

Transición del ACN/PCN a ACR/PCR: Caso de estudio Aeropuerto Internacional Rafael Núñez de Cartagena.



AUTOR

BRAYAM ALECXEY VEGA MUÑOZ

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:

INGENIERO CIVIL

Director:

ANGELA PATRICIA ALVAREZ RODRIGUEZ

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA

INGENIERIA

INGENIERIA CIVIL

BOGOTA 21 de Marzo de 2025

**Transición del ACN/PCN a ACR/PCR: Caso de estudio Aeropuerto
Internacional Rafael Núñez de Cartagena.**

Brayam Alecxey Vega Muñoz

DIRECTOR



**UNIVERSIDAD MILITAR
NUEVA GRANADA**

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ D.C., FEBRERO DE 2025**

Transición del ACN/PCN a ACR/PCR: Caso de estudio Aeropuerto Internacional
Rafael Núñez de Cartagena.

Brayam Alecxey Vega Muñoz

DIRECTOR



UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ D.C., FEBRERO DE 2025

Nota aceptación

Firma de tutor

Firma de jurado 1

Firma de jurado 2

Bogotá D. C., Febrero de 2025

DEDICATORIA

A mi amada abuela, por ser mi mayor inspiración, mi guía y mi refugio incondicional. Tus palabras de aliento, tu amor infinito y tu ejemplo de fortaleza han sido la base sobre la cual he construido mis sueños. Cada logro en mi vida lleva tu esencia, porque en cada paso que doy, en cada meta que alcanzo, estás presente con tu amor y sabiduría.

Esta tesis es un reflejo de tu apoyo y sacrificio, y con ella, honro todo lo que has hecho por mí. Gracias por ser mi luz y mi mayor motivación.

Con amor y gratitud.

AGRADECIMIENTOS

Al culminar esta etapa tan significativa en mi vida, quiero expresar mi más profunda gratitud a todas las personas que, de una u otra manera, han sido parte fundamental de este logro.

En primer lugar, a mis padres, cuyo amor incondicional, apoyo inquebrantable y sacrificio han sido la base de mi formación. Gracias por enseñarme con su ejemplo el valor del esfuerzo, la dedicación y la perseverancia. Este logro también es suyo.

A mis abuelos, por ser un pilar de amor, sabiduría y motivación constante en mi vida. Sus consejos, sus historias y su apoyo incondicional han sido una fuente inagotable de inspiración.

A mi familia en general, por estar siempre presente, brindándome aliento en los momentos difíciles y compartiendo conmigo cada pequeña victoria en este camino.

A mi novia, por su paciencia, comprensión y por ser mi compañera en esta travesía. Su amor y apoyo han sido una fuente constante de fortaleza y motivación para seguir adelante.

A mi profesora y tutora, Mgtr Ángela Álvarez, por su guía, dedicación y confianza en mi trabajo. Su orientación ha sido clave para el desarrollo de esta investigación, y su compromiso con mi aprendizaje ha dejado una huella imborrable en mi formación profesional.

A todos los que, de alguna manera, han aportado a este proceso, gracias por su apoyo y por creer en mí. Este logro es el reflejo de todos los momentos, consejos y enseñanzas que me han brindado.

Con gratitud infinita,

CONTENIDO

GLOSARIO	10
RESUMEN	12
INTRODUCCIÓN	13
1. PROBLEMA	14
1.1. IDENTIFICACIÓN	14
1.2. DESCRIPCIÓN	14
1.3. PLANTEAMIENTO	14
2. DELIMITACIÓN	15
2.1. CONCEPTUAL	15
2.2. GEOGRÁFICA	16
3. OBJETIVOS	18
3.1. OBJETIVO GENERAL	18
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
4. ANTECEDENTES	18
4.1. JUSTIFICACIÓN	21
5. MARCO REFERENCIAL	21
5.1. MARCO TEÓRICO	21
5.2. MARCO CONCEPTUAL	26
5.3. MARCO LEGAL	29
6. METODOLOGÍA	30
7. CAPÍTULOS	34
7.1. FLOTA DE ANALISIS – TRANSITO DE DISEÑO	34
7.2. ESTRUCTURA DE PAVIMENTO EXISTENTE EN LA PISTA	35
7.3. DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DEL PAVIMENTO - MÉTODO (ACN/PCN)	37
7.4. VARIACION ACN Y PCN POR AERONAVE	40
7.5. DETERMINACION DE LA CAPACIDAD DEL PAVIMENTO – METODO (ACR/PCR)	41
7.6. VARIACION ACR Y PCR POR AERONAVE	43
7.7. ANALISIS DE RESULTADOS - SENSIBILIZACION	44

7.8.	RANGOS DE EQUIVALENCIA VARIABLES PARA LOS FACTORES DE CONVERSION DE LA CAPA DE PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA FAA.....	45
7.9.	RESULTADOS DE RELACION	46
7.10.	Relación PCR/PCN.....	49
7.11.	Relación ACR/ACN.....	50
8.	CONCLUSIONES	52
9.	RECOMENDACIONES	55
	BIBLIOGRAFÍA.....	56
	ANEXOS.....	59

Lista de ilustraciones

Ilustración 1 Infraestructura del aeropuerto. Fuente: AIP SKCG.....	16
Ilustración 2 Envergadura del avión. Fuente: www.ozgurguvenc.com	29
Ilustración 3 Estructura de Pavimentó SKCG. Fuente: FAARFIELD v2.1.1	36
Ilustración 4 Parámetros estructurales.....	37
Ilustración 5 Parámetros COMFAA.....	38
Ilustración 6 Resultados valores PCN. FUENTE: COMFAA 3.0	39
Ilustración 7 Resultados valores ACN. Fuente: COMFAA 3.0	40
Ilustración 8 Resultado PCR. Fuente: FAARFIELD v2.1.1	42
Ilustración 9 Aeronave con ACR crítico. Fuente: FAARFIELD v2.1.1	43

Lista de tablas

Tabla 1. Tipos de aeronaves. Fuente: Manual de diseño de aeródromos (ICAO) (Organización de aviación Civil Internacional).	17
Tabla 2 Clasificación de aeronave. Fuente: ICAO	26
Tabla 3 Categoría de Aeronave. Fuente: FAA	27
Tabla 4 Análisis comparativo. Fuente: Adaptado de la OACI y la FAA.....	33
Tabla 5 Equipos 2023 SKCG	35
Tabla 6 Rangos de equivalencia.....	45
Tabla 7 Resultados de relación para factor de equivalencia de 1.2.....	47
Tabla 8 Comparación Valores ACR oficiales y obtenidos.....	48
Tabla 9 Valores de relación PCR/PCN	49
Tabla 10 Valores de relación ACR/ACN	50

GLOSARIO

ACN (Número Clasificación de Aeronave)

Es un número que representa la carga que una aeronave ejerce sobre el pavimento de una pista en condiciones estándar. Es utilizado en el método ACN/PCN para evaluar la capacidad de los pavimentos aeronáuticos.

ACR (índice Clasificación de Aeronave)

Es el valor que sustituye al ACN en el nuevo sistema de clasificación ACR/PCR. Representa la demanda estructural de una aeronave sobre un pavimento considerando factores más detallados.

Capacidad estructural

Capacidad de un pavimento para soportar el tráfico aéreo previsto sin exceder los niveles aceptables de deformación o daño estructural.

Carga de rueda equivalente

Parámetro utilizado en el diseño y análisis de pavimentos para representar la carga ejercida por las ruedas de una aeronave, considerando factores como presión, área de contacto y configuración del tren de aterrizaje.

COMFAA 3.0

Software desarrollado por la Federal Aviation Administration (FAA) para el diseño y evaluación de pavimentos aeroportuarios. Permite calcular el PCN y analizar la capacidad estructural de la infraestructura (pistas, calles de rodaje, plataformas etc.) en función de las cargas impuestas por las aeronaves. Es una herramienta esencial para la gestión y mantenimiento de infraestructuras aeroportuarias, siguiendo las normativas de la OACI y la FAA.

Espesor estructural

Dimensión vertical de las capas de un pavimento diseñada para distribuir las cargas de las aeronaves y proteger la subrasante.

FAARFIELD (FAA Rigid and Flexible Iterative Elastic Layered Design)

Software utilizado para diseñar pavimentos aeroportuarios y evaluar su resistencia estructural. Emplea modelos matemáticos y análisis por capas elásticas para determinar los espesores necesarios para soportar el tráfico aéreo.

Factor de equivalencia

Valor utilizado en análisis comparativos para evaluar la relación entre métodos o indicadores, como ACN/PCN y ACR/PCR, en términos de carga y capacidad.

Flota representativa

Conjunto de aeronaves seleccionadas para evaluar el impacto sobre un pavimento

específico. Se eligen en función del tipo de tráfico y las características operativas del aeropuerto.

OACI (Organización de Aviación Civil Internacional)

Organización especializada de las Naciones Unidas que establece normas y recomendaciones internacionales para la aviación civil, incluyendo la gestión de pavimentos aeroportuarios.

PCN (Número Clasificación Pavimento)

Número utilizado para expresar la capacidad portante de un pavimento según el método ACN/PCN. Es un valor estandarizado que relaciona las características de resistencia del pavimento con las cargas de las aeronaves.

PCR (Índice Clasificación de Pavimento)

Es el nuevo indicador que sustituye al PCN. Representa la capacidad portante del pavimento según el método ACR/PCR, considerando variables específicas para garantizar una evaluación más precisa.

RAC 14: Reglamento Aeronáutico de Colombia, Parte 14. Establece los criterios técnicos y operativos para la construcción, mantenimiento y operación de aeropuertos en Colombia, alineándose con estándares internacionales.

Subrasante

Capa del terreno natural o compactado que sirve de base para el pavimento. Sus propiedades de resistencia y deformabilidad influyen directamente en la capacidad portante de la pista.

RESUMEN

Este estudio analiza la transición del sistema ACN/PCN (Aircraft Classification Number/Pavement Classification Number) al ACR/PCR (Aircraft Classification Rating/Pavement Classification Rating) en la pista del Aeropuerto Internacional Rafael Núñez de Cartagena, Colombia. El objetivo principal fue contrastar los resultados obtenidos mediante ambos métodos, evaluando su impacto en la clasificación y capacidad estructural del pavimento. Para ello, se recopilieron datos históricos sobre la flota operativa, la estructura del pavimento y la resistencia de la subrasante, a partir de lo cual se realizaron modelaciones utilizando herramientas especializadas como FAARFIELD v2.1.1 y COMFAA 3.0.

Los resultados mostraron que el sistema ACR/PCR ofrece una evaluación más precisa de la capacidad del pavimento, al considerar condiciones operativas reales y características específicas tanto de las aeronaves como de las capas que componen la estructura de pavimento. Se identificó que la transición implica una relación aproximada de 10 veces la magnitud del PCN respecto al PCR, lo que permite una mejor adaptación a las cargas modernas y optimiza la vida útil de la pista.

Este trabajo concluye que, aunque el sistema ACN/PCN sigue siendo útil en aeropuertos con tráfico limitado, la implementación del ACR/PCR es esencial en aeropuertos internacionales como el Rafael Núñez, donde la precisión y la gestión eficiente de la infraestructura son críticas. Se recomienda un periodo de transición gradual y la implementación de sistemas de monitoreo continuo para garantizar una adaptación exitosa al nuevo método.

INTRODUCCIÓN

El Aeropuerto Internacional Rafael Núñez de Cartagena de Indias es una de las infraestructuras más importantes de Colombia dentro del sector transporte, debido a su significativa contribución a la movilidad de pasajeros y carga, así como a su papel fundamental en la conectividad internacional y el turismo de la región. Al igual que otros aeropuertos del país, enfrenta el desafío de adaptarse a los constantes cambios normativos y tecnológicos promovidos por organismos internacionales como la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI); entre dichos desafíos, se destaca la transición del método de clasificación de pavimentos ACN/PCN a ACR/PCR, cuyo objetivo es mejorar la seguridad y eficiencia de las operaciones aeroportuarias mediante un enfoque más preciso y actualizado para reportar la resistencia del pavimento.

En lo que refiere a infraestructura, el aeropuerto objeto de estudio cuenta con una pista de 2,390 metros de largo y 45 metros de ancho, constituida en pavimento flexible, capaz de recibir aeronaves de diversas categorías, desde Clase A hasta F según la clasificación de la OACI. Aunado a ello, las características geotécnicas de la zona, las condiciones climáticas propias de Cartagena y el creciente tráfico aéreo generan retos significativos para garantizar que la pista cumpla con las nuevas exigencias normativas. Este contexto plantea preguntas clave sobre cómo la implementación del método ACR/PCR impactará la capacidad de carga (operaciones), resistencia y durabilidad del pavimento, así como los costos asociados a posibles ajustes en la infraestructura.

Por lo anterior, en este trabajo de grado se analizará la transición del método ACN/PCN a ACR/PCR aplicado a la pista de aterrizaje del Aeropuerto Internacional Rafael Núñez, evaluando los cambios en los criterios de clasificación de aeronaves, las implicaciones técnicas, y los desafíos asociados con su implementación. Bajo un enfoque cuantitativo, esta investigación busca no solo proporcionar información técnica detallada, sino también sentar las bases para futuras evaluaciones de pavimentos aeroportuarios bajo las nuevas normativas internacionales.

1. PROBLEMA

1.1. IDENTIFICACIÓN

Actualmente, con la actualización del RAC 14, se estableció que para noviembre de 2024 todos los aeropuertos deberán reportar la resistencia del pavimento bajo la metodología ACR/PCR que es un método empírico mecanicista designado por la OACI, dejando atrás el método empírico del ACN/PCN.

Así las cosas, surge la necesidad de determinar el posible impacto que generará el cambio en la metodología de reporte o notificación de la resistencia del pavimento, lo que conlleva a una evaluación técnica que permita identificar los posibles ajustes que se requieran desde el punto de vista de diseño, construcción y el mantenimiento de la pista. Es decir, realizar evaluaciones técnicas teniendo en cuenta la capacidad de carga de las aeronaves, el tráfico aéreo esperado, las características del suelo y la infraestructura existente.

1.2. DESCRIPCIÓN

Uno de los principales aeropuertos del Caribe colombiano es el Rafael Núñez de Cartagena, manteniendo una tendencia de crecimiento continúa siendo hoy en día el tercero de Colombia en tráfico de pasajeros, acumulando aproximadamente 6 millones al año, de los cuales mensualmente 495.341 corresponden a vuelos nacionales y 85.851 vuelos internacionales según las cifras de la Sociedad Aeroportuaria de la Costa S.A (SACSA).

La implementación del método ACR/PCR implica una serie de desafíos logísticos y operativos para el Aeropuerto Rafael Núñez, ya que requiere una evaluación exhaustiva de la infraestructura existente para determinar su compatibilidad con los requisitos del nuevo método. Esto puede implicar la realización de inspecciones detalladas que se realizan para evaluar la capacidad de carga y el comportamiento estructural de los pavimentos bajo condiciones de carga específicas.

1.3. PLANTEAMIENTO

Para abordar adecuadamente los desafíos asociados con la implementación de las nuevas metodologías de la clasificación de pavimentos aeroportuarios es fundamental entender las implicaciones técnicas que estos cambios conllevan. En este contexto, surge una pregunta fundamental que orienta la presente investigación: ¿Cuál es el impacto que genera el cambio de la nueva normativa para el reporte de la resistencia del pavimento en la pista del aeropuerto Rafael Núñez en Cartagena de Indias?

2. DELIMITACIÓN

El estudio desarrollado busca proporcionar una evaluación rigurosa y detallada sobre el impacto del cambio de normativa en la clasificación de la resistencia del pavimento aeroportuario. Para ello, se ha recurrido exclusivamente a información secundaria disponible, dado que no se cuenta con acceso directo a mediciones *in situ* de la infraestructura del Aeropuerto Internacional Rafael Núñez de Cartagena.

En este sentido, las modelaciones y análisis se fundamentan en datos históricos, registros operacionales y normativas vigentes, lo que permite establecer comparaciones y tendencias relevantes. Sin embargo, es importante señalar que la falta de información primaria, como levantamientos de campo, ejecución de apiques, registros específicos de aeronaves con sus características operacionales, así como evaluaciones funcionales y estructurales del pavimento, puede generar ciertas limitaciones en la precisión de los resultados obtenidos.

A pesar de estas restricciones, el enfoque metodológico adoptado busca maximizar la veracidad de los hallazgos mediante la comparación de diversas fuentes y la aplicación de herramientas de modelación especializadas. Esto permite que las conclusiones y recomendaciones sean lo más objetivas y representativas posibles dentro del marco de la información disponible.

2.1. CONCEPTUAL

Basándose en los registros históricos sobre la implementación de los diferentes métodos para la notificación de resistencia de los pavimentos, la evolución o cambio de la resistencia y durabilidad de una pista en relación con las características de las aeronaves que la utilizan, la intención de esta propuesta de trabajo de grado es analizar la implementación del método ACR/PCR en la pista de aterrizaje del aeropuerto Rafael Núñez de Cartagena de Indias, excluyendo otras áreas de la infraestructura aeroportuaria. Además, el análisis se centrará específicamente en los efectos y desafíos asociados con el cambio de la norma RAC 14 en la pista de aterrizaje, sin abordar otros aspectos relacionados con la gestión operativa o la seguridad aeroportuaria.

Así las cosas, la investigación se enfocará solamente en evaluar el impacto de la transición en la capacidad de carga, resistencia y durabilidad del pavimento de la pista de aterrizaje, así como en la clasificación de aeronaves que pueden operar en ella, con base en los nuevos criterios establecidos por la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), proporcionando una evaluación detallada y específica de los cambios implementados en la normativa e identificando los posibles desafíos y oportunidades para optimizar el diseño y mantenimiento del pavimento en el contexto del nuevo método ACR/PCR.

2.2. GEOGRÁFICA

El Aeropuerto Internacional Rafael Núñez está ubicado en la ciudad de Cartagena de Indias, en el departamento de Bolívar, al norte de Colombia. Cartagena es una de las principales ciudades del Caribe colombiano, reconocida por su importancia histórica, cultural y turística. El aeropuerto se encuentra en el corregimiento de Crespo, a aproximadamente 4 kilómetros al noreste del centro histórico de la ciudad, lo que lo convierte en un punto estratégico para la conectividad nacional e internacional.

El aeropuerto está situado en una planicie costera a una altitud promedio de 1 metro sobre el nivel del mar (MSNM). Las coordenadas aproximadas son 10°26'29" N, 75°30'48" W. Al estar tan próximo al mar Caribe, la región tiene un relieve predominantemente plano, característico de las áreas costeras, lo que facilita la construcción de infraestructuras como pistas de aterrizaje y terminales.

La infraestructura del aeropuerto está conformada por la pista, las calles de rodaje, la zona de aparcamiento de los aviones, los puentes de embarque, las terminales de pasajeros, de carga y los intercambios de transporte en tierra, como se aprecia en la ilustración 1.

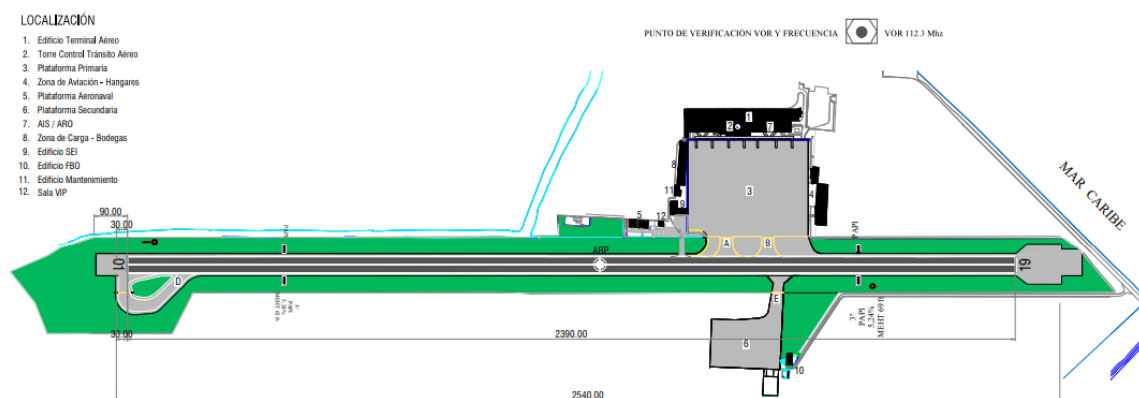


Ilustración 1 Infraestructura del aeropuerto. Fuente: AIP SKCG

Este estudio se centra exclusivamente en la pista del aeropuerto de Cartagena, dejando de lado otros componentes de la infraestructura aeroportuaria. Esta decisión se fundamenta en la necesidad de realizar un análisis profundo y preciso sobre un elemento crítico para la operatividad y seguridad aeronáutica. La pista es el componente que soporta directamente las cargas dinámicas y estáticas de las aeronaves, lo que la convierte en el foco principal para evaluar el cambio de normativa de ACN/PCN a ACR/PCR. Al limitar el alcance de la investigación a la pista, se evita la dispersión de recursos y se garantiza un enfoque técnico más detallado, permitiendo identificar mejoras específicas para cumplir con las nuevas normativas y asegurar la eficiencia operativa del aeropuerto.

La pista del aeropuerto de Cartagena posee 2390m de largo por 45m de ancho. Conformada por una estructura en pavimento flexible con una resistencia actual de 82/F/B/W/T a la cual llegan aviones de todos los tipos de envergadura (Clase A a F). Así mismo, presenta una topografía plana sobre suelo de origen aluvial y marino donde geológicamente se encuentran rocas sedimentarias y, geotécnicamente, el suelo de la pista cuenta con carpeta asfáltica, grava arcillosa, grava limosa, arena arcillosa y limo de baja plasticidad (Cemosa SAS, 2016, Estudio geotécnico). La meteorología de la región que indica un promedio de lluvia de 10 a 15 días al mes, con valores de precipitación media anual de 597 mm y temperaturas que oscilan entre 24°C y 31°C, característicos de un clima cálido – seco, variables que repercuten en el pavimento.

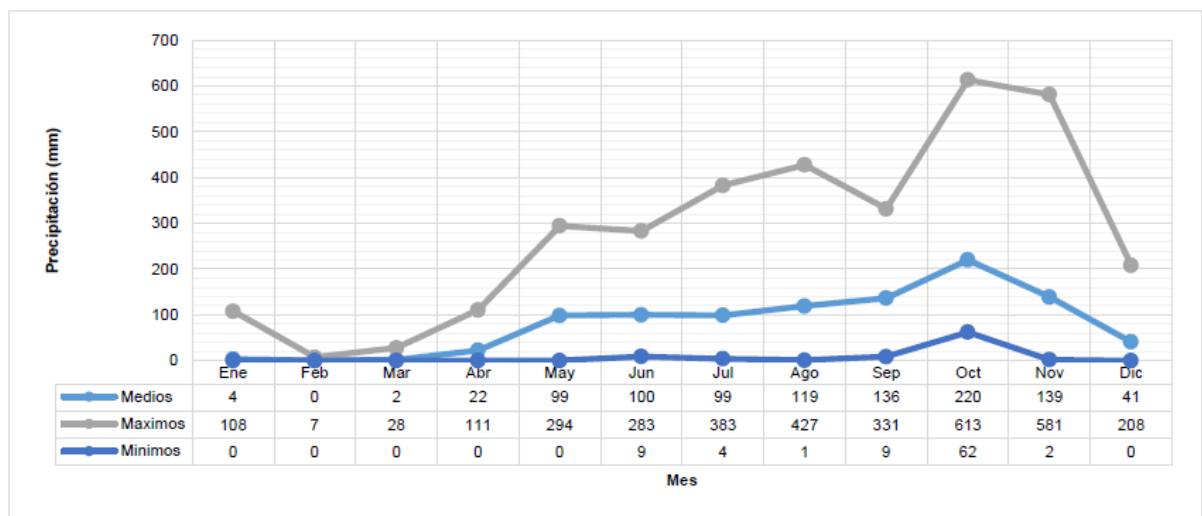


Gráfico 1 Precipitación mensual SKCG. Fuente: IDEAM

Por otro lado, la siguiente tabla muestra los tipos de aviones que pueden operar en la pista del aeropuerto Rafael Núñez de Cartagena:

TIPO DE TRÁFICO	S	T	S+	TP	LJ	H
CATEGORÍA DE CLASIFICACIÓN	Pequeño, monomotor	Pequeño, Bimotor	Pequeño propulsado	Turbohélice	Jet grande	Pesado
CATEGORÍA FAA	A	B	C	C	C	D
CÓDIGO OACI	A	B	C	D	E	F
ENVERGADURA AERONAVE	Hasta 15m	de 15m a 24m	de 24m a 36m	de 36m a 52m	de 52m a 65m	de 65m a 80m

Tabla 1. Tipos de aeronaves. Fuente: Manual de diseño de aeródromos (ICAO) (Organización de aviación Civil Internacional).

Mencionado lo anterior, es importante aclarar que el aeropuerto Rafael Núñez de Cartagena debido al gran número de visitantes, es uno de los principales aeropuertos internacionales del país, por lo que adaptarse al cambio de la normativa aeroportuaria es un desafío para el diseño y clasificación del pavimento de la pista. Por esto, con la actualización de la clasificación de pavimentos de ACN/PCN a ACR/PCR establecida por la OACI, para asegurar la seguridad y la eficiencia de las operaciones aéreas, es necesario evaluar la infraestructura de este.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

Contrastar los resultados obtenidos en aplicación del método ACN/PCN vs ACR/PCR, aplicada a la zona de pista del aeropuerto Rafael Núñez de Cartagena de Indias mediante información antecedente.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar el nuevo método de clasificación de pavimentos para la pista del aeropuerto Rafael Núñez de acuerdo con el Reglamento de Aeronáutico de Colombia (RAC) 14.
- Recopilar datos históricos de la zona de pista del aeropuerto, concernientes a flota, estructura de pavimento y resistencia de la subrasante, con el fin de explorar la diferencia de los dos métodos.
- Verificar la clasificación de las aeronaves que operan en la pista de aterrizaje del aeropuerto, con el fin de verificar los criterios y parámetros establecidos por la normativa actual.
- Identificar el impacto que tendrá el cambio del método ACN/PCN a ACR/PCR.

4. ANTECEDENTES

La infraestructura aeroportuaria es fundamental para la operación segura y efectiva de la aviación. En Colombia, debido a la necesidad de adecuarse a los avances tecnológicos y cambios de la industria, el desarrollo de métodos y regulaciones para el diseño y la construcción de aeropistas han sido objeto de una evolución adaptándose a las exigencias internacionales.

En 1919, con la fundación de la Sociedad Colombo Alemana de Transporte Aéreos (SCADTA), la primera aerolínea de Colombia y de América Latina, el estado vio la necesidad de crear un organismo encargado del control de la aviación en todos sus aspectos. Por medio de la ley 126 de 1919, se autorizó por primera vez al poder ejecutivo para que reglamentara todo lo relacionado con la aeronavegación. Esto

resulto en la creación de la Aeronáutica Civil en 1933, responsable de la regulación y control del espacio aéreo en Colombia.

En 1947, Colombia se convierte en miembro de la organización de Aviación Civil internacional (OACI), adoptando estándares y normativas internacionales. Entre 1950 a 1980, comenzó una expansión y modernización, incluyendo la construcción e inauguración del Aeropuerto Internacional El Dorado en Bogotá, estableciendo un nuevo estándar para la infraestructura aeroportuaria del país. Durante este periodo, la Aerocivil implementa normativas más estrictas sobre seguridad aérea y modernizó las instalaciones aeroportuarias, alineándose con las recomendaciones de la OACI.

Para 1981, se publicó por primera vez el Reglamento Aeronáutico de Colombia (RAC), estableciendo normas y procedimientos para la operación de aeronaves y aeropuertos en el país. En 1991, la constitución estableció el marco para la descentralización y privatización de los servicios públicos, incluyendo los aeropuertos. Esto inició el proceso de concesión de algunos aeropuertos para mejorar su gestión y modernización. El Aeropuerto Internacional Rafael Núñez en Cartagena y el Aeropuerto Internacional El Dorado de Bogotá fueron de los primeros en ser operados por empresas privadas, incluyendo planes de modernización y ampliación.

Para el año 2000, se realiza una reforma de la Aerocivil para mejorar la seguridad y eficiencia de la aviación civil. Se actualizan los Reglamentos Aeronáuticos de Colombia (RAC) para alinearse con las normas internacionales de la OACI. Durante esta década, se concesionaron aeropuertos importantes como el Aeropuerto Internacional José María Córdoba en Medellín. Entre 2010 y 2020, se estableció la Agencia Nacional de Infraestructura (ANI), responsable de la supervisión de las concesiones aeroportuarias, y en 2016 Colombia implementa el programa de seguridad de la aviación civil, en línea con las normativas de la OACI y la Organización Internacional de Policía Criminal (Interpol).

En 2020, en respuesta a la pandemia de COVID-19, se implementaron regulaciones específicas para la bioseguridad en aeropuertos y vuelos. Además, se lanzó el Plan Estratégico 2021-2030 de la Aerocivil, enfocado en la sostenibilidad, la innovación tecnológica y la resiliencia frente a futuras crisis.

Gracias a todas estas regulaciones y actualizaciones regidas por exigencias internacionales, el transporte aéreo en Colombia es un componente crucial de su infraestructura de transporte, facilitando tanto el movimiento de pasajeros como de carga. Actualmente el país cuenta aproximadamente con 120 aeropuertos, de los cuales 12 son internacionales y los demás son regionales o locales. Los principales aeropuertos concesionados se encuentran en Bogotá, Medellín, Cali, Cartagena, Barranquilla, Santa Marta, Bucaramanga y Pereira. La Aerocivil administra varios

aeropuertos, no concesionados ubicados en ciudades como Ibagué, Armenia y Pasto.

De esta manera, según lo reportado por la Aeronáutica Civil, en 2023, se movilizaron 53,553,950 pasajeros en los aeropuertos de Colombia, lo que significó un incremento del 1.8% con respecto al año 2022. El Aeropuerto Internacional El Dorado de Bogotá es el más grande y transitado del país, manejando más de 35 millones de pasajeros al año y alrededor de 700,000 toneladas de carga. Otros aeropuertos internacionales como el Aeropuerto José María Córdoba de Medellín y el Aeropuerto Rafael Núñez de Cartagena también contribuyen significativamente al movimiento de pasajeros y carga, aunque en menor escala comparado con El Dorado.

En este sentido, el aeropuerto de Cartagena de Indias, luego de su inauguración y reubicado en cresso en 1947 por la aerolínea LANSA donde se encuentra actualmente, no se tenía un método de diseño específico para el pavimento de la pista hasta que, en 1985, implementaron el método FAA. Luego, en 1996, el aeropuerto comienza a ser operado por la Sociedad Aeroportuaria de la Costa S.A. (SACSA) la cual se encargaría del mantenimiento de la pista una vez fuera repavimentada por la Aeronáutica Civil. Fue así como en 2001 se hizo la recuperación de la carpeta de rodadura.

En el 2007, mediante resolución N° 01092 del 13 de marzo de 2007, la Aeronáutica Civil pone en funcionamiento el Reglamento Aeronáutico de Colombia (RAC) 14, que establece los estándares y métodos que deben seguir los aeropuertos para el diseño, construcción, mantenimiento y operación para garantizar la seguridad y la productividad de las operaciones aéreas. Según el plan maestro del aeropuerto de Cartagena de 2016. En el 2009, SACSA implementó un plan de gestión de pavimentos que fue aprobado por la Aeronáutica Civil 3 años después. Por lo anterior, los estudios dieron como resultado un valor de PCN de 65 F/B/X/T el cual era óptimo para las necesidades del momento.

En 2012 la Administración Federal de Aviación (FAA) de los Estados Unidos emitió una Circular de Asesoramiento (AC) 150/5335-5C para reflejar los avances en la ingeniería de aeropuertos y los estándares de seguridad de la aviación y se han venido actualizando periódicamente para reflejar los últimos conocimientos técnicos, prácticas recomendadas y regulaciones en el campo de la aviación.

Debido al incremento constante del turismo en la zona, SACSA y la Aeronáutica Civil inician los estudios geotécnicos para la expansión de la infraestructura del aeropuerto que fue posible hasta el 2018 y se catalogó como aeropuerto internacional, donde se hizo la modernización y mejora del pavimento de la pista para resistir una variedad de tipos de aeronaves y cargas con un PCN de 82 F/B/W/T.

En 2020, la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) estableció un cambio en la metodología de ACN/PCN a ACR/PCR, con un período de transición de cuatro años, que comenzará en noviembre de 2024.

Para 2023 se habla de una ampliación la cual ya cuenta con los estudios necesarios realizados por SACSA. Actualmente, el aeropuerto Rafael Núñez cambia de operador a Operadora Internacional Aeropuerto de Cartagena S.A.S (OINAC) la cual será responsable de llevar a cabo las obras que podrían durar hasta tres años y se espera que se implemente el PCR/ACR.

Actualmente, tanto a nivel nacional como a nivel internacional, no hay registros de la implementación completa del método ACR/PCR. No obstante, algunos **aeropuertos han iniciado los preliminares para adoptar esta nueva metodología**, como el aeropuerto internacional Findel de Luxemburgo y el Western Sydney Airport, los cuales esperan aplicar por completo el método en noviembre de 2024. (Botha, 2023).

4.1. JUSTIFICACIÓN

La investigación presenta un valor agregado al enfocarse en identificar el impacto directo que genera el cambio del método en la normativa vigente de ACN/PCN a ACR/PCR en el reporte de la resistencia del pavimento de la pista del aeropuerto de Cartagena Rafael Núñez. Este enfoque específico es crucial dada la importancia estratégica del aeropuerto y su infraestructura para la conectividad y seguridad de la región.

Al evaluar los cambios metodológicos en el contexto particular de esta pista el análisis proporciona información para entender el desarrollo y la planificación de la infraestructura aeroportuaria. Además, al ser uno de los primeros análisis en abordar este tema para la pista del aeropuerto de Cartagena de Indias, puede servir como un modelo para la investigación sobre la gestión de pavimentos aeroportuarios en el futuro.

5. MARCO REFERENCIAL

5.1. MARCO TEÓRICO

Considerando que el objetivo del estudio actual es determinar el impacto del cambio del método ACN/PCN a ACR/PCR en la normativa aeroportuaria para la pista de aterrizaje del aeropuerto Rafael Núñez. El marco teórico presentado a continuación, servirá como base para comprender las implicaciones técnicas y operativas de este cambio, así como contextualizar la investigación dentro del marco referencial.

El aeropuerto Internacional Rafael Núñez (SKCG), localizado al norte de la ciudad de Cartagena, en el barrio Crespo, es uno de los más importantes del país debido

a su ubicación estratégica y al volumen de tráfico aéreo que maneja, toda vez que, atiende vuelos nacionales como internacionales, lo que redundará en la circulación de una amplia variedad de. Entre los tipos de flota que operan regularmente se encuentran:

- **Aviones de fuselaje estrecho:** Estos incluyen modelos como el Airbus A320 y el Boeing 737, que son comunes en rutas nacionales e internacionales de corto y medio alcance.
- **Aviones de fuselaje ancho:** El aeropuerto recibe aeronaves más grandes como el Boeing 767 y el Airbus A330, utilizados principalmente para vuelos internacionales de largo alcance, aunque tiene operaciones menos frecuentes.
- **Aeronaves regionales:** Modelos como el ATR 72 y el Embraer 190, que sirven rutas nacionales y regionales.

Por otra parte, la infraestructura de pavimentos está diseñada para soportar una variedad de aeronaves, garantizando su durabilidad y seguridad. Resaltándose las siguientes características:

- **Pistas de aterrizaje y despegue:** Construidas con pavimentos flexibles formado por capas de mezclas asfálticas, a las cuales subyacen material granular, para soportar el peso de aeronaves de fuselaje ancho y estrecho.
- **Rodajes y plataformas:** Generalmente contruidos con una combinación de concreto y asfalto, adecuados para maniobras de aeronaves de diferentes tamaños.

En tercer lugar, la infraestructura incluye varias instalaciones clave, con un énfasis particular en la pista principal:

- **Terminales de pasajeros:** Equipadas con modernas instalaciones que facilitan el control eficiente de pasajeros y equipajes.
- **Torre de control:** Proporciona servicios de control de tráfico aéreo, asegurando operaciones seguras y eficientes.
- **Zonas de carga y mantenimiento:** Áreas dedicadas a la carga aérea y al mantenimiento de aeronaves.

En cuanto a las características de la pista objeto de la zona de estudio, las especificaciones técnicas que la habilitan son las siguientes:

- **Ancho de la pista:** Cuenta con un ancho de aproximadamente 45 metros, lo que permite el aterrizaje y despegue de aviones de fuselaje ancho.
- **Longitud de la pista:** Con una longitud de 2,390 metros, es adecuada para vuelos nacionales e internacionales, incluyendo aquellos con aeronaves de mayor tamaño.
- **Zona de franja:** Diseñada para proporcionar un área de seguridad adicional alrededor de la pista, cumpliendo con las regulaciones internacionales de seguridad aérea.

Además de las características mencionadas, se consideran varias variables y parámetros para garantizar la operatividad y seguridad del aeropuerto, tales como:

- **Capacidad de carga:** Evaluación continua de la máxima capacidad de carga permitida para cada tipo de aeronave.
- **Mantenimiento de pavimentos:** Programas regulares de mantenimiento para garantizar la integridad estructural de los pavimentos.
- **Sistemas de iluminación y señalización:** Equipos modernos para operaciones nocturnas y en condiciones de baja visibilidad.

Con base en lo anterior, hay diversos estudios que analizan la importancia de la compatibilidad de la infraestructura aeroportuaria con los tipos de aeronaves que operan en ella.

Investigaciones previas han abordado la implementación y efectos en la metodología ACN/PCN y ACR/PCR en diferentes contextos aeroportuarios. Por ejemplo, estudios de Smith et al. (2020) y Johnson (2019) han demostrado que la transición ACR/PCR ofrece mayor precisión para determinar la capacidad de carga del pavimento reduciendo los márgenes de error y mejorando la seguridad operativa. Además, según Pérez (2018), la metodología ACR/PCR permite una mejor adaptación a las características específicas de las aeronaves modernas.

En el contexto del aeropuerto de Cartagena Rafael Núñez, la implementación de la normativa ACR/PCR es particularmente relevante debido a las características de su pista y el tráfico aéreo que opera. Por ejemplo, estudios preliminares indican que la pista ha experimentado un aumento en el tráfico de aeronaves de mayor peso, lo que subraya la necesidad de un análisis más preciso y detallado del pavimento (Aerocivil 2021). Es por esto por lo que se ha venido hablando de la modernización y repavimentación de este.

Con base en lo anterior, la transición a ACR/PCR permitirá a las autoridades del aeropuerto decidir qué hacer con el mantenimiento y la rehabilitación del pavimento, optimizando los recursos y mejorando la seguridad operativa. Además, al considerar

las condiciones climáticas locales y la intensidad del tráfico, ACR/PCR proporcionará una guía más fiable para la gestión de la infraestructura aeroportuaria.

- **ACN/PCN**

El método ACN/PCN (Número de Clasificación de Aeronave / Número de Clasificación de Pavimento) es un sistema estándar utilizado en la aviación para evaluar la compatibilidad entre aeronaves y pavimentos aeroportuarios. Este método, desarrollado por la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), y establecido por la circular Administración Federal de Aviación (FAA) 150/5335-5C permite determinar si un pavimento puede soportar una aeronave específica sin sufrir daños significativos.

El ACN es un número que representa el efecto de una aeronave en un pavimento específico. Se calcula en función del peso de la aeronave, el diseño del tren de aterrizaje, la presión de los neumáticos y las características del pavimento. Cada aeronave tiene un ACN que varía dependiendo del tipo de pavimento (rígido o flexible) y las condiciones operativas (como el nivel de resistencia del pavimento).

El PCN es un número que representa la capacidad de carga de un pavimento. Se determina en función de las propiedades del pavimento, su estructura y su capacidad para soportar cargas repetidas. Se asigna a las pistas, calles de rodaje y plataformas de los aeropuertos y se publica para informar a las aerolíneas sobre las capacidades del pavimento.

El método ACN/PCN se basa en la comparación entre estos dos números:

- La aeronave puede operar en ese pavimento si el ACN de la aeronave es igual o menor que el PCN de la aeronave. sin riesgo significativo de daño.
- Si el ACN de una aeronave es mayor que el PCN del pavimento, la aeronave podría dañar el pavimento, y se deberían considerar restricciones operativas o mejoras en el pavimento.

Para su aplicación un aeropuerto puede tener una pista con un PCN de 50. Una aeronave con un ACN de 45 puede operar en esa pista sin problemas. Sin embargo, una aeronave con un ACN de 55 no debería operar en esa pista sin evaluar los posibles daños o aplicar restricciones operativas

- **ACR/PCR**

El método ACR/PCR (Índice de Clasificación de Aeronave / Índice de Clasificación de Pavimento) es un sistema que la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) introdujo para reemplazar el método ACN/PCN. Este nuevo sistema proporciona una evaluación más precisa y flexible de la compatibilidad entre las aeronaves y los pavimentos aeroportuarios. La descripción detallada y guía de aplicación se establece en la AC-150/5355-5D emitida por la Administración Federal de Aviación (FAA)

El ACR es un valor que representa el efecto de una aeronave en un pavimento específico, similar al ACN en el sistema anterior. Este valor considera factores como el peso de la aeronave, la forma del tren de aterrizaje, la presión de los neumáticos y los rasgos del pavimento.

El PCR es un valor que representa la capacidad de carga de un pavimento. Este número indica la resistencia del pavimento a las cargas impuestas por las aeronaves y se calcula en base a las propiedades del pavimento, su estructura y su capacidad para soportar cargas repetidas.

El método ACR/PCR se basa en la comparación de estos dos valores para determinar si una aeronave puede operar en un pavimento específico sin riesgo significativo de daño:

- Si el ACR de una aeronave es igual o menor que el PCR del pavimento, la aeronave puede operar en ese pavimento sin causar daños significativos.
- Si el ACR de una aeronave es mayor que el PCR del pavimento, la operación de la aeronave en ese pavimento podría causar daños, y se deben considerar restricciones operativas o mejoras en el pavimento.

Un aeropuerto debe calcular y publicar el PCR de sus pavimentos (pistas, calles de rodaje y plataformas). Las aerolíneas y operadores de aeronaves deben conocer el ACR de sus aeronaves. La operación segura se garantiza cuando el ACR de la aeronave no excede el PCR del pavimento.

En su aplicación un aeropuerto con un PCR de 60 indica que su pavimento puede soportar aeronaves con un ACR de hasta 60. Una aeronave con un ACR de 55 puede operar en ese pavimento sin problemas. Sin embargo, una aeronave con un ACR de 65 no debería operar en ese pavimento sin evaluar los posibles daños o aplicar restricciones operativas. En resumen, el método ACR/PCR proporciona un marco actualizado y más preciso para asegurar que los pavimentos de los aeropuertos sean adecuados para las aeronaves que los utilizan, promoviendo así la seguridad y eficiencia en la aviación civil.

5.2. MARCO CONCEPTUAL

- **Normativa aeroportuaria**

Los puntos abordados anteriormente se relacionan con las regulaciones aeroportuarias, las cuales normalizan todas las facetas de la aviación a nivel nacional e internacional. Con este fin, estas normas establecen estándares de seguridad para garantizar que todos los aeropuertos del mundo sigan un conjunto común de reglas, al igual que los fabricantes de aviones diseñen aeronaves que cumplan con estos estándares y que puedan operar en aeropuertos de manera adecuada.

El Manual de Diseño de Aeródromos de la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) es el principal conjunto de reglas para el diseño de aeropuertos. Este manual promueve la seguridad, confiabilidad, confianza y eficiencia del transporte aéreo a través de la cooperación entre aerolíneas.

- **Clasificación de las aeronaves**

La clasificación de las aeronaves puede variar ligeramente entre diferentes organizaciones de aviación y regulaciones nacionales.

- **OACI (Organización de Aviación Civil Internacional)**

La OACI clasifica las aeronaves principalmente por su peso máximo de despegue y sus características de diseño. Las categorías principales son aviones ligeros, medianos, de gran tamaño, aeronaves de alas giratorias (helicópteros) y aeronaves no tripuladas (drones).

Codigo (Letra)	Envergadura de la aeronave	Distancia Externa del tren de aterrizaje
A	hasta 15 m	hasta 4,5 m
B	de 15 m a 24 m	de 4,5 m a 6,0 m
C	de 24 m a 36 m	de 6,0 m a 9,0 m
D	de 36 m a 52 m	de 9,0 m a 14,0 m
E	de 52 m a 65 m	de 9,0 m a 14,0 m
F	de 65 m a 80 m	de 14,0 m a 16,0 m

Tabla 2 Clasificación de aeronave. Fuente: ICAO

- **FAA (Administración Federal de Aviación de Estados Unidos)**

La FAA clasifica las aeronaves en varias categorías, incluyendo aviones, helicópteros, planeadores, globos aerostáticos y dirigibles. Dentro de cada categoría, las aeronaves pueden estar subdivididas según su uso, tamaño y capacidades específicas.

Categoría	Velocidad Requerida
A	Velocidad indicada inferior a 91 nudos
B	91 nudos o más, pero menos de 121 nudos
C	121 nudos o más, pero menos de 141 nudos
D	141 nudos o más, pero menos de 166 nudos
E	166 nudos o más, pero menos de 211 nudos

Tabla 3 Categoría de Aeronave. Fuente: FAA

- **RAC (Reglamento Aeronáutico Colombiano)**

El RAC establece clasificaciones similares a las de la OACI y la FAA, centrándose en el peso máximo de despegue (MTOW) y las características de diseño de las aeronaves. Además, puede incluir disposiciones específicas para adaptarse a las necesidades y regulaciones de la aviación en Colombia.

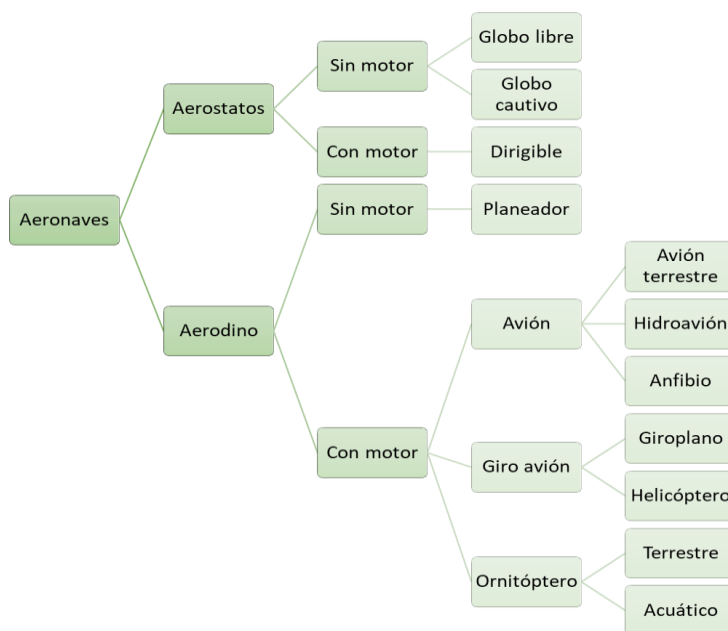


Gráfico 2 Clasificación de Aeronaves. Fuente: RAC 45.

- **Aeropuerto Internacional**

Un aeropuerto es una terminal en terreno plano que tiene una o más pistas para los aviones comerciales y de carga. La importancia y el tamaño del aeropuerto determinan la cantidad y el tipo de pistas. Las pistas deben adaptarse a los tipos de aeronaves que las utilizarán, según el Manual de Diseño de Aeródromos de la Organización de Aviación Civil Internacional (ICAO). Además, las dimensiones y el diseño de las pistas se ven afectados por elementos como las franjas laterales, los márgenes, las áreas de parada, las áreas libres de obstáculos y las áreas de seguridad en los extremos.

Para obtener la categoría de aeropuerto internacional, es esencial que estén equipados con centros de aduanas e inmigración, lo que facilita el manejo de vuelos internacionales. Estos aeropuertos generalmente tienen grandes infraestructuras y pistas adecuadas para recibir aviones de gran tamaño, utilizados en trayectos internacionales o intercontinentales. Estos aviones, conocidos como de gran envergadura, se distinguen por envergaduras, con medidas que oscilan entre aproximadamente 50 y 80 metros.

Para lograr esto, se requiere un diseño extenso y minucioso que garantice una infraestructura robusta y funcional compatible con las necesidades futuras del sector aeronáutico. Es fundamental seguir las regulaciones aeroportuarias nacionales establecidas en los Reglamentos Aeronáuticos de Colombia. (RAC) por la Aeronáutica Civil, así como con los estándares y acuerdos internacionales emitidos por la Organización de Aviación Civil Internacional (ICAO) que garantizan la seguridad y la eficiencia de la navegación aérea a nivel internacional.

A pesar de ser declarado y operar como un aeropuerto internacional, el Aeropuerto Rafael Núñez de Cartagena actualmente no recibe aviones de gran envergadura ni aeronaves de carga debido a consideraciones comerciales. No obstante, debido a la expansión industrial y comercial tanto de Cartagena como de Barranquilla, se prevé la realización y planificación de estudios adicionales sobre el aeropuerto con el fin de ampliar y expandir este mercado.

- **Aviones de gran envergadura**

Los aviones de gran envergadura tienen alas de gran longitud de un extremo a otro. Esta envergadura, que es la distancia que hay entre los extremos de las alas es una medida importante en la industria de la aviación y suele ser un indicador del tamaño y capacidad de la aeronave.

Estos aviones son diseñados para realizar vuelos de largo alcance y transportar grandes cantidades de pasajeros o carga. Generalmente, son

utilizados en rutas internacionales o intercontinentales, donde se requiere una capacidad de transporte significativa.

Algunos ejemplos de aviones de gran envergadura incluyen el Airbus A380, el Boeing 747, el Boeing 777, el Antonov An-225, entre otros. Estas aeronaves son utilizadas tanto para pasajeros como para carga a gran escala debido a su capacidad y alcance.



Ilustración 2 Envergadura del avión. Fuente: www.ozgurguvenc.com

5.3. MARCO LEGAL

El marco legal para este trabajo de grado incluye diversas regulaciones, normativas y políticas tanto a nivel nacional como internacional relacionadas con la notificación de resistencia de los pavimentos en aeropuertos y la seguridad de la aviación, mejorando la navegación aérea, la infraestructura de los aeródromos y creando nuevos procedimientos para maximizar el rendimiento del sistema de aviación.

A nivel internacional se incluirían las normas y sugerencias emitidas por la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) en sus documentos, como el Anexo 14 - Aeródromos, que establece estándares y prácticas recomendadas para la infraestructura aeroportuaria a nivel mundial. Además de eso se hará referencia a los tratados, acuerdos y circulares internacionales como AC 150/5335-5C actualizada a la AC 150/5335-5D de la FAA que proporciona una guía detallada para la evaluación y reporte de la resistencia de los pavimentos aeroportuarios mediante el uso del sistema PCN, y también la circular AC 150/5320-6G ofrece un conjunto detallado de directrices para el diseño y evaluación de pavimentos aeroportuarios, asegurando su capacidad para soportar las demandas operativas y contribuyendo a la seguridad y eficiencia de las operaciones aeroportuarias.

También a nivel nacional se consideran leyes y regulaciones específicas emitidas por la Aeronáutica Civil de Colombia que regulan la infraestructura aeroportuaria, incluyendo la clasificación de pavimentos y los estándares de seguridad, además de referirse a las normas técnicas emitidas por esta entidad como lo es el RAC 14, que establecen requisitos especializado en el diseño, la construcción y el mantenimiento de pavimentos aeroportuarios.

Es importante cumplir con todas las disposiciones legales y regulaciones relevantes en el proceso de evaluación del cambio de ACN/PCN a ACR/PCR en el aeropuerto de Cartagena.

6. METODOLOGÍA

Para evaluar las consecuencias de la transición de ACN/PCN a ACR/PCR en la pista del Aeropuerto Rafael Núñez de Cartagena, la metodología de investigación se centró en el análisis riguroso y sistemático de datos técnicos y cuantificables sobre la capacidad de los pavimentos, como se presenta a continuación:

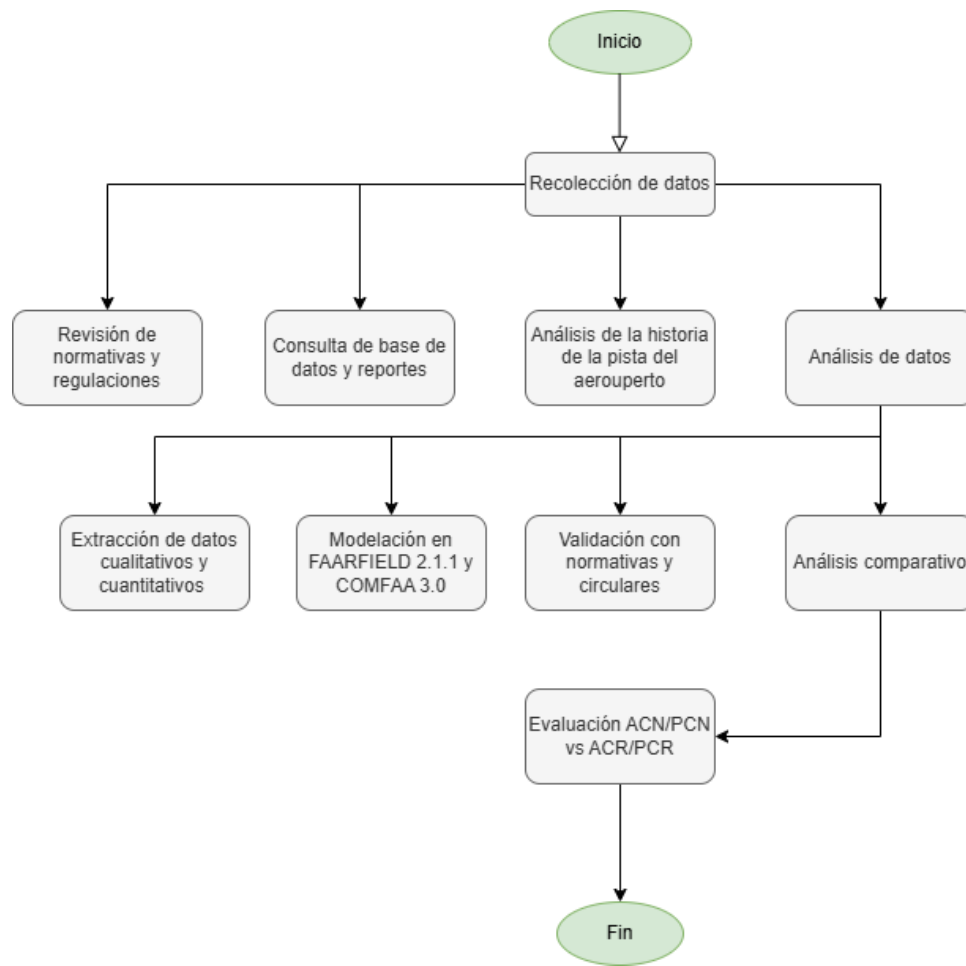


Gráfico 3 Diagrama Metodología

- **Procedimiento de recolección de datos**

La recopilación de datos se adelantó mediante la revisión de documentos oficiales como normativas y regulaciones aeronáuticas (Autoridad de la Aviación Civil, s. f.; Administración Federal de Aviación, s. f.), así como información secundaria disponible en las bases de datos de la aeronáutica, planes maestros (SACSA S.A., 2016) y reportes oficiales (Aerocivil, 2021).

Además, se realizó una búsqueda de información sobre la historia de la pista de aterrizaje del aeropuerto de Cartagena para recopilar datos acerca del estado del pavimento y su conformidad con los nuevos requisitos de la normativa ACR/PCR (Botha, 2023; Parra, 2018). También se consultaron documentos técnicos sobre las características de las aeronaves para la planificación aeroportuaria (BOEING, 2023).

- **Análisis de datos**

El análisis de datos se llevó a cabo mediante una combinación de revisión documental y modelado técnico, con el objetivo de comprender a profundidad los aspectos relacionados con la adopción de la nueva normativa. La recopilación de información comenzó con la extracción de datos cualitativos y cuantitativos de fuentes oficiales, entre las que destacan los registros de tráfico aéreo proporcionados por la Aerocivil. Estos datos, correspondientes al año 2023, ofrecieron una visión detallada de la flota de aeronaves que operaron en el aeropuerto, consolidándose para obtener un panorama anual que sirvió como base para el análisis posterior.

Con esta información, se procedió a modelar la estructura del pavimento utilizando el software FARFIELD v2.1.1, una herramienta especializada que permitió simular y ajustar las características de la pista en función de las cargas impuestas por las aeronaves. Para garantizar la precisión del modelo, se integraron datos provenientes de diversas fuentes, como la exploración geotécnica del suelo (que incluía apique y perfiles estratigráficos), el plan maestro del aeropuerto, boletines de seguridad operacional emitidos por SACSA (el operador del aeropuerto), y normativas internacionales como las circulares AC-150/5335-5C y AC-150/5335-5D. Además, se consultó el AIP (Aeronautical Information Publication) del aeropuerto Rafael Núñez de Cartagena, lo que permitió contrastar y validar los resultados obtenidos.

Este enfoque integral, que combinó la revisión de fuentes documentales con el uso de herramientas técnicas, permitió obtener una estructura de pavimento coherente con las condiciones reales del aeropuerto.

- **Modelaciones**

Se realizó un análisis cuantitativo detallado empleando herramientas de software de libre acceso suministradas por la FAA, específicamente FARFIELD 2.1.1 y COMFAA 3.0. Estas herramientas permiten una evaluación rigurosa y técnica de las capacidades y el rendimiento del pavimento aeroportuario bajo diferentes condiciones operativas, lo que fue fundamental para obtener resultados precisos y confiables en el estudio.

- **Análisis comparativo**

	ACN/PCN	ACR/PCR	
VENTAJAS	Es un sistema ampliamente adoptado a nivel global, lo que facilita la comparación de datos entre aeropuertos. Proporciona una clasificación simplificada de la capacidad de carga de las pistas.	Ofrece una evaluación más precisa al incorporar datos específicos de las aeronaves y las condiciones operativas reales. Esto permite una mejor adaptación a las necesidades actuales y futuras del tráfico aéreo.	ASPECTOS TÉCNICOS
DESVENTAJAS	No considera de manera detallada las características específicas de las aeronaves ni las condiciones dinámicas de operación, lo que puede llevar a estimaciones menos precisas.	Requiere un mayor nivel de detalle en los datos de entrada, lo que puede complicar su implementación en aeropuertos con recursos limitados.	
VENTAJAS	Al ser un sistema más simple, su implementación y mantenimiento son menos costosos. No requiere actualizaciones frecuentes de software ni equipos especializados.	Al proporcionar una evaluación más precisa, reduce el riesgo de daños en el pavimento y optimiza la vida útil de la pista, lo que puede traducirse en ahorros a largo plazo.	COSTOS
DESVENTAJAS	La falta de precisión puede llevar a sobreestimaciones o subestimaciones de la capacidad de carga, lo que podría resultar en costos adicionales a largo plazo por reparaciones o restricciones operativas	La implementación inicial es más costosa debido a la necesidad de software especializado (como FARFIELD y COMFAA) y personal capacitado para su manejo.	

	ACN/PCN	ACR/PCR	
VENTAJAS	Al ser un sistema estándar, los procedimientos de mantenimiento son más sencillos y están bien documentados.	Al considerar las cargas reales de las aeronaves, permite un mantenimiento más eficiente y preventivo, reduciendo el desgaste prematuro del pavimento.	MANTENIMIENTO
DESVENTAJAS	La falta de precisión puede llevar a un desgaste desigual del pavimento, aumentando la frecuencia y el costo de las intervenciones de mantenimiento.	Requiere un seguimiento continuo y actualizaciones frecuentes de los datos, lo que puede incrementar la carga de trabajo del personal técnico.	
VENTAJAS	Su simplicidad reduce el consumo de recursos tecnológicos y energéticos asociados con el análisis de datos.	Al maximizar la vida útil del pavimento y reducir la necesidad de reparaciones, contribuye a un uso más sostenible de los recursos materiales y económicos.	SOSTENIBILIDAD
DESVENTAJAS	Al no optimizar el uso del pavimento, puede llevar a un mayor consumo de materiales y recursos en reparaciones frecuentes.	El uso de software especializado y la necesidad de actualizaciones constantes pueden aumentar el consumo energético asociado con el procesamiento de datos.	
VENTAJAS	Al ser un sistema ampliamente reconocido, facilita la estandarización de los procedimientos de seguridad en aeropuertos de todo el mundo.	Al proporcionar una evaluación más precisa de las cargas, mejora la seguridad operativa al reducir el riesgo de daños en la pista y garantizar que las aeronaves operen dentro de los límites seguros.	SEGURIDAD
DESVENTAJAS	La falta de precisión en la evaluación de cargas puede comprometer la seguridad operativa, especialmente en aeropuertos con tráfico intenso o aeronaves de gran tamaño.	La complejidad del sistema puede requerir una mayor capacitación del personal, lo que, si no se maneja adecuadamente, podría introducir errores humanos en el proceso.	

Tabla 4 Análisis comparativo. Fuente: Adaptado de la OACI y la FAA

7. CAPÍTULOS

7.1. FLOTA DE ANALISIS – TRANSITO DE DISEÑO

Para la determinación de la flota, se utilizaron los datos de las operaciones realizadas en el Aeropuerto Rafael Núñez durante el año 2023. Esta información fue obtenida de la base de datos oficial de la Aerocivil, la cual proporciona un registro detallado de las operaciones por tipo de aeronave, organizadas mes a mes (Aerocivil, 2023). Este enfoque asegura la representación precisa de las condiciones actuales del tráfico aéreo en el aeropuerto.

Adicionalmente, teniendo en cuenta que los periodos de análisis establecen un periodo de 20 años, contados a partir del 2023, se consideró una tasa de crecimiento anual del 3.03%, basada en las proyecciones establecidas en el Plan Maestro del Aeropuerto Rafael Núñez del año 2016 (SACSA S.A., 2016). Esta tasa refleja las expectativas de crecimiento del tráfico aéreo en la región y fue incorporada al análisis para evaluar escenarios futuros y garantizar la sostenibilidad de la infraestructura aeroportuaria bajo las proyecciones estimadas.

La combinación de estos elementos garantiza que las condiciones actuales y las proyecciones futuras son consideradas en el proceso de evaluación del pavimento aeroportuario bajo la metodología ACR/PCR y ACN/PCN. De esta manera, la flota que opera el Aeropuerto internacional Rafael Núñez de Cartagena es presentada en la tabla 4.

FLOTA 2023 - AEROPUERTO INTERNACIONAL RAFAEL NUÑEZ DE CARTAGENA			
FAARFIELD	SALIDAS ANUALES	TASA DE CRECIMIENTO %	MTOW (Kg)
A319 neo	1561	3.03	75,500
A320 neo	15772	3.03	79,000
A321 neo	298	3.03	97,000
A330-900 920	29	3.03	251,000
A330-200	99	3.03	242,000
Cessna citation	13	3.03	4,683
Beechcraft King air C90	3	3.03	4,990
Beechcraft Super King Air 350	31	3.03	6,804
B737-700	772	3.03	70,100
B737-800	2251	3.03	79,000
B737-900ER	23	3.03	85,000
B777-300	29	3.03	299,370
B787-9	723	3.03	254,000
B737 MAX 9	13	3.03	88,314
BB737 MAX 8	82	3.03	82,190
Beechcraft king 300	10	3.03	7,530
Beechcraft 400A	32	3.03	7,257
Bombardier Challenger 604	10	3.03	17,963
Cessna 208 Caravan	4	3.03	3,629
CESSNA 414/414A	21	3.03	2,812
Embraer ERJ-145	1	3.03	22,000
Dassault Falcon 2000	8	3.03	17,600
PA - 31 - 325	35	3.03	3,402
PA - 34 - 220T	8	3.03	2,073
D-40	200	3.03	18,600
D-50	26	3.03	23,000
LEARJET 45/55B	25	3.03	8,600
HAWKER - 800	29	3.03	12,755

Tabla 5 Equipos 2023 SKCG

7.2. ESTRUCTURA DE PAVIMENTO EXISTENTE EN LA PISTA.

El análisis de la infraestructura de la pista se realizó considerando un perfil estratigráfico basado en estudios geotécnicos previos. La caracterización geotécnica identifica una topografía plana sobre suelos de origen aluvial y marino. Según el Estudio Geotécnico de Cemosá SAS (2016) y la exploración realizada por ITINERIS Gestión de Infraestructura (2015), el suelo de la pista está compuesto por una carpeta asfáltica en la superficie, seguida de estratos de grava limosa, arena arcillosa y limo de baja plasticidad. Estos datos se resumieron en un perfil combinado estratigráfico con las siguientes capas:

- **Carpeta asfáltica** (0-0.5 m): Material superficial.
- **Grava limosa** (0.5-0.8 m): Suelo granular cohesivo.
- **Arena arcillosa** (0.8-1.1 m): Material con resistencia intermedia.

- **Limo de baja plasticidad** (1.1-1.5 m): Suelo fino con baja capacidad de carga.

A partir de este análisis, se utilizó el programa FAARFIELD para evaluar y optimizar la sección estructural del pavimento. Los ajustes realizados incluyeron la selección de materiales, espesores y propiedades mecánicas adecuadas para cumplir con los requerimientos estructurales. El diseño final incluyó un pavimento flexible conformado por:

- **Capa de rodadura (P-401/P-403):** Asfalto con un espesor de 100 mm y un módulo elástico de 1,378.95 MPa.
- **Base estabilizada (User Defined):** Material estabilizado con 350 mm de espesor y un módulo de 1,200.00 MPa.
- **Base granular (P-154):** Agregado no triturado con 250 mm de espesor y un módulo de 140.94 MPa.
- **Subrasante:** Suelo natural con un CBR de 10 y un módulo de 103.42 MPa.

Este diseño permitió garantizar un comportamiento óptimo del pavimento frente a las cargas proyectadas, optimizando la vida útil y el desempeño estructural del sistema.

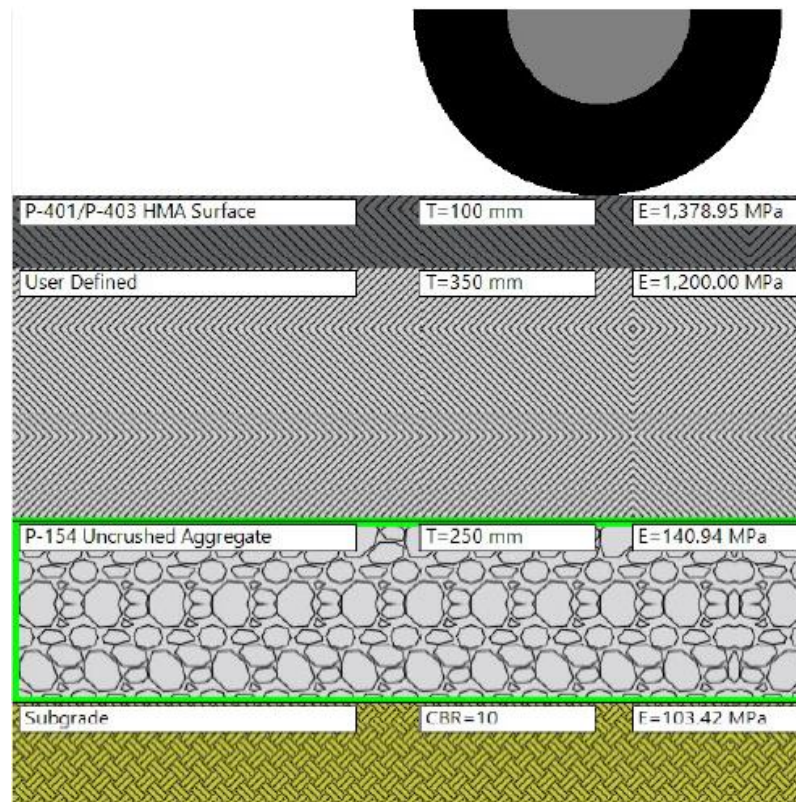


Ilustración 3 Estructura de Pavimentó SKCG. Fuente: FAARFIELD v2.1.1

7.3. DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DEL PAVIMENTO - MÉTODO (ACN/PCN)

Para la determinación del PCN (Número de Clasificación de Pavimento), se utilizó el software COMFAA 3.0. Inicialmente, se incorporó la flota correspondiente al año 2023, incluyendo información clave como el tipo de tren de aterrizaje, presión de neumáticos y otras características operativas relevantes.

Adicionalmente, se empleó la Hoja de Cálculo de Soporte para COMFAA para establecer los parámetros estructurales del pavimento. En el caso de pavimentos flexibles, fue necesario calcular el espesor equivalente, siguiendo las recomendaciones del apéndice B de la circular AC 150/5335-5C de la FAA. Esta circular sugiere utilizar un factor de equivalencia para bases estabilizadas (P-306), con valores que oscilan entre 1.2 y 1.6, dependiendo del análisis ingenieril. Este factor se ajustó para determinar el espesor de evaluación que posteriormente fue introducido en COMFAA, junto con un valor de CBR.

El último PCN registrado por autoridades del Aeropuerto Rafael Núñez fue 82/F/B/W/T. Para encontrar el valor más adecuado, se realizaron ajustes en los factores de equivalencia y espesores hasta obtener un resultado coherente con las condiciones del pavimento. Finalmente, los parámetros introducidos en el programa incluyeron un espesor equivalente de 786 mm y un CBR del 10%, logrando así determinar el PCN aproximado para la pista de estudio.

Reference Guidance	AC 150/5335-5C App Fig. A2-2 Figs. A2-18 & A2-19	Existing Flexible Pavement Layers	ENTER Existing Layer Thickness
P-401/3 P 403	1.6	P-401/3	100.0 mm
P-306 ECONOCRT	1.2	P-306	350.0 mm
P-304 CEM. TRTD	1.2	P-304	0.0 mm
P-209 Cr AGG	1.0	P-209	0.0 mm
P-208 Agg. P-211	1.0	P-208	0.0 mm
P-301 SOIL-CEM.	n/a	P-301	0.0 mm
P-154 Subbase	n/a	P-154	213.0 mm
Equivalent Thickness, mm		Subgrade CBR...	10.0
P-401/3 127.0 P-209 203.2 P-154 456.0 Total 786.2		☒ Metric ☐ English	
ENTER Ref. Section Requirements P-401 reference t 127.00 mm P-209 reference t 203.20 mm		COMFAA Inputs Evaluation thickness t = 786 mm Evaluation CBR = 10.0 Recommended PCN Codes: F/B/X	

Existing Pavement

Equivalent Pavement

Format Chart

Save Data

Clear Saved Data

Zero Layer Data

Loc_ID **Pavement ID**

LOC ID **GA RW**

Project Details

Examples

Ilustración 4 Parámetros estructurales

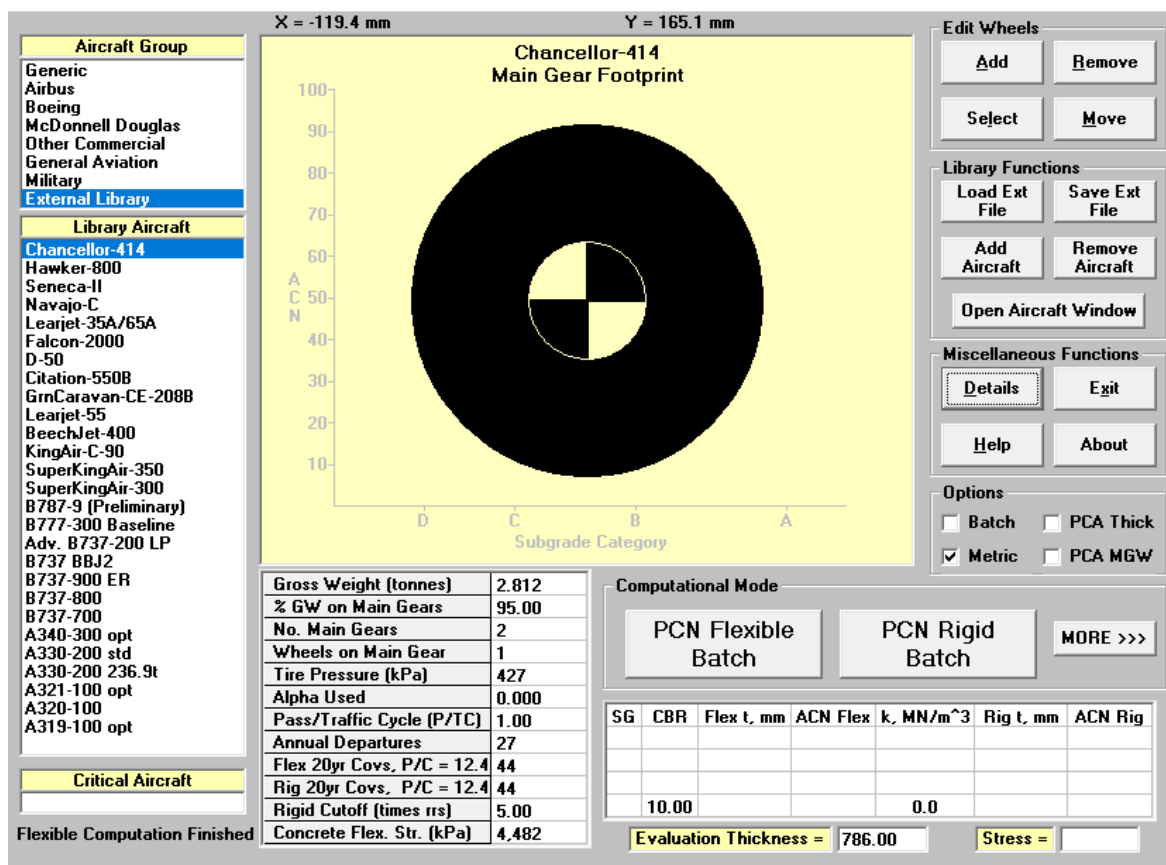


Ilustración 5 Parámetros COMFAA

Los reportes generados por COMFAA están conformados por diversa información, los cuales se presentan a continuación:

- Valores de PCN Este apartado presenta los resultados obtenidos mediante el procedimiento de cálculo del Factor de Daño Acumulado (CDF), el cual evalúa el efecto combinado de las aeronaves durante el período de análisis. Los resultados incluyen parámetros clave como el peso máximo admisible, el número de repeticiones permitido y el espesor necesario para soportar el tránsito total, además de su relación con las condiciones actuales del pavimento.

Con base en este análisis y considerando que el PCN requerido es de 82, se verifica que los resultados son consistentes, ya que el valor máximo calculado es de 81.9, lo cual cumple con los requisitos operativos establecidos para la infraestructura.

Results Table 2. PCN Values

No.	Aircraft Name	Critical Aircraft Total Equiv. Covs.	Thickness for Total Equiv. Covs.	Maximum Allowable Gross Weight	ACN Thick at Max. Allowable Gross Weight	CDF	PCN on B(10)
1	Chancellor-414	>5,000,000	231.7	32.361	410.31	0.0000	22.4
2	Hawker-800	>5,000,000	381.6	46.311	503.90	0.0000	33.7
3	Seneca-II	>5,000,000	189.8	35.534	392.75	0.0000	20.5
4	Navajo-C	>5,000,000	269.2	29.009	392.79	0.0000	20.5
5	Learjet-35A/65A	>5,000,000	318.1	44.406	507.88	0.0000	34.3
6	Falcon-2000	>5,000,000	475.6	44.404	503.25	0.0000	33.6
7	D-50	>5,000,000	491.4	51.699	496.22	0.0000	32.7
8	Citation-550B	>5,000,000	333.2	26.063	393.00	0.0000	20.5
9	GrnCaravan-CE-208B	>5,000,000	273.3	30.012	392.57	0.0000	20.4
10	Learjet-55	>5,000,000	472.5	46.662	508.23	0.0000	34.3
11	BeechJet-400	>5,000,000	413.3	26.249	392.92	0.0000	20.5
12	KingAir-C-90	>5,000,000	318.4	30.413	392.55	0.0000	20.5
13	SuperKingAir-350	>5,000,000	265.0	48.150	509.49	0.0000	34.4
14	SuperKingAir-300	>5,000,000	284.7	47.061	508.44	0.0000	34.3
15	B787-9 (Preliminary)	10,232	744.9	274.725	785.00	0.3030	81.9
16	B777-300 Baseline	>5,000,000	781.9	301.461	666.63	0.0000	59.1
17	Adv. B737-200 LP	151,784	751.5	94.983	675.27	0.0002	60.6
18	B737 BBJ2	1,152,952	758.6	86.921	619.76	0.0002	51.0
19	B737-900 ER	472,795	755.5	90.435	641.10	0.0001	54.6
20	B737-800	3,106,896	761.9	82.881	600.52	0.0018	47.9
21	B737-700	>5,000,000	772.4	72.033	541.07	0.0000	38.8
22	A340-300 opt	163,213	761.4	288.297	700.33	0.0001	65.1
23	A330-200 std	45,817	755.4	256.782	732.31	0.0102	71.2
24	A330-200 236.9t	28,179	752.7	267.814	747.38	0.0047	74.2
25	A321-100 opt	73,568	745.7	105.158	696.55	0.0106	64.5
26	A320-100	>5,000,000	764.2	82.503	588.23	0.0058	46.0
27	A319-100 opt	>5,000,000	769.0	77.967	556.06	0.0001	41.1
Total CDF =						0.3368	

Ilustración 6 Resultados valores PCN. FUENTE: COMFAA 3.0

- ACN para resistencia indicada este bloque de información presenta los valores de ACN correspondientes a cada aeronave, calculados para el nivel de capacidad de soporte especificado, en este caso, una resistencia media (B). El análisis muestra un valor de ACN de 73.5, el cual es inferior al PCN indicado anteriormente (81.9). Esto confirma que, en este escenario, la estructura cumple con los requisitos establecidos.

No. Aircraft Name	Gross Weight	% GW on Main Gear	Tire Pressure	ACN Thick	ACN on B (10)
1 Chancellor-414	2.812	95.00	427	121.0	1.9
2 Hawker-800	12.483	95.00	931	229.1	7.0
3 Seneca-II	2.073	95.00	379	94.9	1.2
4 Navajo-C	3.402	95.00	517	134.5	2.4
5 Learjet-35A/65A	8.600	95.00	1,241	188.3	4.7
6 Falcon-2000	17.600	95.00	1,503	289.3	11.1
7 D-50	23.000	95.00	558	290.2	11.2
8 Citation-550B	4.683	95.00	617	166.6	3.7
9 GrnCaravan-CE-208B	3.629	95.00	473	136.5	2.5
10 Learjet-55	17.963	95.00	820	295.7	11.6
11 BeechJet-400	7.257	95.00	609	206.6	5.7
12 KingAir-C-90	4.990	95.00	453	159.0	3.4
13 SuperKingAir-350	6.804	95.00	630	158.5	3.3
14 SuperKingAir-300	7.530	95.00	747	171.2	3.9
15 B787-9 (Preliminary)	253.997	93.55	1,565	743.9	73.5
16 B777-300 Baseline	299.367	94.84	1,475	663.2	58.5
17 Adv. B737-200 LP	88.313	92.76	1,579	644.1	55.1
18 B737 BBJ2	82.278	93.54	1,448	598.8	47.6
19 B737-900 ER	84.999	94.58	1,510	616.5	50.5
20 B737-800	78.999	93.56	1,400	582.4	45.0
21 B737-700	70.099	91.70	1,351	531.9	37.5
22 A340-300 opt	274.997	78.98	1,407	678.9	61.2
23 A330-200 std	241.997	94.80	1,439	704.0	65.8
24 A330-200 236.9t	250.998	93.40	1,553	715.9	68.1
25 A321-100 opt	96.999	95.60	1,497	661.8	58.2
26 A320-100	78.999	94.00	1,369	572.2	43.5
27 A319-100 opt	75.499	91.40	1,303	544.4	39.4

Ilustración 7 Resultados valores ACN. Fuente: COMFAA 3.0

7.4. VARIACION ACN Y PCN POR AERONAVE

Con base en los reportes generados por COMFAA 3.0, se presenta la evaluación de los seis aviones más exigentes en la mezcla de tráfico del aeropuerto. El gráfico 4 muestra la comparación entre el ACN y PCN, lo que permite analizar la capacidad estructural de la pista en relación con la carga impuesta por las aeronaves más representativas.

Asimismo, se incluye el número de salidas anuales de cada tipo de aeronave, lo que proporciona una visión detallada de la frecuencia con la que estos aviones operan en la pista. La combinación de estos factores permite evaluar si la infraestructura aeroportuaria es adecuada para soportar el tráfico actual o si requiere modificaciones para optimizar su rendimiento.

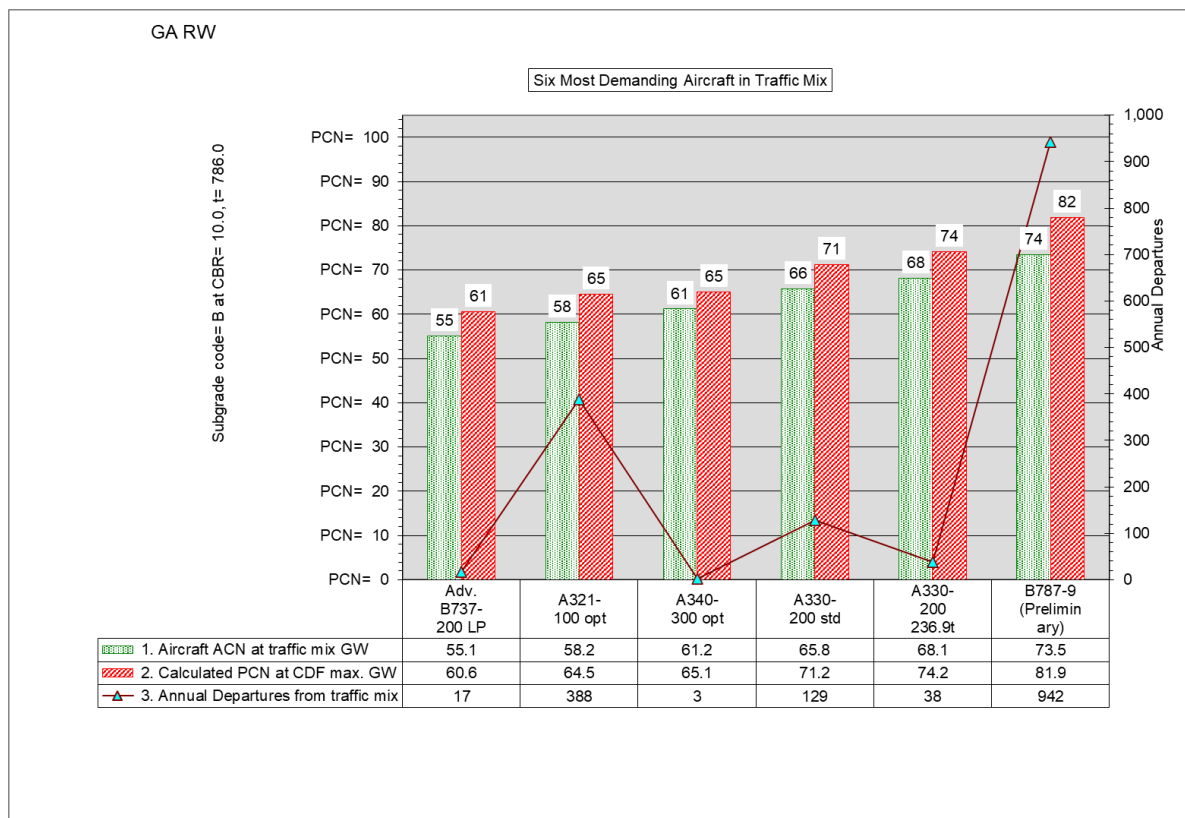


Gráfico 4 Variación ACN y PCN por aeronave.

7.5. DETERMINACION DE LA CAPACIDAD DEL PAVIMENTO – METODO (ACR/PCR)

Para determinar el PCR de la pista del Aeropuerto Internacional Rafael Núñez de Cartagena, se utilizó el software FAARFIEL v2.1.1, incorporando los valores de la estructura del pavimento, los espesores y las propiedades de los materiales caracterizados previamente. También se integró la lista de aeronaves operativas en 2023, con sus respectivos pesos, configuraciones de tren de aterrizaje y presiones de neumáticos. El análisis se realizó considerando un periodo de diseño de 20 años, simulando las condiciones futuras del pavimento frente a las cargas esperadas.

En cuanto a la estructura del pavimento, se incorporaron los módulos de elasticidad para cada capa: la carpeta asfáltica (1378.95 MPa), la base estabilizada (1200 MPa), la sub-base no triturada (140.94 MPa) y la subrasante con un CBR del 10% y módulo de elasticidad de 103.42 MPa. Cabe destacar que los espesores de estas capas afectan significativamente los resultados, mostrando la sensibilidad del pavimento ante variaciones en su estructura.

El resultado obtenido en FAARFIELD fue un PCR de 820/F/B/X/T, lo cual corresponde directamente con un PCN equivalente de 82/F/B/W/T previamente

registrado. Este resultado valida la consistencia de los cálculos realizados y la precisión del modelo aplicado en el software. La relación entre ambos valores radica en el sistema de ACR/PCR, donde el valor del PCR es un factor de escala en base 10 a el valor del PCN, lo que permite una representación más precisa de la capacidad estructural del pavimento. En este caso, el PCN registrado de 82 y el PCR calculada de 820 son coherentes, confirmando la capacidad de la pista de acuerdo con las condiciones de diseño y las características del tráfico aéreo evaluado.

The screenshot displays the FAARFIELD v2.1.1 software interface. The 'Job Name' is 'Pista Aeropuerto SKCG' and the 'Structure Name' is 'New Structure 1'. The 'Pavement Type' is set to 'New Flexible'. A table lists the pavement layers with their respective materials, thicknesses, moduli, and CBR values. The 'P-154 Uncrushed Aggregate' layer is highlighted with a red arrow. The 'Status' panel on the right indicates that the 'PCR Calculation of New Structure 1 Completed' and shows the 'Run Time: 33 seconds' and the final 'PCR = 820/F/B/X/T' value, which is highlighted in a green box.

Material	Thickness (mm)	E (MPa)	CBR
P-401/P-403 HMA Surface	100	1,378.95	
User Defined	350	1,200.00	
--> P-154 Uncrushed Aggregate	250	140.94	
Subgrade		103.42	10

Ilustración 8 Resultado PCR. Fuente: FAARFIELD v2.1.1

En FAARFIELD, cuando se cambia el espesor del pavimento, se modifica la capacidad estructural del mismo. Esto afecta directamente al cálculo del ACR, ya que este valor se basa en el daño acumulado, la distribución de esfuerzos y la capacidad del pavimento de soportar el tránsito de la aeronave en las condiciones dadas.

Al ser el ACR una medida adaptada a las condiciones locales del pavimento, cualquier ajuste en los espesores (u otros parámetros estructurales) se traduce en un cambio en su valor, en este caso la aeronave que presenta el mayor ACR es B787-9.

Results Table 3. New Flexible ACR at Indicated Gross Weight and Strength						
No.	Aircraft Name	Gross Weight (kg)	Percent Gross Weight on Main Gear	Tire Pressure (MPa)	ACR Thick (mm) (B)	ACR/F/B
1	A330-900 WV920	251,000	93.8	1,552.63	643	642.2
2	A319neo	75,500	91.39999	1,303.15	511	362.3
3	A320neo	79,000	93.8	1,369.50	528	396.6
4	A321neo	97,000	94.6	1,496.92	589	520.9
5	A330-200 WV058	242,000	92.6	1,438.78	625	599.7
6	Beechcraft King Air 350	6,804	95	630.13	124	27.5
7	B737-700	70,100	91.8	1,354.27	500	343.8
8	B737-800	79,000	93.6	1,402.23	536	408.3
9	B737-900 ER	85,000	94.6	1,510.34	559	457.2
10	B777-300	299,370	94.8	1,477.89	594	528.4
11	B787-9	254,000	92.2	1,570.42	648	652.7
12	B737-8/8-200/BBJ MAX 8	82,190	93.4	1,449.67	546	429.3
13	B737-9 MAX	88,314	94.2	1,581.73	569	479.5
14	Beechcraft King Air 300	7,530	95	746.82	142	33.3
15	BeechJet-400/400A	7,257	95	609.07	196	55.3
16	Beechcraft King Air C90	4,990	95	453.07	140	32.4

Ilustración 9 Aeronave con ACR crítico. Fuente: FAARFIELD v2.1.1

7.6. VARIACION ACR Y PCR POR AERONAVE

Con base en los análisis realizados mediante FAARFIELD v2.1.1, se presenta la evaluación de la estructura de la pista del Aeropuerto SKCG. La gráfica 5 muestra la relación entre el ACR y el PCR para diferentes tipos de aeronaves, lo que permite evaluar si la infraestructura es adecuada para soportar la demanda operativa actual y futura.

El ACR representa la carga estructural que cada aeronave impone sobre la pista, mientras que el PCR, indicado en la línea horizontal de 815.1/F/B, refleja la capacidad estructural de la misma. Además, se incluyen las salidas anuales de cada avión, lo que permite identificar los modelos más frecuentes en la operación del aeropuerto.

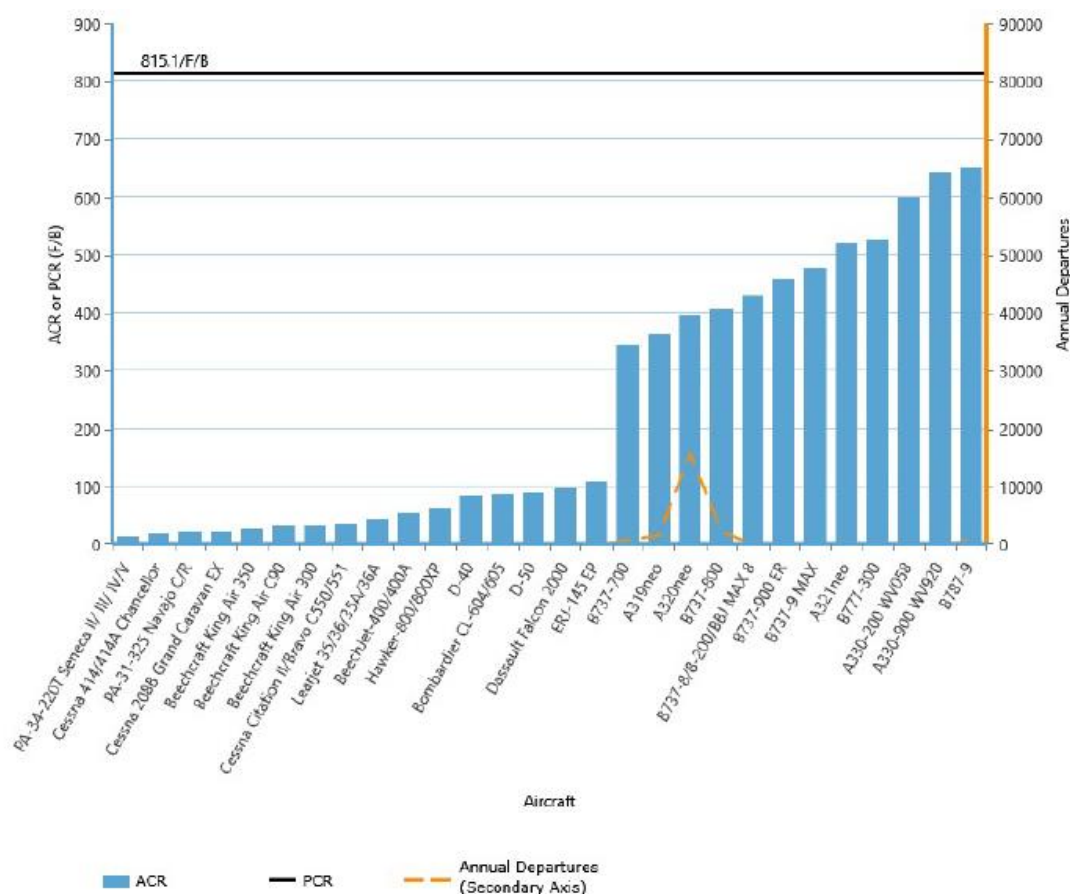


Gráfico 5 Variación ACR y PCR por aeronave.

7.7. ANALISIS DE RESULTADOS - SENSIBILIZACION

Para la evaluación estructural de la pista, se llevaron a cabo modelaciones en FAARFIELD 2.1.1 utilizando la flota de aeronaves correspondiente al año 2023, considerando sus respectivos pesos operativos y una tasa de crecimiento anual proyectada. Durante este proceso, se seleccionaron los materiales de la estructura de la pista con espesores adecuados y un CBR=10%, asegurando una base estructural consistente para los cálculos.

Con esta información, se determinó un PCR de 820/F/B/X/T, tomando en cuenta que el PCN registrado es de 82/F/B/W/T.

Posteriormente, la misma información base fue ingresada en COMFAA, donde se suministraron los parámetros necesarios para continuar con el análisis. Adicionalmente, se empleó el archivo auxiliar de Excel de COMFAA, en el que se incorporaron los espesores para evaluar la variable del factor estructural P-401/403, cuyo rango se estableció entre 1.2 y 1.6. Como resultado, se determinó un espesor

óptimo en 786 mm, el cual permitió obtener un PCN aproximado a 82, garantizando así una adecuada relación entre la capacidad estructural de la pista y las exigencias operacionales de la flota evaluada.

7.8. RANGOS DE EQUIVALENCIA VARIABLES PARA LOS FACTORES DE CONVERSION DE LA CAPA DE PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA FAA

ESPESOR INDICADO COMFAA		786
PCN 81.9	P-154	FACTOR
	213	1.2
	164	1.3
	115	1.4
	66	1.5
	17	1.6

Tabla 6 Rangos de equivalencia.

La circular AC 150/5335-5C establece los factores de equivalencia que son fundamentales para el diseño de estructuras de pavimentos, ya que permiten evaluar la capacidad de los materiales para soportar cargas bajo diferentes condiciones. Estos factores son determinantes en la optimización de los espesores de las capas que componen el pavimento, especialmente en el caso de la subbase granular P-154, un material ampliamente utilizado por su resistencia y durabilidad.

La tabla 6 muestra la influencia directa del factor de equivalencia en el diseño de espesores de la subbase, considerando un espesor total indicado de 786 mm. A medida que aumenta el factor de equivalencia, el espesor de la capa P-154 disminuye de forma significativa, lo que refleja la capacidad del material estabilizado para soportar mayores cargas y reducir la necesidad de espesores adicionales.

El comportamiento observado es consistente con las directrices establecidas por la FAA, donde el incremento en el factor de equivalencia está asociado a una mejor capacidad estructural de los materiales estabilizados. Esto implica que con un factor de equivalencia bajo (1.2), el espesor requerido es mayor (213 mm), mientras que con factores de equivalencia más altos (1.6), el espesor de la subbase granular se reduce drásticamente (17 mm).

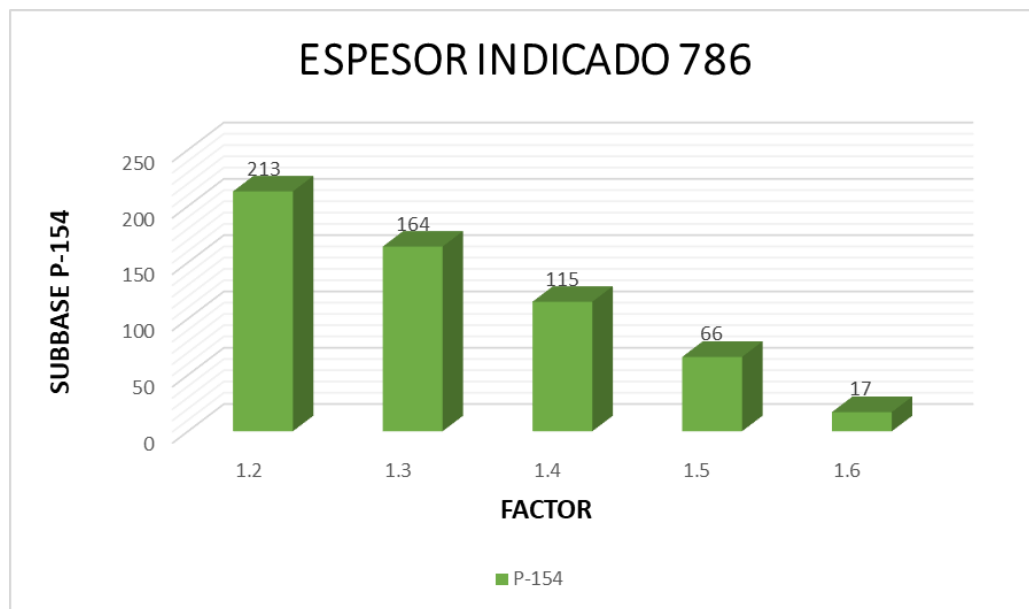


Gráfico 6 Tendencia espesor indicado.

La gráfica 6 ilustra claramente esta tendencia descendente de los espesores a medida que el factor de equivalencia aumenta. Este comportamiento resalta la importancia de una correcta selección del factor en función de las condiciones específicas del proyecto. Además, subraya la necesidad de realizar una calibración precisa y una evaluación técnica rigurosa para garantizar que el diseño del pavimento sea adecuado tanto en términos de capacidad de carga como de economía.

En síntesis, el análisis integrado de la tabla y el gráfico subraya la relación inversa entre el espesor de la subbase granular y el factor de equivalencia, reafirmando su importancia como parámetro crítico en el diseño estructural del pavimento.

7.9. RESULTADOS DE RELACION

La validación de la transición del ACN/PCN al ACR/PCR es un paso crucial en este estudio, ya que permite asegurar la precisión y confiabilidad de los resultados. Según lo establecido por ICAO (Organización de Aviación Civil Internacional), la transición de PCN a PCR implica una relación aproximada de 10 veces la magnitud del valor de PCN. Esto se debe a que el sistema PCR utiliza una escala más detallada y precisa para evaluar la capacidad estructural de los pavimentos aeroportuarios, lo que permite una mejor adaptación a las cargas operativas de las aeronaves modernas. Por lo tanto, esta validación no solo garantiza la coherencia entre ambos sistemas, sino que también proporciona una base sólida para la toma de decisiones en la gestión y mantenimiento de las pistas.

CBR 10 - 1.2							
P-154	PCR	ACR	ESPEJOR (mm)	PCN	ACN	PCR/PCN	ACR/ACN
150	670	655	723	68.7	73.5	9.753	8.912
160	680	662	733	x			
170	700	668	743	72.8	73.5	9.615	9.088
180	710	674	753	74.8	73.5	9.492	9.170
190	730	680	763	77	73.5	9.481	9.252
200	740	686	773	79.1	73.5	9.355	9.333
210	760	693	783	81.2	73.5	9.360	9.429
215	760	696	788	82.3	73.5	9.235	9.469
220	770	699	793	83.4	73.5	9.233	9.510
230	790	705	803	85.6	73.5	9.229	9.592
240	800	711	813	87.8	73.5	9.112	9.673
250	820	716	823	91.1	73.5	9.001	9.741

Tabla 7 Resultados de relación para factor de equivalencia de 1.2

Se presentada una muestra de análisis exhaustivo del pavimento flexible, considerando los espesores, características de los materiales y el factor de equivalencia de 1.2 siendo este el más acertado optimizando la capacidad estructural del pavimento según las necesidades de la flota analizada para 2023.

En el análisis, se obtuvo un PCR de 760 y un ACR de 696, con un espesor total equivalente de 788 mm. Estos resultados fueron obtenidos utilizando los datos estructurales del pavimento y un valor de CBR de 10%. Adicionalmente, el PCN calculado es de 82.3, lo cual coincide con los registros históricos (82/F/B/W/T), mientras que el ACN calculado es de 73.5, reflejando una estructura que soporta adecuadamente las cargas de las aeronaves.

Así mismo destaca la relación entre el PCR y el PCN, donde el nuevo sistema ACR/PCR introduce un factor multiplicador que escala el valor del PCN por 10. Este ajuste no cambia los fundamentos técnicos de cálculo, pero proporciona una mayor precisión en la representación de la capacidad del pavimento. Así, la relación PCR/PCN es de 9.235, confirmando la consistencia del modelo, y la relación ACR/ACN es de 9.469, validando los cálculos en términos de resistencia estructural y capacidad.

Por último, al variar los factores de equivalencia, se observan cambios en los espesores de evaluación, pero los valores de PCR y ACR permanecen en rangos aceptables, garantizando una capacidad estructural suficiente. Este análisis evidencia cómo la transición de ACN/PCN a ACR/PCR mantiene coherencia técnica, a la vez que optimiza la evaluación del pavimento mediante la escala ajustada.

Al analizar la tabla 7, se identificó que los valores de ACN permanecen constantes, mientras que los de ACR varían. Esta variabilidad en el ACR refleja la sensibilidad del diseño del pavimento frente a los ajustes realizados en los parámetros de entrada, lo que confirma la importancia de una calibración precisa durante el proceso de cálculo.

El ACN es constante porque es un valor calculado para condiciones estándar definidas por la OACI, específicamente para dos tipos de subrasante (duras y blandas). Es un número único asignado a cada aeronave, basado en su peso máximo operativo, tipo de tren de aterrizaje y presión del neumático. Al ser una referencia estándar, no toma en cuenta las condiciones reales del pavimento ni el peso real de la aeronave en un momento específico. Por esta razón, el ACN no varía y se considera una constante asociada al diseño y certificación de la aeronave.

En cambio, el ACR varía porque considera condiciones operativas reales. Este valor depende de las características específicas del pavimento, como su resistencia real, el peso y la configuración de la aeronave en el momento de la operación, así como otros factores operativos como la temperatura y la humedad. De esta manera, el ACR refleja la interacción real entre la aeronave y la infraestructura del aeropuerto en tiempo real, lo que lo convierte en un valor más sensible y ajustado a las condiciones operativas del momento.

Posteriormente, se realizó una comparación de los valores de ACR obtenidos con los valores oficiales registrados por los manuales de usuario de cada uno de los diversos fabricantes de aeronaves. Para esta tarea, se seleccionaron las cinco aeronaves más críticas de la flota de 2023, con base en su peso máximo del despegue (MTOW). Este procedimiento permitió analizar las diferencias entre los valores estimados y los reportados oficialmente.

AVION	PESO (kg)	ACR		Diferencia
		OFICIAL	OBTENIDO	
B777-300	299.370	503	528	25
B787-9	254.000	660	653	-7
A330-900	251.000	650	642	-8
A330-200	242.000	590	599	9
A321-NEO	97.000	530	520	-10

Tabla 8 Comparación Valores ACR oficiales y obtenidos

Las diferencias observadas son relativamente pequeñas y están dentro de márgenes aceptables para cálculos prácticos de resistencia de pavimentos. Sin embargo, los resultados sugieren que se podrían ajustar parámetros específicos, como:

- Configuración de tren de aterrizaje.
- Presión de inflado de los neumáticos.

- Características del pavimento (como módulo de elasticidad o espesor).

7.10. Relación PCR/PCN

La relación PCR/PCN es una herramienta clave para evaluar la compatibilidad entre la capacidad estructural del pavimento y las aeronaves que lo utilizan. La tendencia decreciente observada indica que, a medida que se incrementan los factores, la relación entre la resistencia real del pavimento (PCR) y la carga estándar representada por el PCN disminuye. Esto puede interpretarse como un comportamiento de diseño en el que pavimentos diseñados para factores mayores tienen menores márgenes frente a las cargas, reflejando posiblemente una calibración más precisa o estricta.

FACTOR	PCR/PCN		
	PROMEDIO PCR/PCN	MÁXIMO PCR/PCN	MÍNIMO PCR/PCN
1.2	9.35	9.75	9.00
1.3	8.28	8.49	8.08
1.4	7.38	7.57	7.23
1.5	6.58	6.62	6.55
1.6	5.70	6.05	4.82

Tabla 9 Valores de relación PCR/PCN

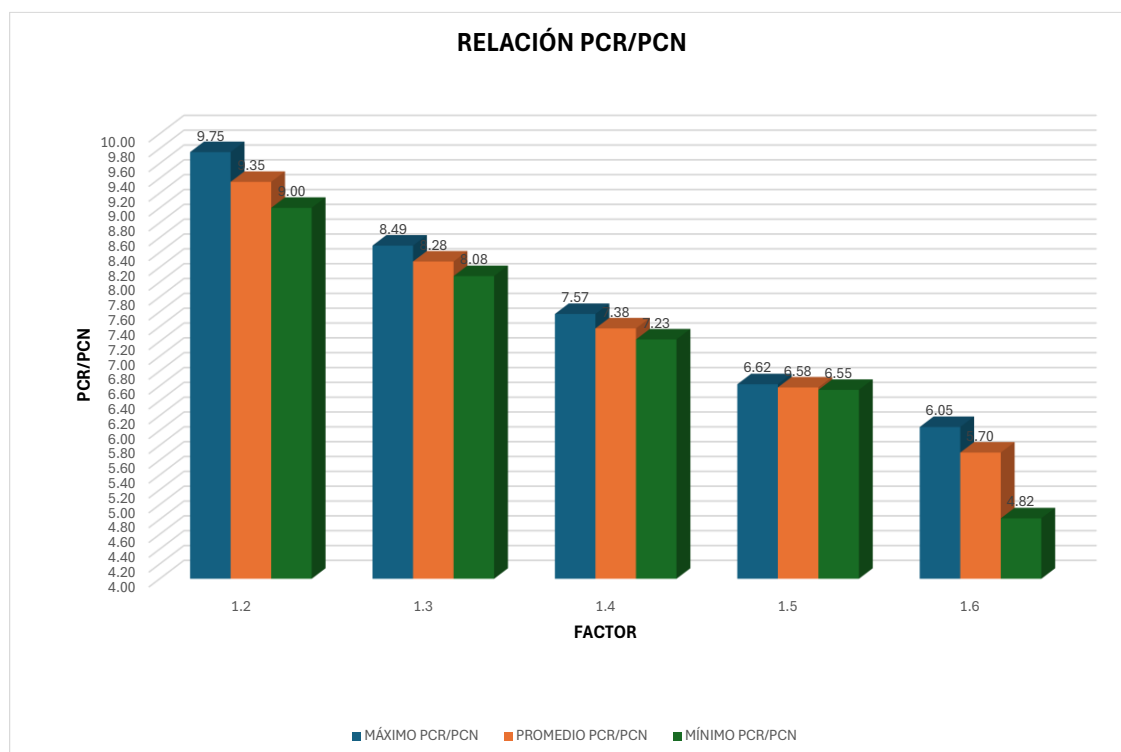


Gráfico 7 Relación PCR/PCN

La gráfica refuerza estos resultados al mostrar que:

- Para el factor 1.2, los valores PCR/PCN son más altos, con un promedio de 9.35 y un rango entre 9.75 (máximo) y 9.00 (mínimo), lo que sugiere una mayor capacidad relativa en esta condición.
- Conforme el factor aumenta, el promedio y los extremos disminuyen progresivamente, alcanzando en el factor 1.6 un promedio de 5.70, un máximo de 6.05 y un mínimo de 4.82.

Este comportamiento sugiere que pavimentos diseñados para factores menores (como 1.2) presentan una mayor eficiencia relativa, mientras que factores más altos reducen esta capacidad. Estos resultados son útiles para evaluar la eficiencia estructural del pavimento bajo distintas condiciones y para seleccionar configuraciones de diseño óptimas.

7.11. Relación ACR/ACN

La relación ACR/ACN demuestra que los pavimentos diseñados bajo el enfoque de ACR ofrecen una capacidad superior a la estimada por el ACN, especialmente en condiciones óptimas. Sin embargo, la variabilidad observada en los mínimos resalta la necesidad de monitorear y calibrar adecuadamente los factores de diseño para mantener un desempeño uniforme.

ACR/ACN			
FACTOR	PROMEDIO ACR/ACN	MÁXIMO ACR/ACN	MÍNIMO ACR/ACN
1.2	9.38	9.74	8.91
1.3	9.31	9.74	8.91
1.4	9.25	9.74	8.61
1.5	9.34	9.67	9.01
1.6	9.34	9.74	8.91

Tabla 10 Valores de relación ACR/ACN

Se muestra una tendencia relativamente estable a través de los factores evaluados (de 1.2 a 1.6), con variaciones leves entre los valores promedio, máximo y mínimo. Los valores promedio oscilan entre 9.25 (para el factor 1.4) y 9.38 (para el factor 1.2), lo que refleja una ligera disminución en los factores intermedios, pero una estabilización hacia los factores más altos (1.5 y 1.6). Esto sugiere que la relación promedio se mantiene constante a medida que el factor aumenta.

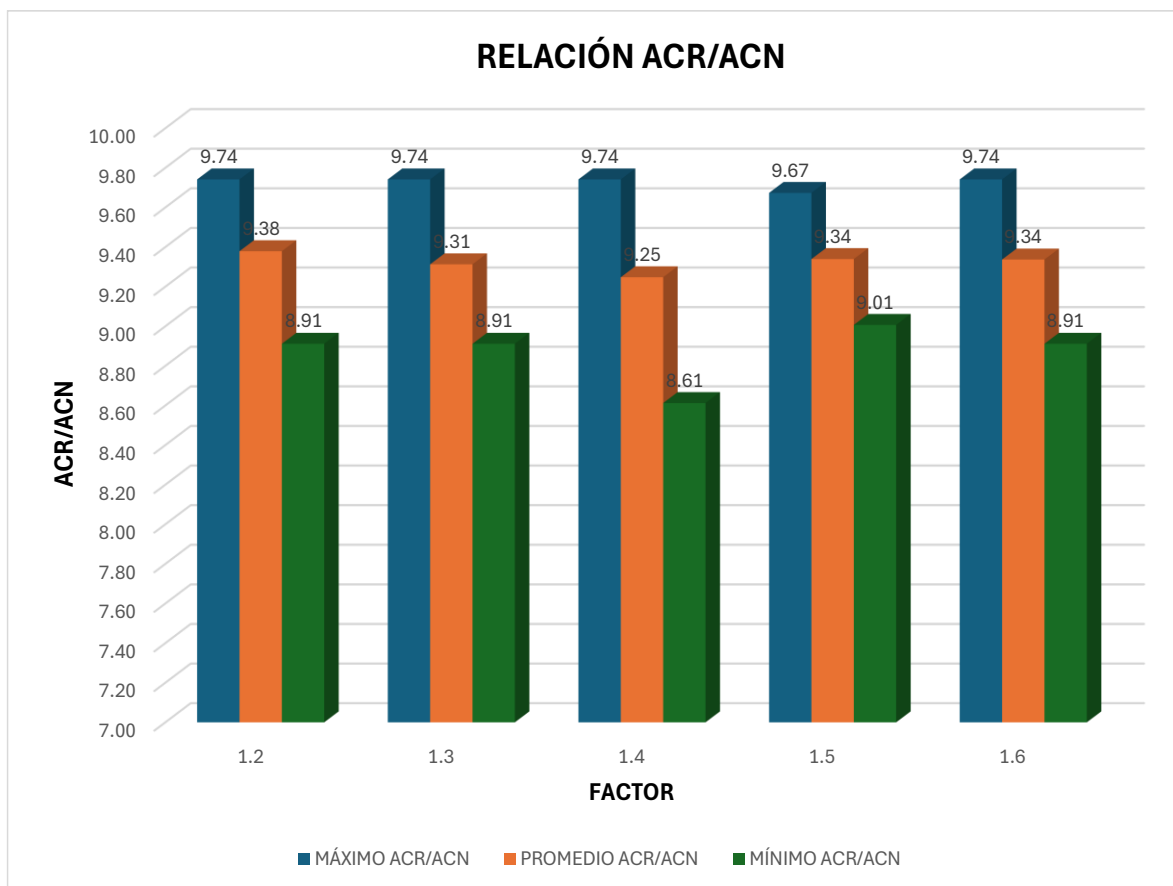


Gráfico 8 Relación ACR/ACN

Según los diferentes factores se muestra una estabilidad notable en los valores promedio (entre 9.25 y 9.38) y máximos (en su mayoría constantes en 9.74), lo que resalta una relación consistente entre estas métricas a lo largo de los distintos escenarios evaluados. Sin embargo, los valores mínimos presentan una ligera variación, con un rango de 8.61 a 9.01, lo que sugiere que los ajustes en los parámetros de diseño pueden influir en el rendimiento mínimo esperado del pavimento.

En resumen, los valores promedio y máximos indican una capacidad confiable de los pavimentos calculados con ACR, mientras que la variabilidad de los mínimos subraya la importancia de calibrar adecuadamente las condiciones operativas y de diseño para garantizar un desempeño uniforme.

- **Objetivo de la Transición**

- ✓ Mejorar la precisión en la evaluación de pavimentos.
- ✓ Incorporar factores como el deterioro y las condiciones reales del pavimento.
- ✓ Adaptarse a nuevas tecnologías y materiales.

8. CONCLUSIONES

- Con base en el análisis comparativo, se puede decir que el sistema ACN/PCN. Dada su simplicidad y bajo costo de implementación resulta adecuado para contextos donde no se requiere un análisis detallado de las cargas y donde las operaciones son menos complejas. Por otro lado, el sistema ACR/PCR resulta más adecuado para aeropuertos internacionales o de alto tráfico, donde la precisión en la evaluación de cargas es crítica para garantizar la seguridad operativa, optimizar costos a largo plazo y maximizar la vida útil de la infraestructura. En estos casos, la inversión inicial en herramientas y capacitación se justifica plenamente por los beneficios en términos de eficiencia, sostenibilidad y seguridad.
- La transición al método ACR/PCR impacta directamente en la operación y gestión de la infraestructura aeroportuaria. Los resultados evidencian que este cambio facilita una toma de decisiones más informada respecto al mantenimiento y refuerzo de las pistas. Al adaptarse a las condiciones reales de operación, el ACR/PCR previene problemas como el deterioro acelerado del pavimento debido a cargas no previstas o insuficientemente calculadas, un riesgo inherente al método ACN/PCN. Esto refuerza la importancia de que los operadores aeroportuarios adopten este método en cumplimiento con las normativas actuales, asegurando mayor seguridad y eficiencia operativa.
- Los valores obtenidos de ACR muestran una marcada sensibilidad a variaciones en parámetros como la resistencia de la subrasante, el peso operativo de las aeronaves y las características ambientales. Por ejemplo, los ajustes en la rigidez del pavimento generaron cambios significativos en los valores de ACR, lo que destaca la necesidad de una calibración precisa y la actualización de los datos en tiempo real para mantener la confiabilidad del análisis. Esto contrasta con el método ACN, cuyos valores permanecen constantes debido a su enfoque basado en parámetros predeterminados.
- Durante el análisis, se encontró que el método ACR/PCR permite clasificar las aeronaves de manera más realista en función de sus características operativas y estructurales. Este ajuste puede requerir la revisión de las categorías actuales utilizadas bajo el método ACN/PCN, particularmente para aeronaves de flotas modernas. Además, esta flexibilidad resulta fundamental en aeropuertos con alta diversidad operativa, como el Rafael Núñez, permitiendo optimizar el uso de la infraestructura y priorizar mejoras específicas según las necesidades reales.
- El método ACR/PCR, alineado con el Reglamento Aeronáutico Colombiano (RAC) 14, representa un avance hacia la modernización de las normas de clasificación de pavimentos aeroportuarios en el país. Esta metodología no

solo mejora la capacidad de adaptación a las condiciones reales de operación, sino que también promueve la sostenibilidad en la gestión de la infraestructura. Al integrar parámetros como el impacto de las condiciones ambientales y el comportamiento del pavimento, el ACR/PCR contribuye a optimizar los recursos técnicos y financieros destinados al mantenimiento, fortaleciendo la planificación estratégica a largo plazo de los aeropuertos colombianos.

- Del análisis de la relación ACR/ACN, se observan tendencias clave que reflejan, en gran medida, las diferencias fundamentales entre las metodologías detrás del cálculo del ACN y el ACR como:

✓ Concepto y Propósito

ACN	ACR
Es un índice que representa la carga que una aeronave ejerce sobre un pavimento específico.	Es un índice más dinámico que describe la carga máxima que una aeronave puede ejercer sobre un pavimento realista.
Se utiliza en conjunto con el PCN para determinar si un pavimento puede soportar una aeronave.	Está diseñado para reemplazar al ACN en un sistema más avanzado y preciso junto con el PCR.

✓ Metodología de Cálculo

ACN	ACR
Calculado bajo condiciones estándar y simplificadas: pavimentos rígidos o flexibles y suelos específicos.	Considera parámetros más detallados, como características específicas del pavimento y condiciones reales.
Se basa en un modelo estático y en tablas predefinidas de OACI.	Utiliza modelos dinámicos que integran el estado del pavimento, las propiedades del suelo y el deterioro.

✓ **Tipo de Pavimento y Parámetros**

ACN	ACR
Incluye dos tipos de pavimento: rígido y flexible.	También incluye pavimentos rígidos y flexibles, pero con más variabilidad en materiales y estructuras.
Usa una única presión de neumático estándar.	Tiene en cuenta presiones reales de neumáticos y configuraciones de tren de aterrizaje.

✓ **Flexibilidad y Actualización**

ACN	ACR
Basado en un sistema fijo y menos adaptable a las condiciones cambiantes.	Es dinámico y puede actualizarse para reflejar el estado actual del pavimento y las tecnologías modernas.
No considera el deterioro del pavimento.	Incluye el deterioro y el desempeño a lo largo del tiempo (relación con PCR).

✓ **Relación con el Pavimento**

ACN	ACR
Compara el ACN de una aeronave con el PCN de un pavimento para verificar la compatibilidad.	Compara el ACR de una aeronave con el PCR del pavimento para evaluar el uso aceptable.
Se centra en la capacidad estructural general del pavimento.	Tiene en cuenta la interacción detallada entre aeronave y pavimento.

9. RECOMENDACIONES

- Se recomienda implementar un plan de transición que considere el uso simultáneo del método ACN/PCN y el ACR/PCR durante un periodo de adaptación. Esto permitirá a los operadores y gestores del aeropuerto familiarizarse con los nuevos parámetros de clasificación y garantizar la precisión de los datos recopilados.
- Incorporar sistemas de monitoreo continuo de las condiciones del pavimento para garantizar que los datos utilizados en el cálculo del ACR/PCR reflejen las condiciones reales del aeropuerto. Esto puede incluir la implementación de tecnologías como sensores para medir parámetros como resistencia estructural, humedad y temperatura.
- Realizar un análisis de costo-beneficio para determinar cómo el cambio al método ACR/PCR afecta la operación y mantenimiento de la pista. Esto incluye la evaluación de posibles ahorros en costos de mantenimiento gracias a una gestión más precisa de los pavimentos.
- Se sugiere promover estudios similares en otros aeropuertos del país para validar los hallazgos y generar un marco de referencia más amplio sobre el impacto del método ACR/PCR en distintos contextos operativos y climáticos.

BIBLIOGRAFÍA

- "Wingspan". (s. f.). En Hmong Wiki. Recuperado de <https://hmong.es/wiki/Wingspan>
- "Mejoran el sistema para rendimiento de pistas". (2023). A21, de <https://a21.com.mx/aeropuertos/2023/06/07/mejoran-el-sistema-para-rendimiento-de-pistas>
- ACI-LAC. (2024). ESP_ACI-LAC Webinar: Lo que debes saber para pasar de ACN/PCN a ACR/PCR; caso práctico". YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=eiw8ox6AU9g>
- Administración Federal de Aviación. (s. f.). Circular de asesoramiento. Recuperado de https://www.faa.gov/airports/resources/advisory_circulars/index.cfm/go/document.list/?q=&topicID=88&statusID=2
- Aerocivil (2021). SKCG - RAFAEL NUÑEZ., de https://www.aerocivil.gov.co/servicios-a-la-navegacion/servicio-de-informacion-aeronautica-ais/Documents/AIP%20AMDT%2065_23/AD/AD%202%20SKCG%20-%20CARTAGENA%20-%20RAFAEL%20NU%C3%91EZ.pdf
- Aerocivil (2023). Bases de datos. Recuperado de <https://www.aerocivil.gov.co/atencion/estadisticas-de-las-actividades-aeronauticas/bases-de-datos>
- Aeronáutica Civil. (s. f.). Unidad administración especial. Recuperado de <https://www.aerocivil.gov.co/>
- Angarita, M (2018). Foro, ¿Hacia dónde debe ir la aviación en Colombia? Aeronáutica Civil. <https://www.aerocivil.gov.co/aerocivil/foro2030/Documents/1.%20Presentaci%C3%B3n%20NE%20Competencias%20Institucionales.pdf>
- Autoridad de la Aviación Civil. (s. f.). Reglamentación aeronáutica civil (RAC). Recuperado de <https://www.aerocivil.gov.co/autoridad-de-la-aviacion-civil/reglamentacion/rac>
- BOEING (2023). Características del avión para la planificación aeroportuaria. <https://www.boeing.com/content/dam/boeing/boeingdotcom/commercial/airports/acaps/.pdf>

- Botha, N. (2023). ACR-PCR: What Does it Mean for Airports? ACI World Insights. <https://blog.aci.aero/acr-pcr-what-does-it-mean-for-airports/>
- Castellon, O & Mercado, R. (2015). "ESTUDIO SOBRE MEZCLAS ASFALTICAS DISCONTINUAS Y PISTA DE ATERRIZAJE AEROPUERTO INTERNACIONAL. Universidad de Cartagena de <https://repositorio.unicartagena.edu.co/bitstream/handle/11227/5756/ESTUDIO%20MEZCLAS%20ASFALTICAS%20%20DISCONTINUAS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Gallo, D. (2024). Modernización del aeropuerto Rafael Núñez de Cartagena será una realidad: ANI inició la nueva concesión. Infobae de <https://www.infobae.com/colombia/2024/03/02/modernizacion-del-aeropuerto-rafael-nunez-de-cartagena-sera-una-realidad-ani-inicio-la-nueva-concesion/>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM] (2024). Precipitaciones y temperaturas – AEROPUERTO RAFAEL NUÑEZ. <http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/>
- Johnson, L. (2019). "Transitioning from ACN/PCN to ACR/PCR: Challenges and Opportunities." International Journal of Pavement Engineering.
- Ministerio de transporte (2024). Transporte en cifras 2023. <https://mintransporte.shinyapps.io/transporteencifrasapp/>
- Parra, J. (2018). AEROPUERTO INTERNACIONAL CARTAGENA DE INDIAS. [Tesis de pregrado, Universidad La Gran Colombia]. UGC. <https://www.ugc.edu.co/armenia/vive-la-u/biblioteca>
- Pavimentos en los aeropuertos. (2022). La prensa, de <http://www-ni.laprensa.com.ni/Pavimentos-en-los-aeropuertos>
- Pérez, M. (2018). "Modern Aircraft Load Evaluation Using ACR/PCR Standards." Aeronautical Engineering Review.
- Pilotmall. (2023, julio) Categoría y clase de aeronave: ¿cuál es la diferencia entre ellas? <https://www.pilotmall.com/es/blogs/news/aircraft-category-and-class-what-is-the-difference-between-them>
- Rafael Núñez. (2015). Portal ANI. <https://www.ani.gov.co/proyecto/aeropuertos/rafael-nunez-21338>

- SACSA S.A. (2016). PLAN MAESTRO AEROPUERTO INTERNACIONAL RAFAEL NUÑEZ DE CARTAGENA DE INDIAS Portal Aerocivil. <https://www.aerocivil.gov.co/aeropuertos/Conseccionados/Plan%20Maestro%20RAFAEL%20N%C3%9A%C3%91EZ%20DE%20CARTAGENA%20%202016.pdf>
- Salazar, J (2018). II Foro, Una visión para el sector aeronáutico Aeronáutica Civil. <https://www.aerocivil.gov.co/aerocivil/II-FORO2030/Documents/2.%20Presentaci%C3%B3n%20Plan%20Estrat%C3%A9gico%20Aeron%C3%A1utico%202030.pdf>
- Sistema Regional de Cooperación para la Vigilancia de la Seguridad Operacional. (2023). Manual para la determinación de la resistencia de un pavimento aeroportuario a través del Método ACR-PCR. https://srvsop.aero/site/wp-content/uploads/2023/09/M-AGA-004-Calculo-ACR-PCR_1a.Ed_11SET2023.pdf

ANEXOS

- Anexo 1. RAC 14 - Aeródromos Aeropuertos y Helipuertos
- Anexo 2. AIP 2 SKCG - CARTAGENA - RAFAEL NUÑEZ
- Anexo 3. Climatología Aeronáutica SKCG
- Anexo 4. Manual de diseño de aeródromos (ICAO) parte-3-pavimentos
- Anexo 5. Circular AC 150-5335-5C
- Anexo 6. Circular AC 150-5335-5D
- Anexo 7. Circular AC150-5320-6G
- Anexo 8. Flota Aeronaves 2023
 - ✓ Anexo 8.1. Base de Datos Tráfico Equipo Enero 2023
 - ✓ Anexo 8.2. Base de Datos Tráfico Equipo Febrero 2023
 - ✓ Anexo 8.3. Base de Datos Tráfico Equipo Marzo 2023
 - ✓ Anexo 8.4. Base de Datos Tráfico Equipo Abril 2023
 - ✓ Anexo 8.5. Base de Datos Tráfico Equipo Mayo 2023
 - ✓ Anexo 8.6. Base de Datos Tráfico Equipo Junio 2023
 - ✓ Anexo 8.7. Base de Datos Tráfico Equipo Julio 2023
 - ✓ Anexo 8.8. Base de Datos Tráfico Equipo Agosto 2023
 - ✓ Anexo 8.9. Base de Datos Tráfico Equipo Septiembre 2023
 - ✓ Anexo 8.10. Base de Datos Tráfico Equipo Octubre 2023
 - ✓ Anexo 8.11. Base de Datos Tráfico Equipo Noviembre 2023
 - ✓ Anexo 8.12. Base de Datos Tráfico Equipo Diciembre 2023
 - ✓ Anexo 8.13. Base de Datos Totalizada
- Anexo 9. Exploración Geotécnica 2015
- Anexo 10. Modelación FAARFIELD v2.1.1
 - ✓ Anexo 10.1. Pista Aeropuerto SKCG
 - ✓ Anexo 10.2. Pista Aeropuerto SKCG-New Structure 1-Airport Master Record
 - ✓ Anexo 10.3. Pista Aeropuerto SKCG-New Structure 1-CDFGraphReport
 - ✓ Anexo 10.4. Pista Aeropuerto SKCG-New Structure 1-PCR Report
 - ✓ Anexo 10.5. Pista Aeropuerto SKCG-New Structure 1-PCRGraphReport

- ✓ Anexo 10.6. Pista Aeropuerto SKCG-New Structure 1-StructureReport
- Anexo 11. Modelación COMFAA 3.0
 - ✓ Anexo 11.1 COMFAA 3.0
 - ✓ Anexo 11.2. This file name = PCN Results Flexib
 - ✓ Anexo 11.3. 2-COMFAA-30-SUPPORT-AC5335-5C-8-18-17
- Anexo 12. Resultados de relación
- Anexo 13. Plan Maestro SKCG 2016