

DISEÑO DE AERÓDROMOS: IMPACTO DE LA MODIFICACIÓN DEL ANEXO 14 SOBRE LAS EMISIONES GASEOSAS

Ramírez-Díaz, Gabriel, Trujillo Carlos, Sznajderman Lucas, Di Bernardi, Alejandro

Grupo 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, Buenos Aires, Argentina. Correo electrónico: gabriel.ramirezdiaz@ing.unlp.edu.ar

INTRODUCCIÓN

La actividad aeronáutica se caracteriza por contar con un cuerpo normativo que busca regular la actividad a nivel internacional, en este contexto, la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) cuenta con una amplia documentación de referencia reflejada ésta, en sus objetivos estratégicos, en el Convenio de Chicago, sus anexos, sus manuales, sus circulares, sus procedimientos, sus circulares y otros documentos asociados. En particular cada anexo al convenio, a través de las Normas y Métodos Recomendados especifica los requisitos (aplicación, emplazamiento, características, entre otros) que debe reunir cada uno de los elementos constitutivos del transporte aéreo comercial, tales como infraestructuras, instalaciones, equipamiento y servicios asociados, necesarios para mantener operaciones estables, regulares, eficientes, seguras y en armonía con el medio ambiente.

En relación a los aeródromos, el anexo 14 volumen I concentra las normas y métodos recomendados en relación al “Diseño y Operación de aeródromos”, y en consecuencia las especificaciones correspondientes a cada una de las instalaciones indicadas en dicho anexo, se han relacionado entre sí por un sistema de clave de referencia (CR), cuyo propósito tal como indica [1] es proporcionar un método simple para relacionar las numerosas especificaciones concernientes a las características de los aeródromos, a fin de suministrar una serie de instalaciones aeroportuarias que convengan a los diferentes aviones destinados a operar en el aeródromo. No se pretende que esta clave se utilice para determinar los requisitos exactos en cuanto a la longitud de la pista ni en cuanto a la resistencia del pavimento, pero si especifica aquellas distancias mínimas requeridos o exigidas por cuestiones de seguridad operacional, regularidad o eficiencia operacional.

La CR está compuesta de dos elementos (un número y una letra) que se relacionan con las características y dimensiones del avión. El número y la letra de la clave se selecciona para fines de diseño con las características críticas del avión para el cual se proporcionan las instalaciones. Al aplicar las disposiciones del Anexo 14, Volumen I, se indican en primer lugar los aviones para los que se destine el aeródromo y después se determinan los dos elementos de la clave. Si bien el concepto y finalidad de la CR se conserva, la 8ava edición del anexo 14 presenta cambios en relación al elemento 2.

Elemento 2: en la RAAC 154 (y Anexo 14 7ma edición) se determina a partir de las dimensiones físicas de la aeronave trocha y envergadura, en tanto que, en la 8ava edición, el elemento 2 depende únicamente de la envergadura. No obstante, la trocha sigue siendo una dimensión de diseño la cual se emplea en forma desagregada para el análisis de determinadas instalaciones.

En relación al elemento 1, en ambos documentos, corresponde a un número basado en la longitud del campo de referencia (LCR) del avión.

El cambio en la conformación del elemento de la CR en conjunto con los cambios en algunos requisitos indicados en la normativa de referencia, dan lugar a cambios en las

dimensiones de la infraestructura. Los cambios en la infraestructura pueden repercutir por ejemplo en las distancias entre elementos constitutivos tales como dos rodajes paralelos, lo cual conlleva un impacto en las distancias que debe recorrer la aeronave. Asimismo, los cambios que se pueden dar en relación a un mismo elemento tal como el ancho de la pista, que, si bien no influye en las distancias que deben ser recorridas por la aeronave, si tiene un impacto sobre las dimensiones y magnitud de la infraestructura.

La relación entre las características geométricas y la componente ambiental yace en que al aumentar el distanciamiento entre las infraestructuras se obliga a las aeronaves a realizar un mayor recorrido en tierra, condición que se agrava ante el hecho de que la aeronave opera fuera de su punto de rendimiento óptimo. Por otra parte, al aumentar los requerimientos de distancias entre componentes, resulta necesario el desarrollo de infraestructuras de mayores dimensiones y en consecuencia obras de mayor impacto.

A los fines del presente estudio, el análisis del impacto de los cambios en la normativa sobre la componente ambiental, se aborda considerando componentes específicos en forma modular, con el objetivo de obtener valores de referencia, de este modo la comparación se hace en función de: una calle de rodaje transversal que vincula distintos tipos calles de rodaje, metro lineal de rodaje, metro lineal de pista y de igual modo para las superficies de margen. Dado que de otro modo sería necesario analizar casos específicos de configuraciones de áreas de movimiento, las cuales serían representativas de casos únicos o típicos.

En el desarrollo del presente trabajo se caracterizaron las aeronaves a fin de identificar el impacto del cambio en la clasificación de las aeronaves, por otro parte; se caracterizan las dimensiones geométricas de los distintos componentes de la infraestructura, se evidencian las variaciones y se analiza la influencia de la misma sobre la constitución del componente de infraestructura analizado. Con el objetivo de analizar la dimensión ambiental, se estiman indicadores tales como superficie de pavimento (la cual se relaciona directamente con las emisiones producto de la construcción) y longitud de rodaje (las cuales se vinculan con las emisiones por operación de la infraestructura) del componente.

METODOLOGÍA

Las etapas del presente estudio consisten en el análisis de la normativa, posteriormente se definen el tipo de aeronaves que serán consideradas en el análisis, una vez identificado los grupos de aeronaves se relaciona cada grupo con las características que debe cumplir cada una de las infraestructuras estudiadas. Para comparar el impacto de los cambios sobre la componente ambiental, es necesario establecer indicadores vinculados a la construcción y operación de la infraestructura. Finalmente se compara en forma relativa el aporte de cada fuente-componente para cada una de las infraestructuras dimensionadas según las distintas normativas de referencia.

Análisis de normativa

El análisis contempla una comparación de cada uno de los puntos del Anexo 14 ed. 8 en relación a la RAAC 154. En el presente documento se presentan únicamente los puntos relacionados a las características geométricas que afectan a las emisiones gaseosas producto de la construcción y operación de la infraestructura.

Caracterización de las aeronaves

El proceso de caracterización de las aeronaves implicó definir grupos de aeronaves en función de su CR de referencia según la RAAC 154, es decir, un número basado en la mayor Longitud de Campo de Referencia (LCR), y el elemento dos (la letra de clave) seleccionando la letra de clave que corresponda a la envergadura o a la anchura exterior entre ruedas del tren de aterrizaje principal (OMGWS), la que de las dos dé el valor más

crítico para para cada aeronave, dado que en algunos caso la envergadura y la OMGWS no les corresponde la misma letra, existen aeronaves en las cuales los requerimientos pueden ser menores producto de la desarticulación sobre la CR que se realizó en el Anexo 14 8ava edición. Atento a ello se identificaron en que y en cuántos casos se podría presentar una reducción en los requerimientos

Caracterización de módulos de infraestructuras

En función de los cambios en la normativa se identificaron las infraestructuras que se ven afectadas, asimismo se definió las características geométricas de 13 componentes de referencia, los cuales se indican a continuación.

- Superficie requerida de: pista, rodaje transversal de unión entre pista y calle de rodaje paralela, rodaje transversal de unión entre de calles de rodaje, rodaje transversal de unión entre de calles de rodaje y calle de acceso a puesto, margen requerido en rodaje transversal de unión entre pista y calle de rodaje paralela, margen en calle de rodaje transversal de unión entre de calles de rodaje, margen requerido en calle de rodaje transversal de unión entre de calle de rodaje y calle de acceso a puesto, metro lineal de calle de rodaje, margen por metro lineal de calle de rodaje, para plataforma de viraje, longitud de rodaje transversal de unión entre pista y calle de rodaje paralela, longitud de rodaje transversal de unión entre calles de rodaje paralela, longitud de rodaje transversal de unión entre calle de rodaje paralela y calle de acceso a puesto.

Emisiones gaseosas

Construcción

Las emisiones gaseosas producto de la construcción dependen de múltiples parámetros, no obstante, un análisis relativo de la influencia del cambio de normativa puede basarse en el indicador de m^2 de superficie a construir, ya sea rodaje, pista o sus márgenes asociados. En[2]–[5] se observa que, para un mismo componente, la variación de las emisiones asociadas a la construcción presenta una relación lineal con los m^2 .

Por otra parte, las emisiones asociadas a las superficies de rodaje y pista por m^2 se pueden considerar equivalentes, bajo el supuesto de que ambos pavimentos cuentan con la misma capacidad portante, y que la subbase del terreno presenta condiciones homogéneas en el área de interés. De igual modo, las emisiones por m^2 de margen de pista y rodaje se pueden asumir iguales, por otra parte; dado que el margen presenta menor capacidad portante, las emisiones asociadas al mismo son menores que las asociadas al m^2 de pista o rodaje,

Operación

Las emisiones gaseosas producto de la operación encuentran su mayor contribución en la operación de las aeronaves, tal como se observa en [6] es posible cuantificar las emisiones producto de la operación a través de una relación de tiempos de operación (distancias recorrida, velocidad y demora), asumiendo que las velocidad de operación para una misma aeronave se conservan, independientemente de la infraestructura y que las demoras son despreciables, es posible estimar la variación de las emisiones gaseosas en función de la variación de las distancias recorridas, por ende las longitudes de los componente analizados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de la normativa permitió identificar 284 cambios, cabe destacar que los cambios tienen distintos niveles de impacto en relación al diseño de la infraestructura, en este contexto y tomando como base la RAAC 154, se identifican 138 elementos diferentes, 65

elementos faltantes, 44 elementos que han sido adicionados y 37 elementos referenciados inadecuadamente.

De los cambios identificados, existen 25 modificaciones relacionadas a las características físicas, dentro de ellas hay 12 elementos diferentes, 4 elementos faltantes y 9 elementos referenciados inadecuadamente, a continuación, se indica los puntos de la Anexo 14 que contienen modificaciones que resultan de interés a los fines del presente análisis, entre paréntesis se indican el literal análogo en la RAAC 154: 1.6 (154.013), 3.1.10 (154.211), 3.2.2 (154.219), 3.3.6 (154.221), 3.9.3 (154.233), 3.9.4 (154.233), 3.10.1 (154.241).

El principal cambio es el relacionado con la CR y por ello se presenta las tablas extraídas de la documentación de referencia.

Elemento 1 de la clave		Elemento 2 de la clave		
Núm. de clave (1)	Longitud de campo de referencia del avión (2)	Letra de clave (3)	Envergadura (4)	Anchura exterior entre ruedas del tren de aterrizaje principal (a) (5)
1	Menos de 800 m	A	Hasta 15 m (exclusive)	Hasta 4,5 m (exclusive)
2	Desde 800 m hasta 1 200 m (exclusive)	B	Desde 15 m hasta 24 m (exclusive)	Desde 4,5 m hasta 6 m (exclusive)
3	Desde 1 200 m hasta 1 800 m (exclusive)	C	Desde 24 m hasta 36 m (exclusive)	Desde 6 m hasta 9 m (exclusive)
4	Desde 1 800 m en adelante	D	Desde 36 m hasta 52 m (exclusive)	Desde 9 m hasta 14 m (exclusive)
		E	Desde 52 m hasta 65 m (exclusive)	Desde 9 m hasta 14 m (exclusive)
		F	Desde 65 m hasta 80 m (exclusive)	Desde 14 m hasta 16 m (exclusive)

Fig. 1. Clave de referencia de aeródromo según RAAC 154

Elementos de la clave 1		Elementos de la clave 2	
Núm. de clave	Longitud de campo de referencia del avión	Letra de clave	Envergadura
1	Menos de 800 m	A	Hasta 15 m (exclusive)
2	Desde 800 m hasta 1 200 m (exclusive)	B	Desde 15 m hasta 24 m (exclusive)
3	Desde 1 200 m hasta 1 800 m (exclusive)	C	Desde 24 m hasta 36 m (exclusive)
4	Desde 1 800 m en adelante	D	Desde 36 m hasta 52 m (exclusive)
		E	Desde 52 m hasta 65 m (exclusive)
		F	Desde 65 m hasta 80 m (exclusive)

Número de clave	Anchura exterior entre ruedas del tren de aterrizaje principal (OMGWS)			
	W= Hasta 4,5 m (exclusive)	X = Desde 4,5 m hasta 6 m (exclusive)	Y = Z= Desde 6 m hasta 9 m (exclusive)	Desde 9 m hasta 15 m (exclusive)
1ª	18 m	18 m	23 m	-
2ª	23 m	23 m	30 m	-
3	30 m	30 m	30 m	45 m
4	-	-	45 m	45 m

a. La anchura de toda pista de aproximación de precisión no debería ser inferior a 30 m, cuando el número de clave sea 1 ó 2.

Fig. 2. Clave de referencia de aeródromo y tabla desagregada de OMGWS según Anexo 14 Ed. 8.

En resumen, las modificaciones unifican los requerimientos de las claves D, E y F relacionados con las dimensiones del OMGWS en una única categoría, por otra parte, en aquellos casos donde la clave de referencia estaba dada por la dimensión OMGWS, resulta

posible en algunos casos reducir los requerimientos de infraestructuras asociados a la envergadura, en tanto que los relacionados al OMGWS se conservan.

Las distintas categorías según OMGWS han sido identificadas con las letras W, X, Y y Z a fin de facilitar la presentación de resultados. Atento a lo anteriormente nombrado y en relación a las aeronaves, sobre una base de 176 tipos de aeronaves obtenidas de [7] se identifican 69 casos en los cuales los requerimientos se ven modificados. En la tabla 1 se designa como "actual" la designación según el Anexo 14 8ava edición, indicando la relación y variación del elemento 2 respecto del OMGWS, en la tabla 2 se identifica como "actual" las posibles combinaciones para designar las características de las aeronaves según envergadura y OMGWS de acuerdo al Anexo 14 8ava edición.

Tabla 1 Casos que presentan variación en la categoría dada su OMGWS

Previo	Actual				
	A→W	B→X	C→Y	D, E o F→Z	
A	-	-	-	-	
B	22	-	-	-	
C	-	15	-	-	
D	-	2	12	-	
E	-	-	-	11	
F	-	-	-	-	

Tabla 2 Casos que presentan variación en la categoría dada su envergadura

Previo	Actual					
	AW, BW o BX	BY	CZ	CY, DY o DZ	EZ	FZ
A	-	-	-	-	-	-
B	-	-	-	-	-	-
C	-	3	-	-	-	-
D	-	-	4	-	-	-
E	-	-	-	-	-	-
F	-	-	-	-	-	-

Con lo cual, la separación y cambios realizados sobre la CR, implica que los requerimientos son menores para 58 (los 11 casos asociados a la designación previa E y actualmente identificado con la categoría Z, no presenta cambios) de las 176 aeronaves.

Respecto a la caracterización de los módulos de infraestructura, se pueden identificar como módulos.

Tabla 3 Caracterización de módulos de infraestructura.

Dimensión		Observación
Pista	Longitud	No se identifican cambios.
	Ancho	En la clave F la reducción es de 15 m. Los requerimientos se reducen para las aeronaves identificados previamente con claves 1C, 2C y 3D, cuya letra de clave era dada por su envergadura y que por OMGWS le correspondía un requerimiento menor. Las reducciones son: 5 m para las 1C, 7m para las 2C y 15 m para las 3D.
	Margen asociado	En la clave F para aviones bimotores y trimotores se reducen el ancho total (pista+ margen) de 75m a 60m. En consecuencia, el margen asociado continua siendo de 15m, dado que la reducción se consigue sobre la superficie de pista.

Dimensión		Observación
Calle de rodaje	Longitud	Las distancias entre ejes de: - calles de rodaje-pista visual para las claves de referencia: <ul style="list-style-type: none"> • 1A y 2A se reducen en 0.5m • 1B y 2B aumentan en 1 m • 3C, 3D, 4D, 4E y 4F se reducen en 10 m - calles de rodaje-calle de rodaje u objeto para las claves de referencia: <ul style="list-style-type: none"> • 0.75 m para clave A • 1.5 m para clave B • 3.5 m para clave D • 4 m para clave E • 6.5 m para clave F - calle de acceso a puesto de estacionamiento de aeronaves y un objeto <ul style="list-style-type: none"> • 2 m para clave C • 2.5 m para clave D y E • 3 m para clave F
	Ancho	En Clave F la reducción es de 2 m Los requerimientos se reducen para las aeronaves identificados previamente con letra B, C y D cuya clave era dada por la envergadura y que por OMGWS le correspondería un requerimiento menor. La reducción es de 3m para clave B, 4.5 m para clave C y 3m para clave D.
	Margen asociado	Se presenta reducción en los márgenes libres, la cual es aplicable a las aeronaves B, C y D cuya clave de referencia era dada por la envergadura y que por OMGWS le correspondería un requerimiento menor. La reducción es de 0.75 m para clave B, 0.75 o 1.75 para clave C (dependiendo de su base), y 0.5 m para la clave D. Los tramos rectilíneos se ven reducidos en la clave F, la reducción del ancho total (rodaje + margen) es de 60m a 44m. En consecuencia, la reducción es de 2m en el ancho de la calle de rodaje y de 7m en los márgenes (a cada lado) Para las claves E y D (cuya clave de referencia era dada por la envergadura y que por OMGWS le correspondería un requerimiento menor) la reducción es de 44 a 38 y de 38 a 34 m respetivamente, en consecuencia, los márgenes aumentan en 3.5 y 2 m respetivamente dado que la reducción del ancho total se obtiene en el ancho del rodaje.
Plataforma de viraje	Longitud	No es una medida considerada explícitamente en la normativa. A los fines del cálculo, se estimó proporcional a tres veces la envergadura de la CR de la aeronave a la que sirve más 2 veces la distancia libre correspondiente,
	Ancho	Se presenta reducción en los márgenes libres, la cual es aplicable a las aeronaves B y C cuya clave de referencia era dada por la envergadura y que por OMGWS le correspondería un requerimiento menor. La reducción es de 0.75m para clave B y 0.75 o 1.75 para clave C dependiendo de su base En aeronaves identificadas con letra D, E, F y letra C con base igual o superior a 18 m La reducción es de 0.5 m

Los efectos de la modificación se materializan en las infraestructuras a raíz del cambio en la conformación de la CR y variación de algunos de los requisitos dimensionales establecidos en ediciones anteriores. Los resultados obtenidos se resumen en las siguientes figuras indicando con valores positivo las reducciones en longitud o superficie respecto a la RAAC 154, en los ejes de abscisa se ubican las codificaciones empleadas para las aeronaves, empleando la regla indicada a continuación.



(S), si la variación es consecuencia de la modificación de dimensiones en el Anexo 14 ed. 8 mas allá de la clave de referencia.
 (N), si el cambio es consecuencia únicamente por el cambio en la clave de referencia.

Fig. 3 Codificación empleada en gráficos

En el caso de las aeronaves con clave de referencia D, se emplearon dos designados D y D+, dado que la RAAC 154 contempla un tratamiento diferencial según el OMGWS. Cabe destacar que, en las siguientes figuras, se presentan los casos en los cuales se observaron diferencias, los restantes fueron omitidos a fin de simplificar el contenido gráfico.

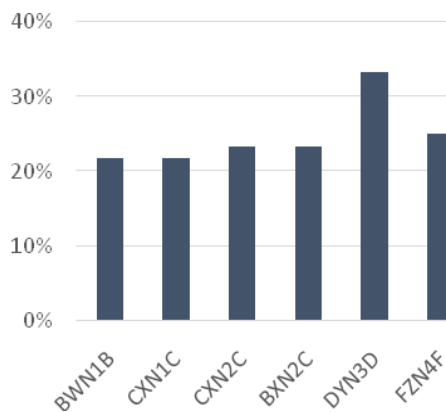


Fig. 4. Variación de superficie de pista requerida

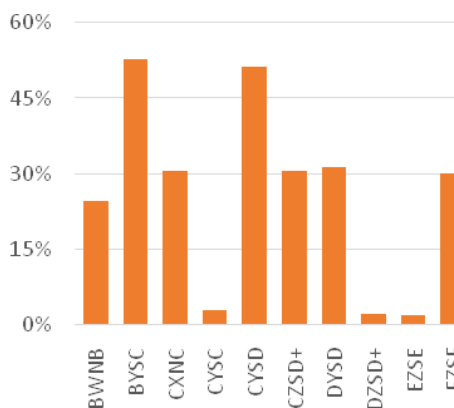


Fig. 5. Variación de superficie requerida para plataforma de viraje

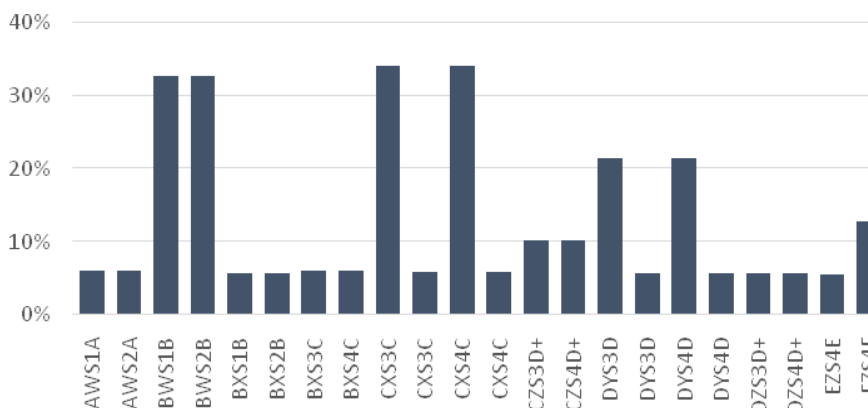


Fig. 6. Variación de superficie requerida en rodaje transversal de unión entre pista y calle de rodaje paralela

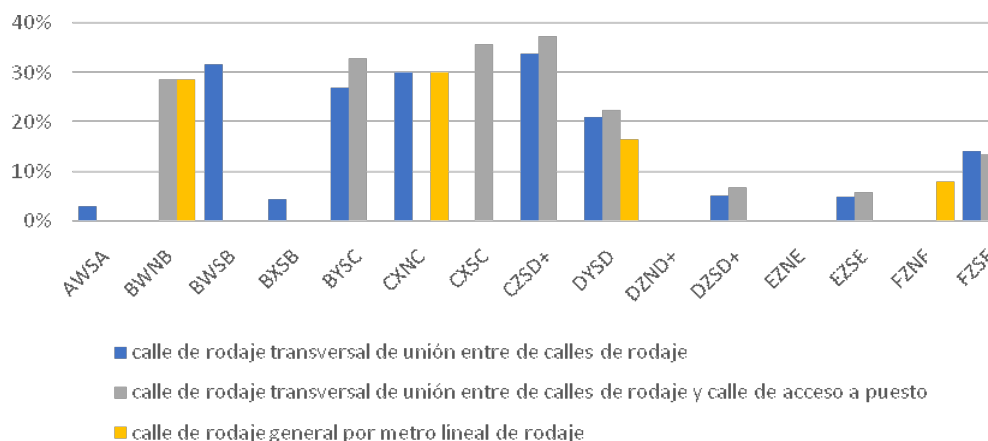


Fig. 7. Variación de superficie requerida en calle de rodaje distintas configuraciones

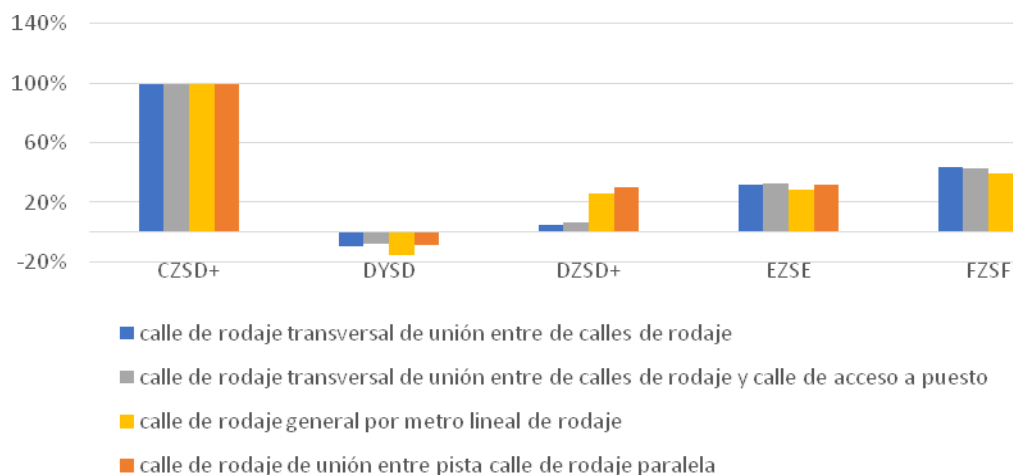


Fig. 8. Variación de superficie de margen requerido en distintas configuraciones de calle de rodaje y en pista.

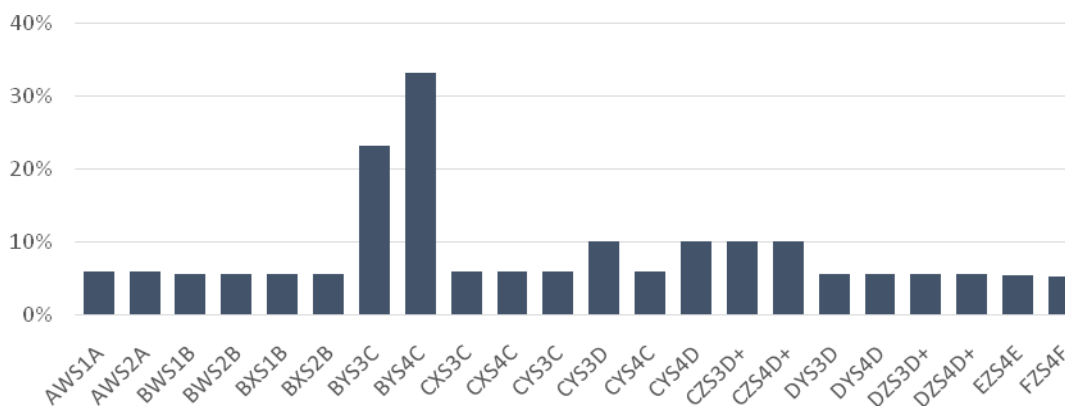


Fig. 9. Variación de longitud recorrida por tipo de aeronave en calle de rodaje transversal de unión entre pista y calle de rodaje paralela

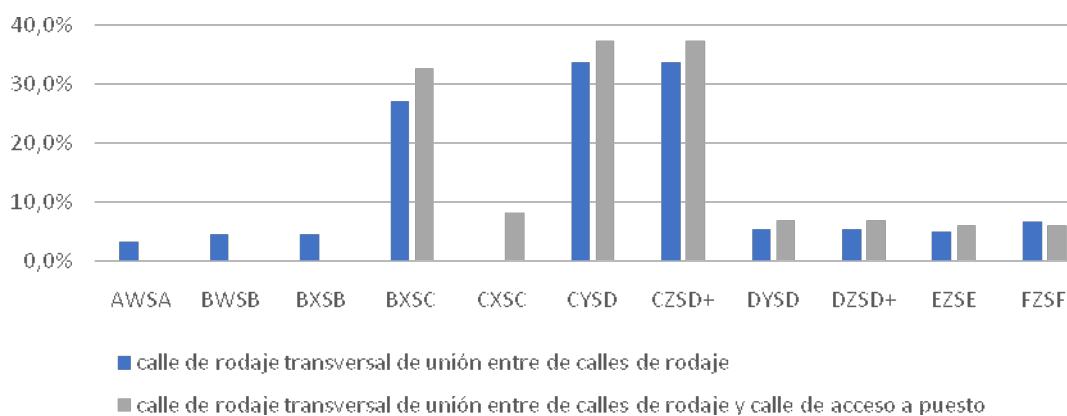


Fig. 10. Variación de longitud recorrida por tipo de aeronave en calle de rodaje transversales

A nivel general se observa, que existen un número significativo de combinaciones de claves de referencia y configuración de OMGWS, de las cuales, salvo un caso relacionado con las aeronaves de clave D, todas presentan un escenario en el que las emisiones se conservan o

reducen para el componente analizado, tanto desde el punto de vista de la operación como de la construcción.

En el caso de las aeronaves clave D, tal como se aprecia en las Fig. 7 y Fig. 8 se presenta un aumento en los requerimientos de superficie de margen, no obstante, los requerimientos específicos de superficie de rodaje se ven reducidos, permitiendo una mejora en el balance general.

CONCLUSIÓN

En base a estudios de referencia, se observa que las emisiones asociadas a la construcción de las infraestructuras analizadas, presentan una relación lineal con la superficie construida. Asimismo, las emisiones vinculadas a la operación de las aeronaves exhiben un comportamiento lineal respecto de la longitud recorrida por estas, siempre y cuando no se contemple el efecto de las demoras. Atento a lo anteriormente nombrado, es posible concluir que la modificación en los requerimientos indicados en la normativa permite obtener una reducción de las superficies a construir y las distancias recorridas, en consecuencias es posible estimar, como primera aproximación, la reducción de las emisiones gaseosas producto de la construcción y operación mediante estos indicadores, asumiendo una relación lineal entre dichas variables.

En relación a la construcción se observa que las variaciones son hasta de un 100% según módulo de infraestructura considerado y clave de referencia asociada a la misma, en promedio las reducciones son del 23% sobre la base de 81 modificaciones identificadas.

Respecto factor operativo se observa una reducción de hasta un 33% según la clave de referencia de la aeronave empleada en el diseño de la infraestructura, en promedio las reducciones son de un 11,5% sobre la base de 40 modificaciones identificadas.

Las modificaciones realizadas en la normativa dan lugar a una reducción en los requerimientos de infraestructura, especialmente en relación a la clave de referencia F.

Cuantificar el peso relativo de las emisiones de construcción y emisiones operativas implica establecer perfiles de demanda y aeronaves críticas para la comparación, dado que es necesario fijar un mayor número de variables, dicha etapa de análisis puede ser considerada en futuros estudios.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Administración Nacional de Aviación Civil (ANAC), *Regulaciones Argentinas de Aviación Civil: Diseño de Aeródromos. Parte 154*. 2016, p. 342.
- [2] G. Ramírez-Díaz, J. Piechocki, and A. Di Bernardi, "Plataforma Lineal Aeroportuaria: Estudio de la Relación Demora- Infraestructura Mediante Simulación Computacional," in *4° Jornadas ITE - 2017 - Facultad de Ingeniería - UNLP*, 2017, p. 9.
- [3] G. Ramírez-Díaz, J. Piechocki, A. Di Bernardi, and G. Alonso, "Estudio de capacidad del concepto de plataforma espigón: Dimensión operacional y ambiental," in *VI Congreso Internacional de la Red Iberoamericana de Investigación en Transporte Aéreo*, 2017, p. 16.
- [4] F. Giustozzi, E. Toraldo, and M. Crispino, "Recycled airport pavements for achieving environmental sustainability: An Italian case study," *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 68, pp. 67–75, 2012.
- [5] M. Magnoni, E. Toraldo, F. Giustozzi, and M. Crispino, "Recycling practices for airport pavement construction: Valorisation of on-site materials," *Constr. Build. Mater.*, vol. 112, pp. 59–68, 2016.

- [6] G. Ramirez-Diaz, L. Sznajderman, C. Trujillo, and A. Di Bernardi, "Influencia del modelo de gestión de puestos de estacionamiento en las emisiones gaseosas de las aeronaves y los GSE," in *Congreso Argentino de Ingeniería Aeronáutica 2018*, 2018, pp. 1–13.
- [7] International Civil Aviation Organization (ICAO), "Doc 9157 Manual de diseño de aeródromos," 2006.