



## Asociación de superficies limitadoras de obstáculos y franjas de pista

Sergio F. Pitrelli - spitrelli@gmail.com

Universidad Nacional de La Plata, Grupo Transporte Aéreo - UIDET GTA-GIAI, Departamento de Aeronáutica, Facultad de Ingeniería

Alejandro DI Bernardi - aledibernardi@hotmail.com

Universidad Nacional de La Plata, Grupo Transporte Aéreo - UIDET GTA-GIAI, Departamento de Aeronáutica, Facultad de Ingeniería

Angel Paris Loreiro- angel.paris@upm.es

Departamento de Sistemas Aeroespaciales, Transporte Aéreo y Aeropuertos, Universidad Politécnica de Madrid,

Pedro Nuñez Blanco - PBlanco@ineco.com

Departamento de Sistemas Aeroespaciales, Transporte Aéreo y Aeropuertos, Universidad Politécnica de Madrid

Alvaro Rodriguez Sanz - alvaro.rodriguez.sanz@upm.es

Universidad Politécnica de Madrid (UPM), Escuela Técnica Superior de Ingeniería Aeronáutica y del Espacio (ETSIA)

### Abstract

En el presente se analiza la asociación de las SLOs con la franja de pista, superficies de aproximación, superficies de transición entre otros elementos y algunos interrogantes sobre la necesidad o no de esta asociación.

La seguridad operacional puede ser analizada a través del SMS, del SSP, mediante matrices de riesgo, estudios de evaluación de seguridad operacional, estudios de compatibilidad, estudios aeronáuticos o bien, mediante la aplicación del Anexo 14 Lo anterior es analizado observando las características de las SLOs a través de las diferentes ediciones del Anexo 14 (desde la tercera hasta la octava edición y la propuesta de modificación de 2020).

En la edición vigente del Anexo 14, se observan cambios relacionados con parámetros de diseño sobre la base de un cambio de conceptos respecto a la clave de referencia de aeródromo que se tenía. Los obstáculos que se analiza por medio de superficies limitadoras de obstáculos sigue permaneciendo, casi sin alteración, salvo por, la modificación de algunas dimensiones que son producto del cambio de dimensiones de la franja de pista.

Al modificar las dimensiones de franjas de pista, se han modificado como consecuencia los bordes internos de las superficies que en teorías están asociados a la misma. La contribución es un análisis de dicha asociación.

### Keywords

Pistas; Franjas; SLOs; Seguridad Operacional

# Asociación de superficies limitadoras de obstáculos y franjas de pista

## Introducción

El presente trabajo tiene por objeto analizar algunas cuestiones de relativa importancia en relación con la gestión de la seguridad operacional [1] y la normativa asociada. En el contexto de una certificación de aeródromos [2], estos dos elementos son de vital importancia, ya que esto último implica la aceptación de las condiciones de operación del aeródromo por parte de la Autoridad Aeronáutica local. Generalmente, lo anterior implica el cumplimiento de normativa y/o recomendaciones o bien la aceptación de una brecha respecto del cumplimiento bajo la filosofía ALARP, (tan bajo como sea razonablemente practicable), esto se verá reflejado en la documentación del sistema de gestión de la seguridad operacional [3][4] y en los niveles aceptables del rendimiento en materia de seguridad operacional (ALOSP) por parte del Estado.

En ocasiones, el no cumplimiento de las regulaciones o reglamentaciones nos lleva a realizar estudios y/o evaluaciones de la seguridad operacional, para poder tomar decisiones con el sustento de análisis pormenorizados de una situación particular. Es decir que, al existir una brecha entre lo conceptualmente correcto y lo realmente existente es necesario un estudio que determine la situación y presente alternativas para cumplir con el nivel aceptable (ALOSP).

En este caso, nos referiremos al análisis de las relaciones existentes entre la franja de una pista (FP) y las superficies limitadoras de obstáculos (SLOs) asociadas a una pista, que se ven reflejadas en el Anexo 14 de OACI (An14), las cuales deberían reflejarse en forma de regulaciones o reglamentaciones locales por los Estados miembros de OACI.

## Metodología

Debido a que las normas en muchas ocasiones no son explícitas en el sentido que no explican los conceptos que aplican, sino más bien, son una regulación de los mismos, por medio de definiciones claras. En muchas ocasiones quienes aplican estas normas no logran entender los conceptos que hay detrás de las mismas, es por ello por lo que en este trabajo el método es recorrer la normativa de aplicación a través de las diferentes ediciones de esta, identificando los mismos temas de análisis, en este caso nos referimos a franjas de pista y superficies limitadoras de obstáculos, para poder estudiar su evolución y lograr concluir acerca de la relación existente entre ellas.

Este proceso se ve reflejado en la siguiente Figura 1.



Figura 1 - Proceso metodológico.  
Fuente: Autor

## Desarrollo

Para poder estudiar la relación existente entre la FP y las SLOs, es importante analizar que ha ocurrido con estos conceptos y definiciones a lo largo del tiempo, por ello recurrimos a observar cómo se ha desarrollado esto a través de las diferentes ediciones del An14 [5][6][7][8][9][10].

La edición vigente del An14 es de julio 2018 (octava Ed), pero si observamos desde las primeras ediciones, podremos ver cómo fue la variación de los conceptos a lo largo del tiempo. En la Figura 2 se muestra como fue el desarrollo de los documentos mencionados a lo largo del tiempo y en relación con su volumen (cantidad de páginas) de cada uno.

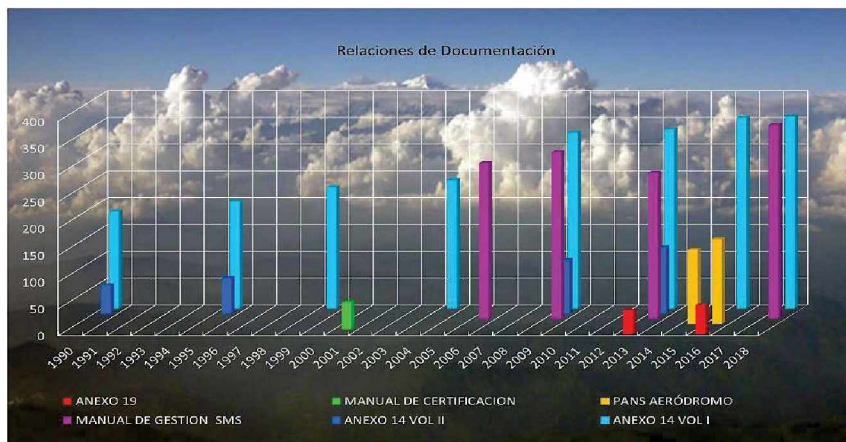


Figura 2 - Evolución del Anexo 14 respecto a documentación básica de certificación.  
Fuente: Autor

Desde las primeras ediciones hasta la última, la definición del concepto de FP no ha variado, definiéndose como; *una superficie que comprende una pista y zona de parada si hubiere, destinada a reducir riesgo de daño a aeronaves que se salgan de pista o a proteger a las que la sobrevuelan*. Por ello se deduce que la misma es una superficie en sentido físico, es decir que es “*tangible*”, no es una superficie imaginaria ya que uno de los objetivos es proteger a las aeronaves que se salgan de pista, vale decir que se apoyan sobre la misma, y por tanto, entendemos que es el terreno o área circundante a la pista. Esto sugiere una primera diferencia respecto de las SLOs, las cuales, sí son superficies imaginarias.

Por otra parte, las dimensiones de la FP, tanto en longitud como en anchura, están definidas por el An14. Respecto a esto, podemos decir que en las primeras ediciones de este, ambas dimensiones eran recomendaciones, salvo por la anchura para una pista de categoría de aproximación I, que estaba normada, y aún permanece igual, pero haciendo la mención “siempre que fuera posible”, con lo cual, la norma podría leerse como una recomendación; en tanto que; ¿Cuándo no es posible? o dicho de otra forma; ¿Cuándo es imposible?

A partir de la tercera edición (1999) fue que la longitud de la FP comenzó a estar normada.

Las dimensiones propiamente dichas, más allá del carácter recomendado o normado, no se vieron modificadas hasta la última edición (2018) en que para pistas instrumentales (tanto de precisión como de no precisión) los 300 metros de ancho pasaron a ser 280 metros, y los 150 m de ancho pasaron a ser 140 metros, según la clave de referencia.

De la misma forma que se establecen longitud y anchura de la FP, se establece la nivelación, tanto longitudinal como transversal. Podemos observar que no ha habido modificaciones respecto a este tema, es decir que las consideraciones de nivelación de terreno alrededor de la pista siguen



permaneciendo sin modificaciones con el transcurso de las ediciones del An14, así mismo, cabe mencionar que en todos los casos el carácter es recomendatorio.

Las SLOs son superficies “*imaginarias*”, entorno a una pista, Figura 3, que marcan los límites hasta donde pueden proyectarse en el espacio los obstáculos, para que puedan llevarse a cabo con seguridad las operaciones de las aeronaves para las que está prevista. Observando los conceptos y definiciones de SLOs a través de las diferentes ediciones del An14, tampoco se observan cambios respecto de las mismas, salvo que, como mencionamos anteriormente en la última edición (2018) al cambiar el ancho de la FP, también se modificaron los anchos de los bordes internos de la superficie de aproximación para aproximaciones instrumentales, tanto de precisión como no precisión. Los anchos de estos bordes interiores son coincidentes con el ancho de la FP correspondiente, Tabla 1. Esto lleva a pensar que si bien la FP es una superficie tangible (terreno) tiene estrecha relación con las SLOs que son superficies imaginarias.

Tabla 1- Comparativa Longitud borde interior Superficie Aproximación.  
Fuente: Anexo 14

Anexo 14 Edición 8 <sup>va</sup> , 2018											Anexo 14 Edición 7 <sup>ma</sup> , 2016											
Tabla 4-1. Dimensiones y pendientes de las superficies limitadoras de obstáculos — Pistas para aproximaciones																						
PISTAS PARA APROXIMACIONES																						
CLASIFICACIÓN DE LAS PISTAS																						
Superficies y dimensiones <sup>1</sup>	Aproximación de precisión										Aproximación de precisión											
	Categoría I					Categoría II					Categoría III					Categoría IV						
	1	2	3	4	1,2	3	4	1,2	3,4	1,2	3,4	1,2	3,4	1,2	3,4	1,2	3,4	1,2	3,4	1,2	3,4	
<b>CÓNICA</b>																						
Pendiente:	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%
Altura:	15 m	15 m	15 m	100 m	100 m	100 m	100 m	100 m	100 m	100 m	100 m	100 m	100 m	100 m	100 m	100 m	100 m	100 m	100 m	100 m	100 m	100 m
<b>HORIZONTAL INTERNA</b>																						
Altura:	45 m	45 m	45 m	45 m	45 m	45 m	45 m	45 m	45 m	45 m	45 m	45 m	45 m	45 m	45 m	45 m	45 m	45 m	45 m	45 m	45 m	45 m
Radio:	3 100 m	2 700 m	1 900 m	1 600 m	3 300 m	3 300 m	3 300 m	2 500 m	2 500 m	2 500 m	2 500 m	2 500 m	2 500 m	2 500 m	2 500 m	2 500 m	2 500 m	2 500 m	2 500 m	2 500 m	2 500 m	2 500 m
<b>APROXIMACION INTERNA</b>																						
Altura:	—	—	—	—	—	—	—	90 m	120 m <sup>2</sup>	120 m <sup>2</sup>	120 m <sup>2</sup>	120 m <sup>2</sup>	120 m <sup>2</sup>	120 m <sup>2</sup>	120 m <sup>2</sup>	120 m <sup>2</sup>	120 m <sup>2</sup>	120 m <sup>2</sup>	120 m <sup>2</sup>	120 m <sup>2</sup>	120 m <sup>2</sup>	
Distancia desde el umbral:	—	—	—	—	—	—	—	80 m	80 m	80 m	80 m	80 m	80 m	80 m	80 m	80 m	80 m	80 m	80 m	80 m	80 m	
Longitud:	—	—	—	—	—	—	—	200 m	200 m	200 m	200 m	200 m	200 m	200 m	200 m	200 m	200 m	200 m	200 m	200 m	200 m	
Pendiente:	—	—	—	—	—	—	—	2,5%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	
<b>APROXIMACION</b>																						
Longitud del borde interno:	90 m	90 m	120 m	120 m	150 m	150 m	150 m	150 m	150 m	150 m	150 m	150 m	150 m	150 m	150 m	150 m	150 m	150 m	150 m	150 m	150 m	
Distancia desde el umbral:	20 m	20 m	20 m	20 m	20 m	20 m	20 m	20 m	20 m	20 m	20 m	20 m	20 m	20 m	20 m	20 m	20 m	20 m	20 m	20 m	20 m	
Desviación (a cada lado):	10%	10%	10%	10%	15%	15,4	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	

El An14 expresa que teniendo en cuenta la consideración de nivelación, bajo ciertas circunstancias podría ser que la FP pueda estar por arriba, tanto del borde interior de la superficie de aproximación como del borde interior de la superficie de ascenso en despegue, pero no se pretende que se nivele la FP o eliminen objetos para que coincida con el borde interior de dichas superficies, a menos que se considere que pueden representar un peligro para las aeronaves.

No obstante lo anteriormente expresado, no se hace referencia alguna sobre cuáles son las consideraciones que habría que tener respecto del borde inferior de la superficie de transición, por lo que la consecuencia de falta de consideraciones particulares se traduce en que la superficie de transición no debería ser vulnerada por el terreno en su borde inferior.

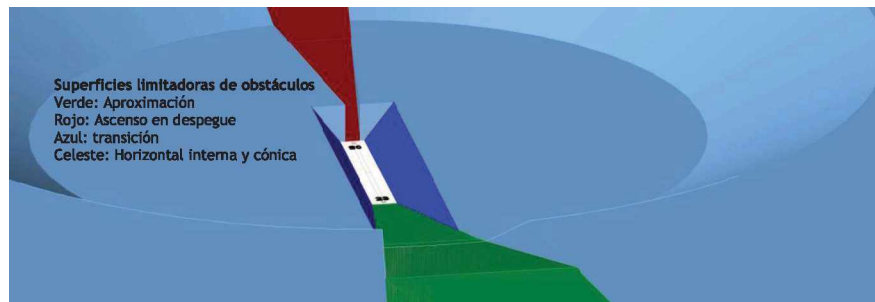


Figura 3 - Superficies limitadoras generadas aproximación CAT I  
Fuente: Autor

Por otra parte, es necesario mencionar que la franja de una pista si bien es una sola, está dividida en dos partes, que se diferencian entre otras cosas, por los criterios de nivelación. La parte más cercana a la pista, llamada en la práctica “*franja nivelada*” tiene criterios de nivelación más restrictivos que



la parte más alejada. Incluso en la parte más alejada los criterios de limitación de nivelación son tan solo ascendentes, no existiendo condición límite para pendientes descendentes.

Si analizamos la relación entre las FP y la superficie de transición, vemos que la asociación entre ellas está dada por la definición de la propia superficie y fundamentalmente por el borde inferior de la misma, ya que el mismo se define según el AN14 como en la Figura 4:

**Superficie de transición**

4.1.13 *Descripción.*— *Superficie de transición.* Superficie compleja que se extiende a lo largo del borde de la franja y parte del borde de la superficie de aproximación, de pendiente ascendente y hacia afuera hasta la superficie horizontal interna.

Figura 4 - Descripción Superficie de Transición  
Fuente: Anexo 14

Las características están dadas por la Figura 5:

4.1.14 *Características.*— Los límites de una superficie de transición serán:

a) un borde inferior que comienza en la intersección del borde de la superficie de aproximación con la superficie horizontal interna y que se extiende siguiendo el borde de la superficie de aproximación hasta el borde interior de la superficie de aproximación y desde allí, por toda la longitud de la franja, paralelamente al eje de pista; y

b) un borde superior situado en el plano de la superficie horizontal interna.

4.1.15 La elevación de un punto en el borde inferior será:

a) a lo largo del borde de la superficie de aproximación — igual a la elevación de la superficie de aproximación en dicho punto; y

b) a lo largo de la franja — igual a la elevación del punto más próximo sobre el eje de la pista o de su prolongación.

*Nota.*— Como consecuencia de b), la superficie de transición a lo largo de la franja debe ser curva si el perfil de la pista es curvo o debe ser plana si el perfil de la pista es rectilíneo. La intersección de la superficie de transición con la superficie horizontal interna debe ser también una línea curva o recta dependiendo del perfil de la pista.

4.1.16 La pendiente de la superficie de transición se medirá en un plano vertical perpendicular al eje de la pista.

Figura 5 - Características Superficie de Transición  
Fuente: Anexo 14

Esta definición y características nos muestran que, la altura del borde inferior de la superficie de transición es variable punto a punto y que es igual a la cota del eje de pista o la prolongación del mismo en el punto correspondiente más cercano.

Por otra parte la normativa nos asocia los respectivos anchos de pista según el número clave de referencia y la anchura exterior del tren principal (OMGWS). Relacionando esto con los tipos de aproximación obtenemos la Tabla 2 donde el ancho de pista está expresado en metros; a partir de aquí identificaremos con amarillo, verde y celeste en correspondencia con pistas de aproximaciones de precisión, no precisión y visuales respectivamente.

Tabla 2- Comparativa Longitud borde interior  
Fuente: Autor

CLAVE	IFR: Aproximación por instrumentos						VFR: Aproximación visual			
	IP: Inst. de precisión			INP: Inst. de no precisión			VFR: Aproximación visual			
1	18	23		18	23		18	23		
2		23	30		23	30		23	30	
3			30			30			30	45
4						45				45

Teniendo presente lo anterior y asumiendo nivelaciones de franja admisibles máximas y mínimas simétricas respecto del eje de pista, hemos trazado los perfiles transversales para las combinaciones posibles de anchos de pista, tipos de aproximación y claves de referencia, y hemos obtenido los perfiles transversales en la franja de pista

## Resultados

Para simplificar los resultados obtenidos, se muestran en forma de tabla, tratando de evitar confusiones, y por simetría del perfil transversal solo se presenta un lateral de estos.

Es necesario aclarar, que en los perfiles mostrados a continuación, Tabla 3, tomando la medición de la pendiente en sentido de alejamiento de la pista, en la parte de la franja más cercana a la pista se han colocado pendientes máximas admisibles recomendadas (positivas y negativas), pero en la parte de la franja más alejada de pista solo se ha trazado la pendiente máxima positiva, ya que no existe limitación para la pendiente negativa

Tabla 3- Perfiles transversales nivelaciones Franjas de Pista  
Fuente: Autor

Aprox.	Clave	Ancho	Perfil de pista y franja según clasificación
IP	3-4	45	
IP	3	30	
IP	2	30	
IP	1-2	23	
IP	1	18	
INP	3-4	45	
INP	3	30	

Aprox. Clave Ancho			Perfil de pista y franja según clasificación	
INP	2	30		
INP	1-2	23		
INP	1	18		
VFR	3-4	45		
VFR	3	30		
VFR	2	30		
VFR	2	23		
VFR	1	23		
VFR	1	18		

Los resultados de los perfiles anteriores se observan resumidos en las siguientes tablas, como diferencia de cota entre la máxima cota lograda respetando la nivelación al máximo permitido por norma y la cota del borde inferior de la superficie de transición; esto se puede ver, como la zona del círculo de la Figura 6 genérica siguiente:

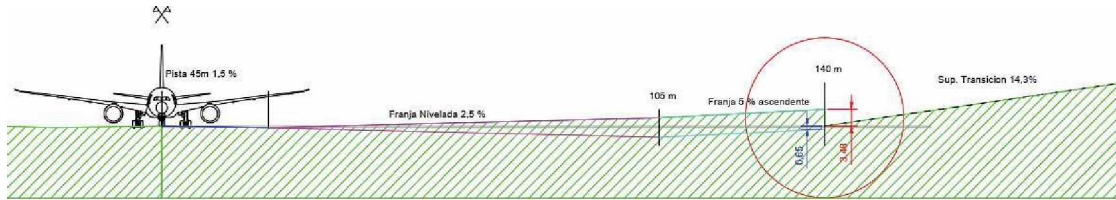


Figura 6 - Esquema genérico (Pista calve 4 aprox. Precisión)  
Fuente: Autor

En la Tabla 4 se resumen los resultados de haber asumido una nivelación transversal de +2,5 % (ascendente) en la parte nivelada de la franja, y una pendiente de +5% (ascendente) en la parte más allá de la franja nivelada, ya que en esta última parte no hay límite descendente. Estos se corresponden con las cotas rojas de los gráficos de la Tabla 3.

Tabla 4- Resultados diferencias de cotas (metros)  
Fuente: Autor

CLAVE	IFR						VFR	
	IP			INP				
1	2,29	2,18		2,29	2,18		0,49	0,38
2		2,18	2,03		2,18	2,03		0,68
3			3,78	3,48		4,53	4,23	
4				3,48			4,23	
								0,98

En la Tabla 5 se resumen los resultados de haber asumido una nivelación transversal de -2,5 % (descendente) en la parte nivelada de la franja, y una pendiente de +5% (ascendente) en la parte más allá de la franja nivelada, ya que en esta última parte no hay límite descendente. Estos se corresponden con las cotas azules de los gráficos de la Tabla 3.

Tabla 5- Resultados diferencias de cotas (metros)  
Fuente: Autor

CLAVE	IFR						VFR	
	IP			INP				
1	0,43	0,47		0,43	0,47		-0,77	-0,73
2		0,47	0,53		0,47	0,53		-1,03
3			-0,72	-0,65		1,53	1,60	
4				-0,65			1,60	
								-1,65

Los resultados anteriores se pueden unificar en el siguiente gráfico, Figura 7, donde el cero sería la cota de referencia en el borde de la franja para el borde interior, es decir la cota que tiene el punto del eje de pista más cercano, donde:

- La serie A, representa nivelaciones cuya parte de la franja más cercana a la pista se han colocado pendientes máximas admisibles recomendadas positiva (cotas rojas).
- La serie B, representa nivelaciones cuya parte de la franja más cercana a la pista se han colocado pendientes máximas admisibles recomendadas negativa (cotas azules).
- La codificación es, C: clave; A: ancho de pista; IFRP: aproximación instrumental de no precisión; IFRNP aproximación instrumental de precisión y VRF: aproximación visual.



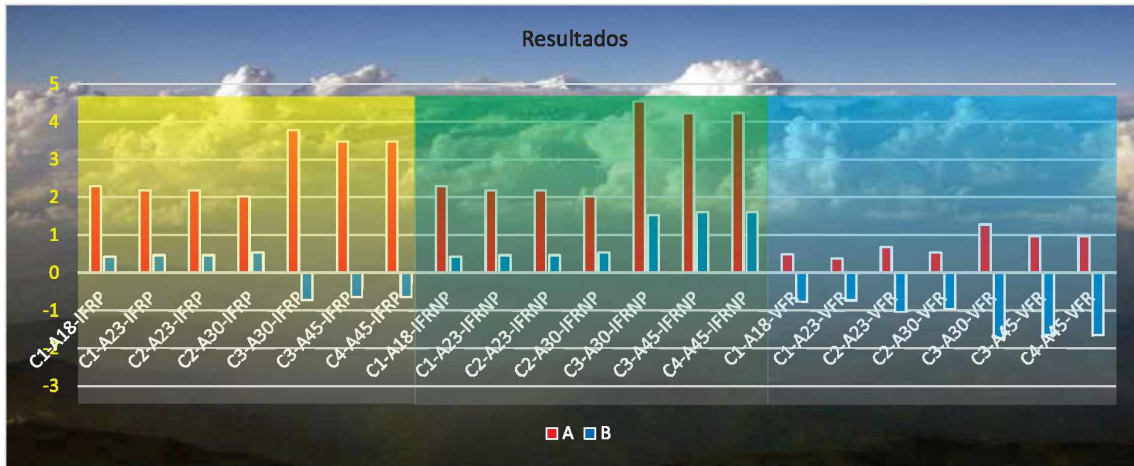


Figura 7 - Resumen de resultados  
Fuente: Autor

## Análisis de resultados

Respecto de los resultados anteriores podemos realizar las siguientes observaciones:

- En ninguno de los casos analizados la cota obtenida al borde de la franja es coincidente con la cota del borde inferior de la superficie de transición.
- Para las condiciones de nivelaciones de la tabla 4 (serie A) los resultados son todos positivos, esto implica que el terreno en el borde de la franja siempre está por encima del borde inferior de la superficie de transición.
- Para las condiciones de nivelaciones de la tabla 5 (serie B) los resultados son positivos y negativos, esto implica que el terreno en el borde de la franja puede estar por encima o por debajo del borde inferior de la superficie de transición.
- Para pistas IFR-INP (verde) tanto en la serie A como la serie B, los resultados son positivos, por tanto la nivelación en el borde de la franja siempre está por encima del borde inferior de la superficie de transición.
- La diferencia máxima es de 4,53 m para pistas de 30 m de ancho, clave 3 e instrumental de no precisión. Esto implica que llegado al borde de la franja, si nivelamos al máximo admisible según recomendación de AN 14, tendremos una cota de terreno de 4,53 m por encima de la cota del eje de pista en el punto correspondiente, es decir 4,53 m por encima del borde inferior de la superficie de transición.

## Conclusiones

De los resultados anteriores se puede concluir que cuando:

- 1- Se nivela la franja de pista con valores de pendientes recomendados, pero extremos o límites, es decir los máximos admisibles en la llamada franja nivelada y en la parte de la franja más allá de la nivelada y,
- 2- Se respeta que el terreno en el área donde comienza la superficie de transición, ósea más allá de la franja de pista, no vulnera la superficie mencionada.



Siempre tendremos un salto o escalón del terreno en el borde de la franja para poder cumplir con la limitación de la superficie de transición. La magnitud de estos escalones será variable dependiendo del caso correspondiente, pudiendo llegar a un máximo de 4,53 m para el caso de una pista de 30 m de ancho, clave de referencia 3 e instrumental de no precisión.

Las particularidades de estas situaciones es que se dan respetando las recomendaciones establecidas por el AN 14.

En síntesis, pareciera ser que, respetando la normativa vigente llegamos a una situación que a priori no sería deseable. En este punto, es cuando volvemos a pensar en la definición de la FP que mencionaba que *“la franja es un área destinada a reducir riesgo de daño a aeronaves que se salgan de pista o a proteger a las que la sobrevuelan”*. Podríamos pensar que es menos probable, que el borde de una FP sea alcanzado por una aeronave que se sale de pista que a ser sobrevolado por la misma aeronave. Este interrogante, es algo que queda pendiente para análisis en un próximo trabajo haciendo un estudio de probabilidades de alcanzar el borde de la franja de una aeronave que se salga de pista.

## Referencias

- [1] Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), Doc. 9859. Manual de Gestión de la Seguridad Operacional, Edición Cuarta 2018.
- [2] Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), Doc. 9774. Manual de Certificación de Aeródromos, Edición Primera, 2001.
- [3] Aeródromos Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), Doc. 9981. PANS Aeródromos, Edición Segunda, 2016.
- [4] Organización de Aviación Civil Internacional, “Anexo 19: Gestión de las Seguridad Operacional, Edición Octava 2018.
- [5] Organización de Aviación Civil Internacional, “Anexo 14 Volumen I: Diseño y operaciones de aeródromos, Edición Tercera 1999.
- [6] Organización de Aviación Civil Internacional, “Anexo 14 Volumen I: Diseño y operaciones de aeródromos, Edición Cuarta 2004.
- [7] Organización de Aviación Civil Internacional, “Anexo 14 Volumen I: Diseño y operaciones de aeródromos, Edición Quinta 2009.
- [8] Organización de Aviación Civil Internacional, “Anexo 14 Volumen I: Diseño y operaciones de aeródromos, Edición Sexta 2013.
- [9] Organización de Aviación Civil Internacional, “Anexo 14 Volumen I: Diseño y operaciones de aeródromos, Edición Séptima 2016.
- [10] Organización de Aviación Civil Internacional, “Anexo 14 Volumen I: Diseño y operaciones de aeródromos, Edición Octava 2018.