa el extremo de pista), en aterrizajes y despegues. El presente análisis considera únicamente aquellos sucesos en los cuales la posición final de la aeronave sobrepasa el extremo de pista.

Por otro lado, el modelo permite determinar la probabilidad de que la trayectoria de una aeronave, que sufre alguno de los sucesos descritos, se intercepte con la localización de un obstáculo. De la combinación de estas probabilidades surge la cuantificación de la probabilidad de colisión con obstáculos en la proximidad de una pista.

El modelo obtenido presenta como debilidad la falta de información fiable referida a la posición final de las aeronaves que sufren uno de los sucesos analizados. El modelo es flexible para su aplicación en cualquier emplazamiento aeroportuario.

**Palabras clave**—Seguridad Operacional, Probabilidad de Colisión, Certificación de Aeródromos

---

**Abstract**— One of the challenges currently facing some States and airport operators in the Latin American region, is the certification process of airports. In this process, the identification of hazards at an airport site may result in the need for aeronautical studies to evaluate the risk associated with these hazards.

Among the possible hazards that are identified in an aerodrome, the existence of physical obstacles located in the vicinity of a runway is highlighted, as well as the lack of leveling of these sectors according to the requirements of the regulations.

In this way, the necessity to quantify the probability of occurrence of an event, which allows the evaluation of the associated risk. In this sense, a quantitative model is developed that allows determine the probability of occurrence of a collision with an object located near a runway, depending on its location, the type of operation that takes place (landing or takeoff), and of the track used (direction of operation). The model contemplates the determination of the probability of occurrence of a Veer off event (lateral runway exit), or Overrun (aircraft that exceeds the runway end), in landings and takeoffs. The present analysis considers only those events in which the final position of the aircraft exceeds the runway end.

On the other hand, the model allows establish the probability that the trajectory of an aircraft, which suffers some of the described events, will be intercepted with the location of an obstacle. From the combination of these probabilities, comes the quantification of the probability of collision with obstacles near a runway.

The model obtained shows as weakness the lack of reliable information related to the final position of aircraft that suffer one of the analyzed events. The model is flexible for application at any airport location.

**Keywords**— Safety, Collision Probability, Aerodrome Certification

---

## INTRODUCCIÓN

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.

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 (Convenio de Chicago), 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.

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

Estas iniciativas se desarrollan en un marco de crecimiento sostenido del transporte aéreo a nivel mundial. La figura siguiente representa el crecimiento en los últimos años, de la cantidad de pasajeros transportados en el mundo.

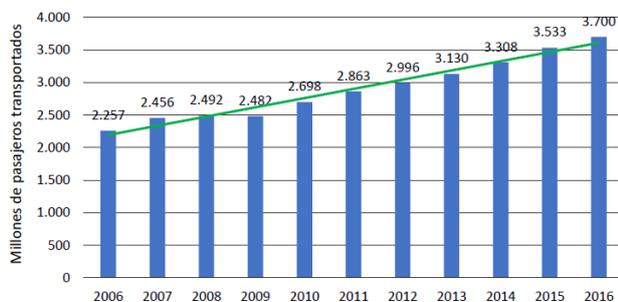


Fig. 1: Cantidad de pasajeros transportados anualmente en el mundo. Fuente OACI [1]

A continuación, se puede observar en la Figura 2 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.

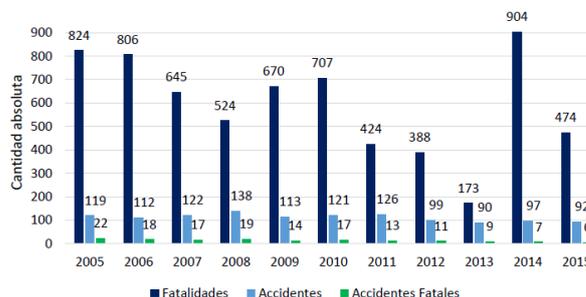


Fig. 2: Registro de accidentes y fatalidades (2005-2015). Fuente OACI. [5]

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 mejoras, 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 [6] y Metrojet 9268 [7] los cuales se cobraron un total de 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 [8] y el vuelo MH 17 [9] también de Malaysia Airlines, 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.

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 3 se puede visualizar el resultado del índice de accidentes de manera anual para el período 2005-2015. En esta, se observar 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.

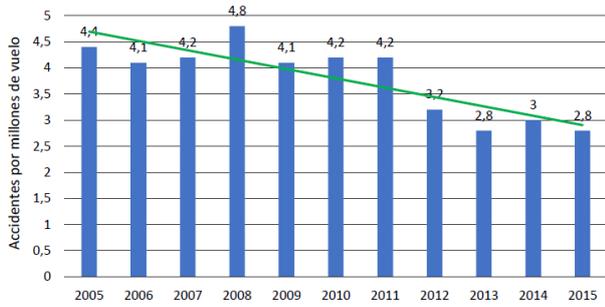


Fig. 3: Índice general de accidentes por cada millón de vuelos en el mundo. Fuente OACI. [5]

Analizando más en detalle los accidentes aéreos, se tiene que los mismos son categorizados en distintos tipos. Entendiendo la categoría de Runway y Taxiway Excursion como 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, es importante destacar que en la última década dicha categoría ah representado el 20% de los accidentes (XX)

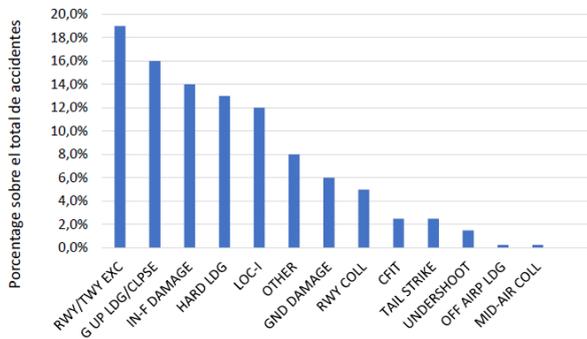


Fig. 4: Accidentes por categoría para el año 2016. Fuente IATA [10]

Otra forma de observar estos datos se presenta en la Figura 5, 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

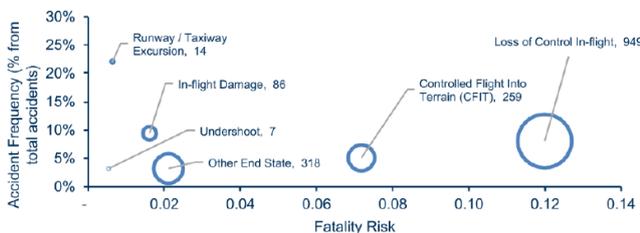


Fig. 5: Índice de accidentes graves según frecuencia y fatalidad. Fuente IATA [10]

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 6, 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. Por otro lado, en la Figura 7 se esquematizan los sucesos tipo *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.



Fig. 6: Esquema de *overrun* para despegue o aterrizaje. Fuente: elaboración propia



Fig. 7: Esquema de *veer-off* para despegue o aterrizaje. Fuente: elaboración propia

El Anexo 14 al Convenio de Chicago (Doc 7300/9), es el documento que nuclea las normas y métodos recomendados de OACI referido a los Aeródromos. Discusiones posteriores a su publicación concluyeron que el Anexo 14 es un documento de diseño, cuya aplicación a aeródromos existentes presenta diversos inconvenientes que imposibilitan su aplicación plena [11]. Incluso, en etapas de planificación y diseño de nuevos aeródromos, pueden presentarse dificultades para el cumplimiento de los requisitos normativos.

Surgen de esta manera las intenciones de OACI de implementar procesos de certificación de los aeródromos por parte de las Autoridades de Aviación Civil (AAC), de los Estados contratantes.

Es en este proceso de certificación de aeropuertos, que incluye la aplicación de un Programa Estatal de Seguridad Operacional, y Sistemas de Gestión de la Seguridad Operacional de todos los prestadores de servicios de aviación (SSP-SMS), donde emana la necesidad de llevar adelante evaluaciones de seguridad operacional con el objetivo de identificar peligros, evaluar los riesgos asociados, la aplicación de medidas de mitigación tendientes a reducir el nivel de riesgo a valores aceptables, y el monitoreo continuo de estas medidas.

El nivel de riesgo se determina mediante la asignación de un valor de severidad/gravedad, y la determinación de un nivel de probabilidad o frecuencia, que puede ser evaluada de manera cualitativa o cuantitativa.

El no cumplimiento de los requerimientos normativos referidos a las infraestructuras e instalaciones de los aeropuertos repercute como un peligro en las operaciones aeroportuarias. En este sentido, la OACI, identifica a la presencia de obstáculos no frangibles y ausencia de nivelación del terreno en franjas de pistas y áreas de seguridad de extremo de pista (RESA), como principales no-conformidades normativas en los aeropuertos.

Todo lo expuesto permite inferir la necesidad de contar con una herramienta que permita determinar la probabilidad de colisión de una aeronave que efectúa una excursión de pista, con un obstáculo en el entorno de una pista.

La importancia de un desarrollo propio emana de la identificación y caracterización de la información disponible, permitiendo procesar los datos en función de los perfiles operacionales que se consideren en el estudio, del tipo de sucesos analizados, así como de la mezcla de tráfico correspondiente.

El presente estudio aborda la problemática descrita en el párrafo anterior, desarrollando un modelo cualitativo de probabilidad de colisión bajo los escenarios establecidos.

## METODOLOGÍA

La metodología propuesta en esta publicación combina la probabilidad de ocurrencia de un suceso tipo *veer-off*, u *overrun*, en aterrizajes y despegues, con la probabilidad de que la trayectoria de la aeronave siniestrada se intercepte con la localización de un obstáculo ubicado en las inmediaciones de una pista más allá de su extremo (en adelante, probabilidad de localización).

En relación a los escenarios de riesgo considerados para la evaluación de la probabilidad, se tienen en cuenta los siguientes eventos relacionados a operaciones de despegue y aterrizaje.

- *LDOR: Landing Overrun*
- *LDVO: Landing Veer Off*
- *TOOR: Take Off Overrun*
- *TOVO: Take Off Veer Off*

De esta manera, las probabilidades de colisión a determinar se representan como:

$$P(\text{sucesos})_{LDOR} = P(\text{ocurrencia})_{LDOR} * P(\text{localización})_{LDOR}$$

$$P(\text{sucesos})_{LDVO} = P(\text{ocurrencia})_{LDVO} * P(\text{localización})_{LDVO}$$

$$P(\text{sucesos})_{TOOR} = P(\text{ocurrencia})_{TOOR} * P(\text{localización})_{TOOR}$$

$$P(\text{sucesos})_{TOVO} = P(\text{ocurrencia})_{TOVO} * P(\text{localización})_{TOVO}$$

Dado que la metodología propuesta tiene en cuenta la localización de accidentes a lo largo de la historia aeronáutica, en función de los datos disponibles, el período contemplado para el análisis fue desde el año 1990 al año 2010.

### Probabilidad de ocurrencia

La probabilidad de ocurrencia se establece como la relación entre la cantidad de sucesos de un determinado tipo (*LDOR*, *LDVO*, *TOOR*, y *TOVO*), en un período de tiempo determinado, y la cantidad de operaciones aéreas realizadas en el mismo período de tiempo.

Al no contar con una fuente única de información referida a este tipo de sucesos, la relación expuesta en el párrafo anterior se disgrega en la multiplicación de distintos indicadores, a saber:

$$P(\text{ocurrencia})_{LDOR} = \frac{Acc}{Ops} * \frac{RE}{Acc} * \frac{OR}{RE} * \frac{LDOR}{OR}$$

$$P(\text{ocurrencia})_{LDVO} = \frac{Acc}{Ops} * \frac{RE}{Acc} * \frac{Voff}{RE} * \frac{LDVO}{Voff}$$

$$P(\text{ocurrencia})_{TOOR} = \frac{Acc}{Ops} * \frac{RE}{Acc} * \frac{OR}{RE} * \frac{TOOR}{OR}$$

$$P(\text{ocurrencia})_{TOVO} = \frac{Acc}{Ops} * \frac{RE}{Acc} * \frac{Voff}{RE} * \frac{TOVO}{Voff}$$

Donde:

*Acc*: Cantidad de accidentes durante el período analizado

*Ops*: Cantidad de operaciones durante el período analizado

*RE*: Cantidad de excursiones de pista durante el período analizado

*OR*: Cantidad de sucesos tipo *overrun* durante el período analizado

*Voff*: Cantidad de sucesos tipo *veer-off* durante el período analizado

De esta manera, se releva la información disponible referida a los indicadores presentados en las publicaciones de los diferentes organismos internacionales de referencia en temáticas de aviación civil. Los datos disponibles referidos a la caracterización de accidentes aéreos contemplan un período que va del año 1990 al 2010.

Atento a que no se dispone de información detallada de los movimientos anuales de aeronaves comerciales a nivel mundial en el período contemplado es que resulta necesario realizar una estimación del mismo.

Las estimaciones realizadas se basan en la información relevada de los organismos de referencia internacional, tanto en términos de cantidad de operaciones anuales, como la variación interanual de estas operaciones. La estimación de la cantidad de operaciones aéreas (un aterrizaje o un despegue), a nivel mundial entre los años 1990 y 2010 resulta en un orden de magnitud de  $\sim 10^9$  operaciones aéreas.

Las probabilidades de ocurrencia obtenidas son del orden de  $10^{-7}$  para los sucesos relacionados con aterrizajes, y de  $10^{-8}$  para aquellos sucesos relacionados con despegues.

### Probabilidad de localización

Se determina además la distribución probabilística de localización, en función de datos de accidentes relevados a nivel mundial. De la base de datos disponible surge una nube de puntos que indica la posición final de una aeronave que ha sufrido alguno de los sucesos considerados. Estos puntos permiten la definición de curvas de probabilidad que cuantifican la probabilidad de que la trayectoria de una aeronave que sufre una excursión de pista, pase por determinada localización en el entorno de una pista.

La información se obtuvo del "World Aircraft Accident Summary" (WAAS), edición número 167 que abarca un período de 21 años, desde 1990 hasta 2010 inclusive. La WAAS 167 se trata de una base de datos realizada y publicada con el respaldo de la Autoridad de Aviación Civil del Reino Unido (CAA) y que, a día de hoy, agrupa todos los accidentes (de acuerdo a la definición establecida por el Anexo 13 de OACI) desde el año 1990 hasta comienzos del 2012. Dichos siniestros involucran tanto a turborreactores como a turbohélices en aeronaves de ala fija y aeronaves propulsadas por motores alternativos que posean 10 o más asientos. Utilizando este índice, se estudia uno a uno cada accidente determinando y analizando diversos aspectos de los mismos.

Es necesario aclarar que algunos casos publicados en esta base de datos, no cuenta con información referida a la posición final de la aeronave siniestrada, por lo que el universo de casos analizados se reduce.

Además, la base de datos considera únicamente casos de accidentes, sin incluir los incidentes graves, ni incidentes. Esta situación reduce considerablemente el universo de datos disponibles.

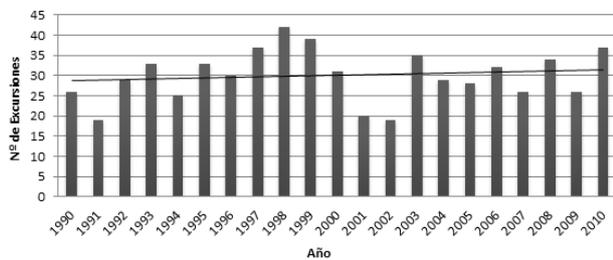
En función de los datos disponibles se elabora una lista de todas las excursiones de pista ocurridas durante el período a evaluar. Las mismas involucran aeronaves con un MTOW superior a 5.700 kg. Una vez se han determinado estas excursiones de pista, se procede a analizar particularmente cada una de ellas, buscando caracterizarlas individualmente.



**Fig. 9:** Metodología empleada en el informe para la caracterización de las Excursiones de Pista a nivel mundial. Fuente: elaboración propia

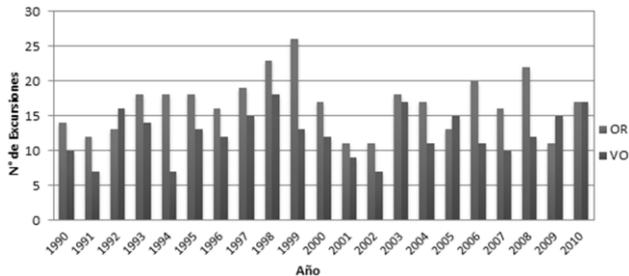
Una vez caracterizadas y ubicadas todas las excursiones de pista, se procede al desarrollo de un modelo probabilístico que, considerando la localización final de los accidentes analizados, permita obtener la probabilidad de que la trayectoria de una aeronave siniestrada se intercepte con una localización específica del entorno de una pista (ubicación de un potencial obstáculo).

Durante los años 1990 a 2010 inclusive, se identificaron un total de 630 excursiones de pista resultantes en un accidente aéreo los cuales se reparten por año según se muestra en la siguiente figura. El año con mayor número de siniestros corresponde a 1998, con un total de 42 excursiones de pista.



**Fig. 10:** Excursiones de Pista por año, 1990-2010. Fuente: Elaboración Propia.

Por su parte, la Figura 11 divide la totalidad de las excursiones estudiadas por tipo, es decir, ya fuera un *overrun* o un *veer-off*.



**Fig. 11:** Excursiones de Pista según overruns o ver-offs por año, 1990-2010. Fuente: Elaboración Propia.

De todos los accidentes estudiados, únicamente se pudo establecer fehacientemente la posición final de la aeronave en un 30% de ellos (aproximadamente unas 200 excursiones

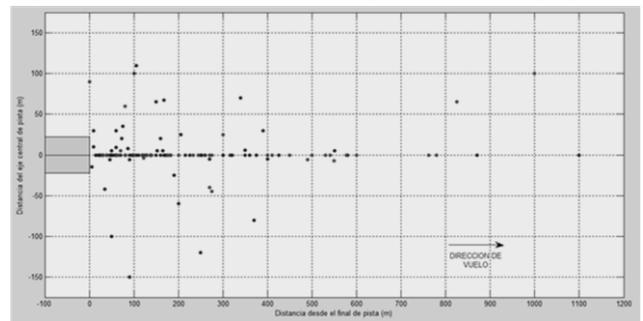
de pista). Dado que las pistas involucradas en los accidentes difieren una de otra, se debe adoptar un criterio para poder ubicar a las aeronaves en relación a la misma. Se utilizará una pista normalizada, donde las excursiones se emplazarán a partir del fin de pista.

Se presenta a continuación los ejes de coordenadas utilizados para el análisis de probabilidad de localización:



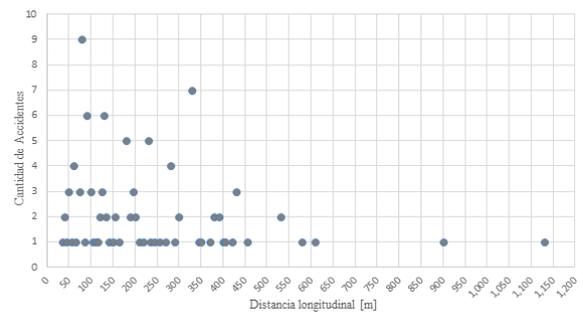
**Fig. 12:** Ejes de Coordenadas utilizados para el modelo probabilístico. Fuente: elaboración propia

En la siguiente imagen se observa la distribución de la totalidad de los accidentes mundiales emplazados en su posición final respecto al final de pista en lo que excursión de pista se refiere tanto en aterrizajes como en despegues.

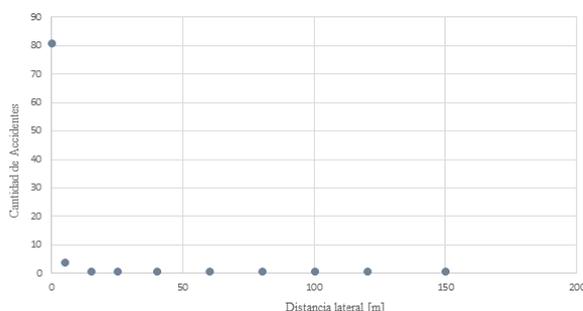


**Fig. 13:** Posición final de las aeronaves accidentadas más allá del extremo de pista. Fuente: elaboración propia

Se presenta a continuación la distribución espacial de la localización final, según ejes longitudinales y laterales, de las aeronaves en las excursiones de pista en fase de aterrizaje.



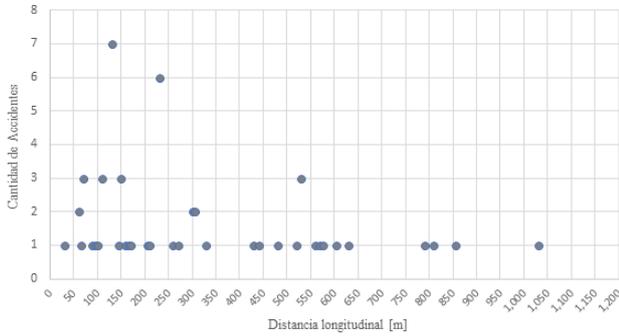
**Fig. 14:** Cantidad de aeronaves accidentadas en aterrizaje según ubicación longitudinal. Fuente: elaboración propia



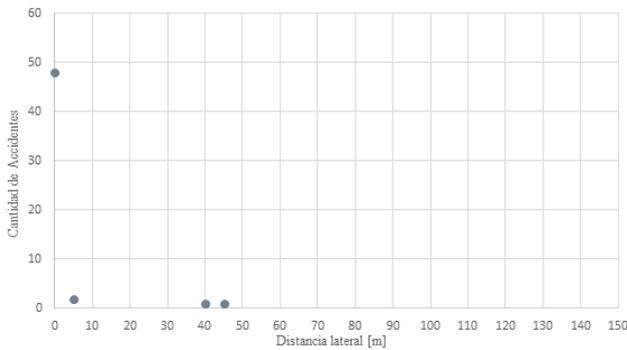
**Fig. 15:** Cantidad de aeronaves accidentadas en aterrizaje según ubicación lateral. Fuente: elaboración propia

De las figuras 13 y 14 se observa que se identifican relativamente pocos casos de accidentes en aterrizaje, cuya trayectoria presenta desvíos laterales respecto al eje de pista.

Se presenta a continuación la distribución espacial de la localización final, según ejes longitudinales y laterales, de las aeronaves en las excursiones de pista en fase de despegue.



**Fig. 16:** Cantidad de aeronaves accidentadas en despegue según ubicación longitudinal. Fuente: elaboración propia



**Fig. 17:** Cantidad de aeronaves accidentadas en despegue según ubicación lateral. Fuente: elaboración propia

En la figura anterior se observa poca cantidad de casos en los que la posición final de la aeronave tiene un desvío lateral mayor a los 10 metros. La ausencia de información debilita la ponderación de la probabilidad de localización lateral del modelo desarrollado.

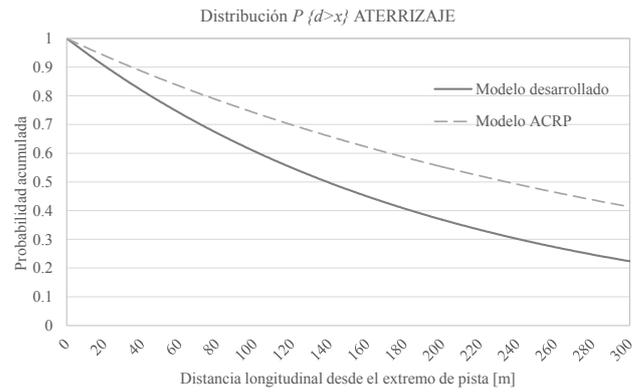
## RESULTADOS

Como resultados se obtienen las probabilidades de ocurrencia de sucesos tipo *overruns* y *veer-offs*, donde la posición de la aeronave sobrepasa el extremo de la pista, tanto para la fase de despegue como de aterrizaje.

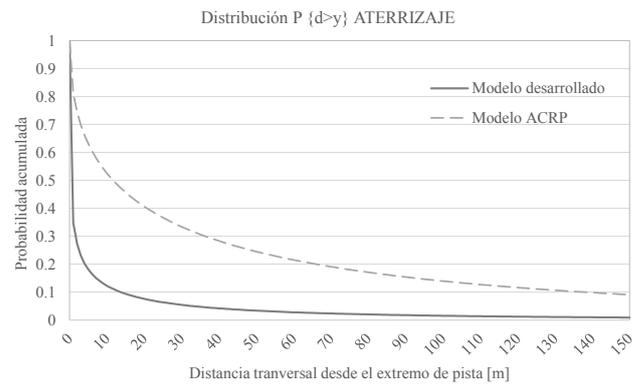
Las probabilidades de ocurrencia obtenidas son del orden de  $10^{-7}$  para los sucesos relacionados con aterrizajes, y de  $10^{-8}$  para aquellos sucesos relacionados con despegues.

Los modelos resultantes arrojan resultados comparables con los publicados por Airport Cooperative Research Program (ACRP) en [12].

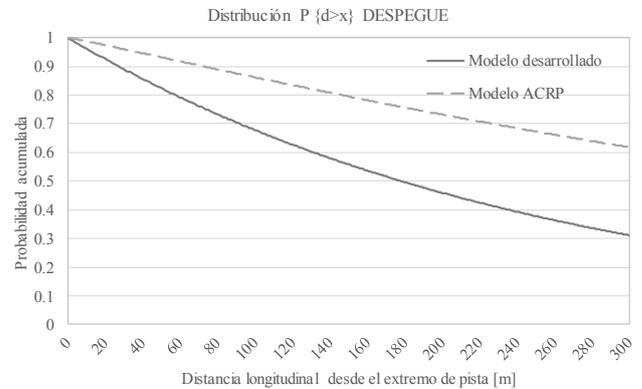
Los resultados se presentan en las siguientes figuras.



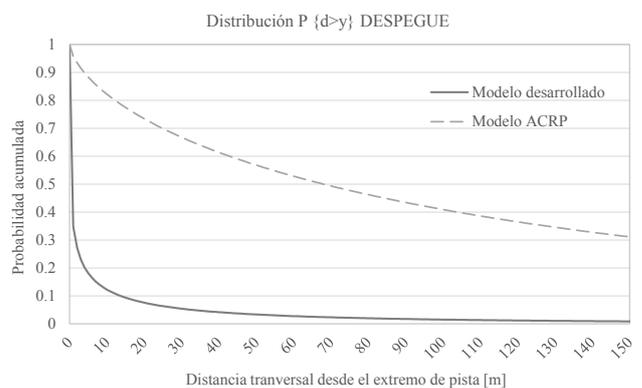
**Fig. 18:** Distribución de la probabilidad longitudinal en aterrizaje. Fuente: elaboración propia



**Fig. 19:** Distribución de la probabilidad lateral en aterrizaje. Fuente: elaboración propia



**Fig. 20:** Distribución de la probabilidad lateral en despegue. Fuente: elaboración propia



**Fig. 21:** Distribución de la probabilidad lateral en despegue. Fuente: elaboración propia

## CONCLUSIONES

Se desarrolló un modelo que permite cuantificar la probabilidad de que una aeronave que sufre una excursión de pista, ya sea un *overrun* o un *veer-off*, y cuya posición final supera el extremo de pista.

La metodología incluye el cálculo de la probabilidad de ocurrencia de un suceso tipo *overrun* o *veer-off*, combinada con la probabilidad de que la trayectoria de la aeronave, que sufre el accidente, se intercepte con la localización de un obstáculo en las inmediaciones de la pista.

La utilidad de un desarrollo propio emana de la identificación y caracterización de la información disponible, permitiendo procesar los datos en función de los perfiles operacionales que se consideren en el estudio, del tipo de sucesos analizados, así como de la mezcla de tráfico correspondiente.

La probabilidad de ocurrencia se establece como la relación entre la cantidad de sucesos analizados en este estudio, tanto en aterrizajes como en despegues, en un período de tiempo determinado, y la cantidad de operaciones aéreas realizadas en el mismo período de tiempo. El cálculo de la probabilidad se disgrega en diferentes indicadores, cuyo valor se releva de publicaciones de los organismos internacionales de referencia en temáticas de aviación civil.

También, en función de la información publicada por estos organismos, referida tanto a la cantidad de operaciones anuales, como a la variación interanual de estas operaciones, se estima la cantidad de operaciones aéreas (aterrizaje o despegue), a nivel mundial entre los años 1990 y 2010 resulta en un orden de magnitud de  $\sim 10^9$  operaciones aéreas.

Las probabilidades de ocurrencia obtenidas son del orden de  $10^{-7}$  para los sucesos relacionados con aterrizajes, y de  $10^{-8}$  para aquellos sucesos relacionados con despegues.

Para la determinación de la probabilidad de localización se utilizó una base de datos realizada y publicada con el respaldo de la Autoridad de Aviación Civil del Reino Unido (CAA) y que, a día de hoy, agrupa todos los accidentes (de acuerdo a la definición establecida por el Anexo 13 de OACI), la "World Aircraft Accident Summary" (WAAS), edición número 167 que abarca el período que va desde 1990 hasta 2010 inclusive. Algunos casos informados no cuentan con detalle de la posición final de la aeronave.

Las curvas resultantes se comparan con las publicadas por la ACRP. De la comparación se observa que las probabilidades calculadas con el modelo desarrollado son de menor magnitud que las presentadas por la ACRP, esta situación es más evidente en las probabilidades de localización lateral en fase de despegues.

Se infiere que las diferencias encontradas responden a la poca información referida a la posición final de las aeronaves que sufren un accidente.

Surge así la necesidad de contar con una base de datos que incluya un relevamiento estandarizado de accidentes, incidentes graves e incidentes a fin de aumentar el universo de datos disponibles potenciando la confiabilidad de los modelos desarrollados. En este sentido, OACI establece criterios básicos para la implementación de sistemas de recopilación y procesamiento de datos sobre seguridad operacional.

Contando con una base de datos fiable que considere distintos tipos de sucesos, ya sean accidentes, incidentes graves o incidentes, es posible desarrollar modelos probabilísticos que consideren sucesos tipo *veer-off* donde la aeronave no sobrepase el extremo de pista, o sucesos tipo *undershoot* (aeronave que, durante la fase de aterrizaje, no alcanza el umbral de pista), entre otros.

## REFERENCIAS

- [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] The Aviation Herald, "Crash: Germanwings A320.," 2015.
- [7] The Aviation Herald, "Crash: Metrojet A321.," 2015.
- [8] The Aviation Herald, "Crash: Malaysia B772, aircraft missing, data indicate flight MH-370.," 2014.
- [9] The Aviation Herald, "Crash: Malaysia B772, aircraft was shot down from separatist controlled ground.," 2014.
- [10] International Air Transport Association (IATA), "Annual Review 2016," 2016.
- [11] Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), "Procedimientos para los servicios de navegación aérea – Aeródromos, segunda edición 2015."
- [12] Airport Cooperative Research Program (ACRP), Report 50, "Improved Models for Risk Assessment of Runway Safety Areas, 2011."