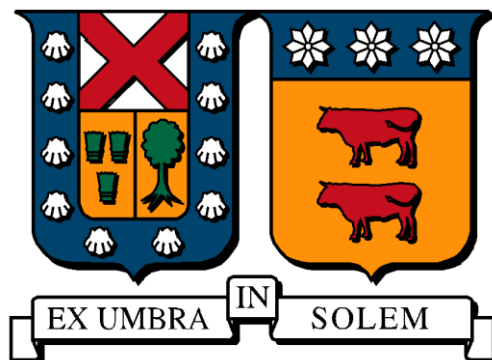


UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

DEPARTAMENTO DE OBRAS CIVILES

VALPARAÍSO - CHILE



“DEFINICIÓN DE UMBRALES SEGÚN ESCALA PCI PARA  
ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO Y REHABILITACIÓN EN  
PAVIMENTOS AEROPORTUARIOS DE LA RED NACIONAL”

SEBASTIÁN ANDRÉS OLEA NAVAJAS

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL

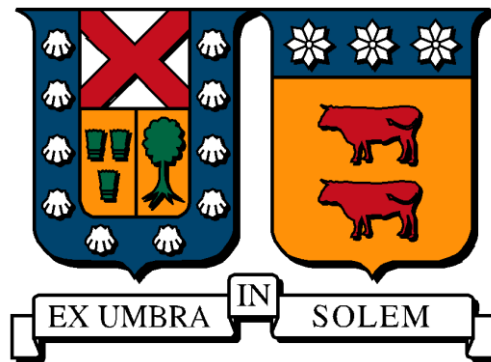
Profesores Guía:

Alelú Osorio Lird y Gabriel García Saá

Diciembre 2021

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

DEPARTAMENTO DE OBRAS CIVILES  
VALPARAÍSO - CHILE



“DEFINICIÓN DE UMBRALES SEGÚN ESCALA PCI PARA  
ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO Y REHABILITACIÓN EN  
PAVIMENTOS AEROPORTUARIOS DE LA RED NACIONAL”

Memoria de título presentada por  
SEBASTIÁN ANDRÉS OLEA NAVAJAS

Como requisito parcial para optar al título de  
INGENIERO CIVIL

Profesores Guía:  
Alelí Osorio Lird y Gabriel García Saá

Diciembre 2021



## Agradecimientos

En primer lugar, quiero dedicar esta memoria a las dos personas más importantes para mí, los que me dieron la vida, mi madre Andrea y mi padre Héctor Manuel (Q.E.P.D.) y agradecerles por siempre confiar en mí y siempre hacer todo lo posible por que nuestra familia estuviera feliz, ya que, sin ellos y su esfuerzo, yo no podría haberme convertido en lo que soy hoy en día. Gracias por educarme y por enseñarme a valorar el esfuerzo que se le pone a las cosas, por escucharme, retarme cuando era necesario y por sobre todo entregarme mucho amor desde el primer momento. Creo que faltarían palabras para agradecerles todo lo que siempre hicieron por mí. Simplemente decirles que muchas gracias por todo y que los amo desde lo más profundo de mi corazón.

También quiero agradecer a mis profesores guía, Alelí Osorio y Gabriel García, quienes siempre me apoyaron y me guiaron durante el proceso de estudio de esta memoria y me aportaron con muchos conocimientos que probablemente me sirvan para el resto de mi vida.

También quiero darle las gracias a mi familia en general, mi hermana María Jesús, mi polola María Paz, mis abuelos y abuelas, mis tíos y tías, primos y primas, y a esas personas que, sin ser familia sanguínea, los considero como si lo fueran, porque siempre me apoyaron y me incentivaron a continuar y a levantarme a pesar de que el camino a veces se ponía más complejo.

Además, me gustaría agradecerles a todas aquellas personas que son parte de la universidad que me acompañaron en este difícil proceso de transformarme de un adolescente a un adulto responsable y maduro, a través de apoyo, enseñanzas, consejos, ayudas, etc., desde los auxiliares del aseo y vendedores de los quioscos y cafeterías, hasta los más prestigiosos profesores.

Finalmente, y no menos importante, quiero agradecer a mis amigos y compañeros de universidad, que entramos a estudiar sin conocer mucho del mundo, con caras de niños, y que ahora con mucho esfuerzo logramos este gran hito en nuestras vidas de poder ser profesionales.

A todos ustedes, muchas gracias.



## Resumen

Uno de los medios de transporte más utilizados en la actualidad, ya sea para fines comerciales y/o de carga, es el transporte aéreo, el cual se compone de dos factores fundamentales: las aeronaves, quienes realizan las operaciones de transporte de pasajeros o de carga, y los aeródromos, que componen la infraestructura necesaria para que las aeronaves puedan realizar dichas operaciones.

En el último tiempo y previo a las restricciones que impuso la pandemia del virus COVID 19, (2020), el número de operaciones aéreas había aumentado considerablemente y la envergadura de las aeronaves ha crecido de forma significativa con el fin de mejorar la efectividad y la eficiencia de cada viaje, por lo que la demanda que estas le exigen a los pavimentos también ha aumentado notoriamente y se prevé que a medida que se controle la pandemia, vuelva a ponerse en aumento. Esto sumado a los efectos que genera el clima, afecta negativamente a los pavimentos aeroportuarios produciendo un deterioro acelerado que puede generar situaciones de riesgo para las aeronaves y finalmente para los pasajeros, ya que los pavimentos son la infraestructura crítica de los aeropuertos.

A partir del problema descrito, la Dirección de Aeropuertos (DAP) comenzó un proceso de desarrollo de herramientas de gestión de pavimentos aeroportuarios para ayudar a la toma de decisiones a la hora de generar planes de conservación, y en conjunto con la Universidad Técnica Federico Santa María, se creó una alianza para mejorar el estudio e implementación de dichas herramientas y la integración de ellas con nuevas metodologías.

A medida que se generaba el marco teórico para la implementación de este sistema de gestión de pavimentos aeroportuarios, surgió otro desafío relacionado a los estándares de conservación de los pavimentos aeroportuarios donde se define en qué momento es necesario o recomendable realizar actividades de mantenimiento y rehabilitación (M&R), ya que en el marco teórico se definen los umbrales, pero de forma cualitativa y no numéricamente.

A raíz de esto y a través de este estudio, se propone la creación e implementación de una herramienta de apoyo de decisiones para las actividades M&R donde se recojan los criterios más importantes que definan los estándares de mantenimiento utilizados en agencias de gestión de pavimentos aeroportuarios a nivel internacional, ya sea categoría del aeropuerto, clima, clasificación de las aeronaves, etc.

En primer lugar, se realiza una extensa revisión del estado del arte y la práctica mediante el análisis de distintos sistemas de gestión de pavimentos aeroportuarios y de planes de mantenimiento a nivel internacional.

Posteriormente, se realiza un proceso de selección de los criterios utilizados a nivel internacional y su adaptación a las condiciones chilenas, ya sea categoría del aeródromo, clima, categoría de las aeronaves, etc. con el fin de clasificar los aeródromos nacionales bajo ciertas características y así poder tomar distintas decisiones para cada tipo.

Finalmente, se propone una herramienta de apoyo de decisiones basada en los criterios utilizados en la práctica internacional y que resumen toda la información anterior de una forma práctica y sencilla,



donde a partir de las características de cada aeropuerto, se entrega un valor umbral según la escala PCI para realizar actividades de mantenimiento preventivo y otro valor umbral para realizar actividades de rehabilitación mayores, y con esto identificar qué tipo de conservación es recomendable realizarle al pavimento, o bien realizar una reconstrucción total de él.

Como resultado de la investigación, se obtuvo que existe una gran variabilidad en el valor del PCI a partir de las distintas características de cada aeródromo, por lo que es importante tener en cuenta ciertos límites a la hora de definir los umbrales PCI. Se pudo determinar que en toda la literatura estudiada los límites máximos y mínimos para cada tipo de actividad de conservación son los siguientes: en el caso de actividades de mantenimiento preventivo el valor más alto utilizado como umbral es de PCI igual a 85, mientras que el más bajo es de PCI igual a 55. Para el caso de actividades de rehabilitación mayores, el valor más alto utilizado como umbral es de PCI igual a 60, mientras que el más bajo es de PCI igual a 35. A partir de esto se puede concluir que son límites aceptables para los valores finales de PCI que entrega la herramienta de apoyo de decisiones propuesta.

Al ser una herramienta en fase de desarrollo, se debe ir ajustando a medida que se utiliza, por lo que los valores entregados son meras recomendaciones en esta fase. Además, cabe destacar que para que la herramienta sea más robusta, debe ser complementada con una buena base de datos del estado de los pavimentos aeroportuarios nacionales y también con buenos modelos de desempeño de los pavimentos que se ajusten fielmente a la vida real de los pavimentos aeroportuarios chilenos.



## Abstract

One of the most widely used means of transport today, whether for commercial or cargo purposes, is air transport, which is made up of two fundamental factors: aircraft, who carry out passenger or cargo transport operations, and the aerodromes, which make up the infrastructure necessary for the aircraft to carry out said operations.

In recent times, the number of air operations has increased considerably and the size of the aircrafts has grown significantly in order to improve the effectiveness and efficiency of each trip, so that the demand they place on the pavements it has also increased markedly. This, added to the effects generated by the weather, negatively affects airport pavements, producing an accelerated deterioration that can generate risk situations for aircraft and finally for passengers, since pavements are the critical infrastructure of airports.

Based on the problem described, the Dirección de Aeropuertos (DAP) began a process of developing airport pavement management tools to help decision-making when generating conservation plans, and together with the Technical University Federico Santa María. It was created an alliance to improve the study and implementation of these tools and their integration with new methods and new tools.

As the theoretical framework for the implementation of this airport pavement management system was generated, another challenge arose related to the standards of conservation of airport pavements where it is defined when it is necessary or advisable to carry out maintenance and rehabilitation activities (M&R), due to the thresholds are defined in the theoretical framework, but qualitatively and not numerically.

Due to this and through this study, the creation and implementation of a decision support tool for M&R activities is proposed where the most important criteria that define the maintenance standards used in airport pavement management agencies at an international level are collected., such as airport category, weather, aircraft classification, etc.

First, an extensive review of the state of the art and practice is carried out through the analysis of different airport pavement management systems and maintenance plans at an international level.

Subsequently, a selection process is carried out on the criteria used at the international level and their adaptation to Chilean conditions in order to classify national aerodromes under certain characteristics and this way it would be able to make different decisions for each type.

Finally, a decision support tool is proposed based on the criteria used in international practice and that summarizes all the above information in a practical and simple way, where, based on the characteristics of each airport, a threshold value is delivered according to the PCI scale to carry out preventive maintenance activities and another threshold value to carry out major rehabilitation activities, and with this identify what type of conservation it is advisable to carry out to the pavement, or to carry out a total reconstruction of it.

As a result of the research, it was obtained that there is great variability in the value of the PCI from the different characteristics of each aerodrome, so it is important to take into account certain limits when



defining the PCI thresholds. It was possible to determine that in all the literature studied the maximum and minimum limits for each type of conservation activity are the following: in the case of preventive maintenance activities, the highest value used as a threshold is PCI equal to 85, while the the lowest value is PCI equal to 55. In the case of major rehabilitation activities, the highest value used as a threshold is PCI equal to 60, while the lowest is PCI equal to 35. From this we can conclude that they are acceptable limits for the final values of PCI provided by the proposed decision support tool.

As it is a tool in the development phase, it must be adjusted as it is used, so the values provided are mere recommendations in this phase. In addition, it should be noted that for the tool to be more robust, it must be complemented with a good database of the state of national airport pavements and also with good pavement performance models that faithfully adjust to the real life of Chilean airports pavements.



## Glosario

ACN	Número de Clasificación de la Aeronave (Aircraft Classification Number)
APMS	Sistema de Gestión de Pavimentos Aeroportuarios (Airport Pavement Management System)
DAP	Dirección de Aeropuertos
DGAC	Dirección General de Aeronáutica Civil
FAA	Administración Federal de Aviación (Federal Aviation Administration)
GIS	Sistema de Información Geográfica (Geographic Information System)
GPS	Sistema de Posicionamiento Geográfico (Geographic Positioning System)
K	Módulo de Reacción de la Subrasante
MOP	Ministerio de Obras Públicas
M&R	Mantenimiento y Rehabilitación
OACI	Organización de Aviación Civil Internacional
PCI	Índice de Condición del Pavimento (Pavement Condition Index)
PCN	Número de Clasificación del Pavimento
SGP	Sistema de Gestión de Pavimentos
SGPA	Sistema de Gestión de Pavimentos Aeroportuarios



## Índice de Contenidos

Agradecimientos.....	1
Resumen.....	2
Abstract.....	4
Glosario.....	6
Índice de Tablas.....	9
Índice de Figuras.....	10
1. Introducción.....	13
1.1. La conservación de pavimentos aeroportuarios.....	13
1.2. Infraestructura Aeroportuaria Nacional.....	14
1.3. Definición del Problema.....	17
1.4. Objetivos.....	20
1.5. Plan de Trabajo.....	20
2. Pavimentos Aeroportuarios.....	22
2.1. Índice de condición del Pavimento (PCI).....	22
2.1.1. Historia.....	22
2.1.2. Objetivos del Método PCI.....	23
2.1.3. Esencia del Método PCI.....	23
2.1.4. Procedimiento para obtener el Índice PCI.....	24
2.1.5. ¿Qué hacer con la información obtenida?.....	27
2.2. Deterioros y sus posibles tratamientos en pavimentos aeroportuarios.....	29
3. Sistema de Gestión de Pavimentos de Aeropuertos.....	30
3.1. Componentes de un SGPA.....	30
3.2. Beneficios de un SGPA.....	31
3.3. Métodos de evaluación del estado de los pavimentos del aeropuerto.....	32
3.4. SGPA más utilizado.....	32
4. Evaluación y Definición de Umbrales de Mantenimiento y Rehabilitación.....	34
4.1. Criterios internacionales de definición de umbrales de mantenimiento y rehabilitación.....	34
4.2. Factores influyentes en la toma de decisiones para definir umbrales M&R.....	41
4.2.1. Aeródromos y su clasificación.....	41
4.2.2. Clasificación ACN - PCN.....	42
4.2.3. Clasificación climática.....	44



4.3.	Herramienta de apoyo de decisiones para definición de umbrales .....	53
4.3.1.	Umbrales de referencia inicial .....	53
4.3.2.	Condiciones que modifican el valor inicial.....	54
4.3.3.	Valor final del umbral.....	56
	Conclusiones .....	59
	Referencias.....	62
	Anexos.....	65
	Anexo A: Tipos de Deterioros y Tratamientos en Pavimentos Aeroportuarios.....	65
	Anexo A.1 Deterioros en Pavimentos Flexibles .....	65
	Anexo A.2 Deterioros en Pavimentos Rígidos .....	79
	Anexo B: Clasificación Climática de Köppen .....	94
	Anexo C: Método ACN - PCN .....	98
	Número de Clasificación de la Aeronave.....	98
	Factores que determinan el PCN.....	117



## Índice de Tablas

Tabla 1: Deterioros presentes en pavimentos. Fuente: Elaboración propia.	29
Tabla 2: Actividades principales de un SGPA. Fuente: Adaptación de Hajek, 2011	30
Tabla 3: Umbrales para actividades M&R según enfoque simple a nivel internacional. Fuente: Elaboración propia.	35
Tabla 4: Umbrales para actividades M&R según enfoque específico a nivel internacional. Fuente: Elaboración propia.	36
Tabla 5: Umbrales para actividades M&R estado de Washington, USA. Fuente: Adaptado de Washington State Airport Pavement Management System 2018, USA.	37
Tabla 6: Umbrales para actividades M&R estado de Florida, USA. Fuente: Adaptado de Statewide Airfield Pavement Management Program, FDOT, USA.	37
Tabla 7: Umbrales para actividades M&R estado de Michigan, USA. Fuente: Adaptado de 2017 Michigan Aviation System Plan, MDOT, USA.	38
Tabla 8: Umbrales para actividades M&R estado de Indiana, USA. Fuente: Adaptado de Pavement Condition Report, Indiana DOT, USA.	38
Tabla 9: Umbrales para actividades M&R estado de Alaska, USA. Fuente: Adaptado de Pavement Management and Preservation, Alaska DOT, USA.	38
Tabla 10: Umbrales para actividades M&R estado de Missouri, USA. Fuente: Adaptado de Missouri Airport Management System, MoDOT, USA.	39
Tabla 11: Umbrales para actividades M&R, NASA, USA. Fuente: Adaptado de Pavement Evaluation Report for NASA Ames Research Center, USA.	39
Tabla 12: Umbrales para actividades M&R, Inglaterra. Fuente: Adaptado de Inspections of Airfield Pavement, Defense Infrastructure Organization.	39
Tabla 13: Umbrales para actividades M&R, Bélgica. Fuente: Adaptado de Laguado Lancheros, 2017.	39
Tabla 14: Adaptación de climas estadounidenses según Köppen a macrozonas LTPP. Fuente: Elaboración propia	50
Tabla 15: Adaptación de climas chilenos según Köppen a macrozonas LTPP. Fuente: Elaboración propia	51
Tabla 16: Ejemplos de algunas combinaciones de factores que inciden en el deterioro de pavimentos aeroportuarios con su respectivo umbral de mantenimiento preventivo. Fuente: Elaboración propia.	56
Tabla 17: Ejemplos de algunas combinaciones de factores que inciden en el deterioro de pavimentos aeroportuarios con su respectivo umbral de rehabilitación mayor. Fuente: Elaboración propia.	57
Tabla 18: Niveles de severidad para Ondulación. [6]	68
Tabla 19: Niveles de severidad para Depresiones. [6]	69
Tabla 20: Niveles de severidad para Ahuellamiento. [6]	76
Tabla 21: Niveles de severidad para Hinchamiento. [6]	77
Tabla 22: Niveles de Severidad para Escalonamiento. [6]	88
Tabla 23: Definición de la letra principal de la clasificación climática de Köppen. Fuente: Cartografía interactiva de los climas de Chile, Universidad Católica de Chile.	94
Tabla 24: Definición para la segunda letra mayúscula de la clasificación climática de Köppen. Fuente: Cartografía interactiva de los climas de Chile, Universidad Católica de Chile.	94
Tabla 25: Definición para la segunda letra, en minúscula, de la clasificación climática de Köppen. Fuente: Cartografía interactiva de los climas de Chile, Universidad Católica de Chile.	95



Tabla 26: Definición de la tercera letra, en minúscula, de la clasificación climática de Köppen. Fuente: Cartografía interactiva de los climas de Chile, Universidad Católica de Chile.	96
Tabla 27: Definición para otras letras, en minúscula, de la clasificación climática de Köppen. Fuente: Cartografía interactiva de los climas de Chile, Universidad Católica de Chile.	97
Tabla 28: Números de Clasificación de Aeronaves (ACN's). Fuente: Aircraft Classification Numbers (ACN's).	98
Tabla 29: Código de pavimento para reportar PCN. Fuente: AC 150/5335 5C, FAA.	117
Tabla 30: Código de categoría de resistencia de la subrasante para reportar PCN. Fuente: AC 150/5335 5C, FAA.	117
Tabla 31: Código de presión máxima de neumáticos para reportar PCN. Fuente: AC 150/5335 5C, FAA.	117
Tabla 32: Código de método de evaluación para reportar PCN. Fuente: AC 150/5335 5C, FAA.	117

## Índice de Figuras

Figura 1: Red Aeroportuaria Nacional. Fuente: Dirección General de Aeronáutica Civil [14].	16
Figura 2: Marco teórico para la gestión de pavimentos aeroportuarios. Fuente: Tolmo, 2020	18
Figura 3: Propuesta de identificación de tratamientos para la gestión de pavimentos aeroportuarios. Fuente: Tolmo, 2020	19
Figura 4: Diagrama de estudio y generación de herramienta de apoyo de decisiones para actividades M&R. Fuente: Elaboración propia.	21
Figura 5: Componentes que conforman el Índice PCI. Fuente: Adaptación del Programa de diagnóstico y seguimiento de pavimentos P.C.I.	23
Figura 6: Comparación de escala estándar (utilizada en caminos) y escala utilizada en aeropuertos. Fuente: Informe PCI aeropuerto Andrés Sabella.	24
Figura 7: Componentes del Aeropuerto. Fuente: Programa de diagnóstico y seguimiento de pavimentos P.C.I.	25
Figura 8: Ejemplo de hoja para registro de información en inspecciones de condición de pavimentos flexibles. Fuente: Norma ASTM D5340.	26
Figura 9: Tiempo relativo de preservación y rehabilitación del pavimento sobre la base de la condición del pavimento. Fuente: AC 150 / 5380-7B.	27
Figura 10: Curva PCI típica durante la vida de un pavimento. Fuente: Elaboración propia.	28
Figura 11: Diagrama de decisión para determinar el tratamiento a partir del PCI. Fuente: Adaptación de Programa de diagnóstico y seguimiento de pavimentos P.C.I.	28
Figura 12: Zonas climáticas propuestas por el programa LTPP. Fuente Field Guide for the Airport Pavement Maintenance Recommendation Tool for ACRP Report 159 (2017).	45
Figura 13: Clasificación climática LTPP por estados. Fuente: International Roughness Index Prediction of Flexible Pavements Using Neural Networks.	46
Figura 14: Tipos de climas presentes en Estados Unidos, según la clasificación de Köppen. Fuente Adam Peterson, 2016.	48
Figura 15: Tipos de climas presentes en Chile, según la clasificación de Köppen. Fuente: Peterson, 2016.	49
Figura 16: Macrozonas climáticas LTPP para el territorio chileno. Fuente: Elaboración propia.	52



Figura 17: Escala de clasificación PCI para pavimentos aeroportuarios. Fuente: Adaptado de AC 150/5380-7B, FAA.	53
Figura 18: Límites superiores e inferiores según tipo de actividad de conservación. Fuente: Elaboración propia.	61
Figura 19: Grietas de Piel de Cocodrilo de severidad baja [6].	66
Figura 20: Grietas de Piel de Cocodrilo de severidad media [6].	66
Figura 21: Grietas de Piel de Cocodrilo de severidad alta [6].	66
Figura 22: Exudación [6].	66
Figura 23: Grietas de bloque de severidad baja. [6]	67
Figura 24: Grietas de bloque de severidad media. [6]	67
Figura 25: Grietas de bloque de severidad alta. [6]	67
Figura 26: Ondulación de severidad baja. [6]	68
Figura 27: Ondulación de severidad media. [6]	68
Figura 28: Ondulación de severidad alta. [6]	68
Figura 29: Depresión de severidad baja. [6]	69
Figura 30: Depresiones de severidad media. [6]	69
Figura 31: Depresiones de severidad alta. [6]	69
Figura 32: Erosión por Chorro de Turbina. [6]	70
Figura 33: Grietas por Reflexión de severidad baja. [6]	71
Figura 34: Grietas por Reflexión de severidad media. [6]	71
Figura 35: Grietas por Reflexión de severidad alta. [6]	71
Figura 36: Grieta longitudinal de severidad baja. [6]	72
Figura 37: Grieta longitudinal de severidad media. [6]	72
Figura 38: Grieta longitudinal de severidad alta. [6]	72
Figura 39: Deterioro por derrame de combustible. [6]	73
Figura 40: Bache de severidad baja. [6]	74
Figura 41: Bache de severidad alta. [6]	74
Figura 42: Agregado pulido. [6]	74
Figura 43: Desprendimiento de severidad baja. [6]	75
Figura 44: Desprendimiento de severidad media. [6]	75
Figura 45: Desprendimiento de severidad alta. [6]	75
Figura 46: Ahuellamiento de severidad baja. [6]	76
Figura 47: Ahuellamiento de severidad media. [6]	76
Figura 48: Ahuellamiento de severidad alta. [6]	76
Figura 49: Grietas por deslizamiento. [6]	77
Figura 50: Hinchamiento de severidad baja. [6]	78
Figura 51: Hinchamiento de severidad media. [6]	78
Figura 52: Hinchamiento de severidad alta. [6]	78
Figura 53: Grieta de Esquina de severidad baja. [6]	80
Figura 54: Grieta de Esquina de severidad media. [6]	80
Figura 55: Grieta de Esquina de severidad alta. [6]	80
Figura 56: Grietas L&T de severidad baja. [6]	82
Figura 57: Grietas L&T de severidad media. [6]	82



Figura 58: Grietas L&T de severidad alta. [6]	82
Figura 59: Grieta tipo "D" de severidad baja. [6]	83
Figura 60: Grieta tipo "D" de severidad media. [6]	83
Figura 61: Grieta tipo "D" de severidad alta. [6]	83
Figura 62: Daño en Sello de juntura de severidad baja. [6]	84
Figura 63: Daño en Sello de juntura de severidad media. [6]	84
Figura 64: Daño en Sello de juntura de severidad alta. [6]	84
Figura 65: Bacheos menores de severidad baja. [6]	85
Figura 66: Bacheos menores de severidad media. [6]	85
Figura 67: Bacheos menores de severidad alta. [6]	85
Figura 68: Bacheos mayores de severidad baja. [6]	86
Figura 69: Bacheos mayores de severidad media. [6]	86
Figura 70: Bacheos mayores de severidad alta. [6]	86
Figura 71: Bombeo. [6]	87
Figura 72: Grietas de Mapeo de severidad baja. [6]	88
Figura 73: Grietas de Mapeo de severidad media. [6]	88
Figura 74: Grietas de Mapeo de severidad alta. [6]	88
Figura 75: Escalonamiento de severidad baja. [6]	88
Figura 76: Escalonamiento de severidad media. [6]	88
Figura 77: Escalonamiento de severidad alta. [6]	88
Figura 78: Grietas de bloque de severidad baja. [6]	89
Figura 79: Grietas de bloque de severidad media. [6]	89
Figura 80: Grietas de bloque de severidad alta. [6]	89
Figura 81: Grietas por Retracción. [6]	90
Figura 82: Desprendimiento en Juntura de severidad baja. [6]	91
Figura 83: Desprendimiento en Juntura de severidad media. [6]	91
Figura 84: Desprendimiento en Juntura de severidad alta. [6]	91
Figura 85: Desprendimiento de esquina de severidad baja. [6]	93
Figura 86: Desprendimiento de esquina de severidad media. [6]	93
Figura 87: Desprendimiento de esquina de severidad alta. [6]	93



# 1. Introducción

## 1.1. La conservación de pavimentos aeroportuarios

El crecimiento y desarrollo de la infraestructura aeroportuaria se traduce en una serie de beneficios para un país, entre los cuales se destaca fundamentalmente la contribución exitosa al desarrollo económico de éste, junto con el aporte al crecimiento y globalización del turismo (Tolmo, 2020).

Los Aeropuertos como muchas otras organizaciones requieren mantenimiento a las instalaciones y los activos, que garantice su utilidad y seguridad operacional para la continuidad del negocio y los servicios. No importa el tamaño del aeropuerto o aeródromo, las pistas de aterrizaje son infraestructuras clave que requieren que se mantengan sus superficies en condiciones óptimas con el fin de mantener las operaciones de aeronaves continuas y seguras durante el aterrizaje y despegue (Airports Council International, 2013).

Un aumento en la demanda del tráfico aéreo, la infraestructura de pavimentos envejecida y los fondos limitados hacen que la toma de decisiones de gestión de pavimentos sea un proceso difícil. Los sistemas de gestión de pavimentos (PMS) son esenciales para la gestión de pavimentos (Laguado, 2017).

Es debido a esto que es clave, en términos técnicos y económicos, estudiar en qué momento es necesario realizar acciones de conservación, donde se incluyen tareas de mantenimiento preventivo y rehabilitación, las cuales difieren en la intensidad y nivel de deterioro que pueden reparar. La planificación adecuada para la conservación del pavimento puede mitigar el deterioro del pavimento, mejorar el rendimiento del pavimento a largo plazo, extender su vida útil y mejorar la seguridad de los usuarios (Arabali, 2017).

Dado lo anterior, surge la necesidad por parte de la Dirección de Aeropuertos del Ministerio de Obras Públicas, de definir estándares de mantenimiento para los pavimentos aeroportuarios de la red nacional de aeropuertos, por lo que esta investigación busca generar algún método de apoyo de decisiones a la hora de realizar o programar actividades de mantenimiento y rehabilitación en base al indicador de condición de pavimentos PCI.

El propósito de la gestión de pavimentos debe tener como objetivos, corregir los defectos de la superficie, mejorar la calidad de la marcha, mejorar las características de seguridad y extender la vida útil de estos, ya sea aumentando o no la capacidad estructural del pavimento. Mientras que el propósito de un sistema de gestión de pavimentos es procesar los datos y generar la información necesaria para mejorar o facilitar la toma de decisiones para dicha gestión de pavimentos.

Un buen modelo de gestión de pavimentos, debe hacer uso efectivo de recursos económicos, identificar correctamente los deterioros y fallas del pavimento, definir los tratamientos adecuados y realizarlos en el momento correcto. Esto implica mayor investigación y conocimiento del desempeño de los pavimentos y la efectividad de los tratamientos (Castillo, 2008).

La evolución del nivel de servicio de los pavimentos debe ser monitoreada constantemente, siendo el indicador de condición de pavimentos más utilizado en pavimentos aeroportuarios para este propósito



el Pavement Condition Index (PCI), el cual representa una escala numérica de 0 a 100, donde 0 equivale a la peor condición posible y 100 a la mejor condición del pavimento, y es a partir de éste indicador en que se basará la investigación para proponer umbrales para actividades de mantenimiento y rehabilitación en pavimentos aeroportuarios de la red nacional.

## 1.2. Infraestructura Aeroportuaria Nacional

Específicamente en Chile, el mercado del transporte aéreo de pasajeros comenzó a percibir alzas significativas durante la última mitad de los años 90 y, como consecuencia, surgió la necesidad de aumentar las operaciones en los principales aeropuertos del país, razón por la cual dichas infraestructuras empezaron a agotar su capacidad, no dando abasto a las demandas de los usuarios, lo que derivó en la construcción y ampliación de nuevos aeropuertos (Tolmo, 2020).

El principal organismo encargado de dotar de servicios de infraestructura a la industria aeroportuaria en el país corresponde a la Dirección de Aeropuertos del Ministerio de Obras Públicas, la cual se encarga de establecer estándares de seguridad, calidad y eficiencia para la satisfacción de las demandas de los diversos actores que intervienen en el sistema de transporte aéreo (DAP, 2021).

El concepto de red aeroportuaria nacional comprende la totalidad de los aeropuertos y aeródromos existentes en el país, clasificados según el tipo de aeronaves que son capaces de recibir. Esta definición implica que, conceptualmente, es posible encontrar una forma de transporte aéreo desde y hacia cualquier punto del país, utilizando aeronaves de aviación comercial y/o general, complementadas por transporte terrestre de relativamente corta distancia. Cabe destacar que muchos orígenes y destinos son sólo alcanzables por transporte aéreo mediante aeronaves pequeñas, cuyo costo de operación por pasajero es elevado en comparación con aeronaves de mayor tamaño. Por otra parte, si se considera el helicóptero como una alternativa válida, la capacidad de formación de red del transporte aéreo es aún mayor, siendo en principio posible alcanzar casi cualquier lugar del territorio.

Chile es un país de 4.000 kilómetros de longitud, en el cual la aviación cumple un rol de gran importancia, tanto en el transporte como en otras actividades, entre las cuales puede señalarse, por ejemplo, la prospección de recursos naturales, el auxilio en situaciones de catástrofes naturales y el apoyo a la Defensa Nacional.

Pese a lo anterior, el nivel general de actividad aérea es bajo, de modo la mayoría de los aeropuertos no superan las 3.000 operaciones mensuales (100 diarias). Ello tiene como consecuencia que los costos de provisión de infraestructura aeroportuaria sean una proporción relativamente elevada del costo total del sistema de transporte aéreo, lo cual ha conducido, por razones de elemental racionalidad, al uso compartido de dicha infraestructura entre usuarios de muy diverso tipo [38].

Actualmente, existen once aeropuertos concesionados, donde las Sociedades Concesionarias tienen la responsabilidad de construir, mantener y explotar las instalaciones del aeropuerto respectivo. Por su parte, la Dirección de Aeropuertos (DAP) del Ministerio de Obras Públicas (MOP) es el organismo encargado de Planificar, Diseñar, Construir, Conservar y/o Mejorar la Infraestructura Aeroportuaria nacional de uso público a través de financiamiento estatal, convenios con entidades públicas o privadas



y a través del sistema de Concesiones. El equipamiento es proporcionado por la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC), organismo que, además, es responsable por su administración y operación. (MIDEPLAN) (DAP, 2014).

Hoy en día, se gestionan 106 complejos aeroportuarios, de los cuales 16 corresponden a aeropuertos de la red primaria, 13 corresponden a aeropuertos de la red secundaria y 77 corresponden a la categoría de pequeños aeródromos. El total de estos complejos aeroportuarios, conforman la red pública nacional de aeropuertos y aeródromos (DAP, 2021).

- Red Primaria: Esta red está compuesta por los 16 aeródromos más importantes del país, los cuales se ubican principalmente en las Capitales Regionales o en las cercanías de ciudades que son relevantes por ciertos aspectos como por ejemplo el económico, permitiendo así su conectividad tanto nacional (para el caso de los 16) como internacional para el caso de los 7 aeropuertos.
- Red Secundaria: A la fecha esta red está compuesta por 13 aeródromos que se encuentran distribuidos a lo largo del país complementando a la red primaria y cumpliendo una labor de conectividad de una región y un nexo con la red de pequeños aeródromos.
- Pequeños Aeródromos: Los aeródromos que componen esta red cumplen principalmente las labores de conectividad y soberanía de localidades apartadas del territorio y un rol social al permitir el acceso de diferentes servicios públicos hacia dichas localidades, permitiendo así el contacto entre las zonas rurales y urbanas (se han considerado sólo los aeródromos fiscales de uso público)

En la Figura 1 se muestran los principales aeródromos y aeropuertos de la red aeroportuaria nacional, la cual está presente en todas las regiones del país, incluso en Isla de Pascua y el territorio antártico chileno.

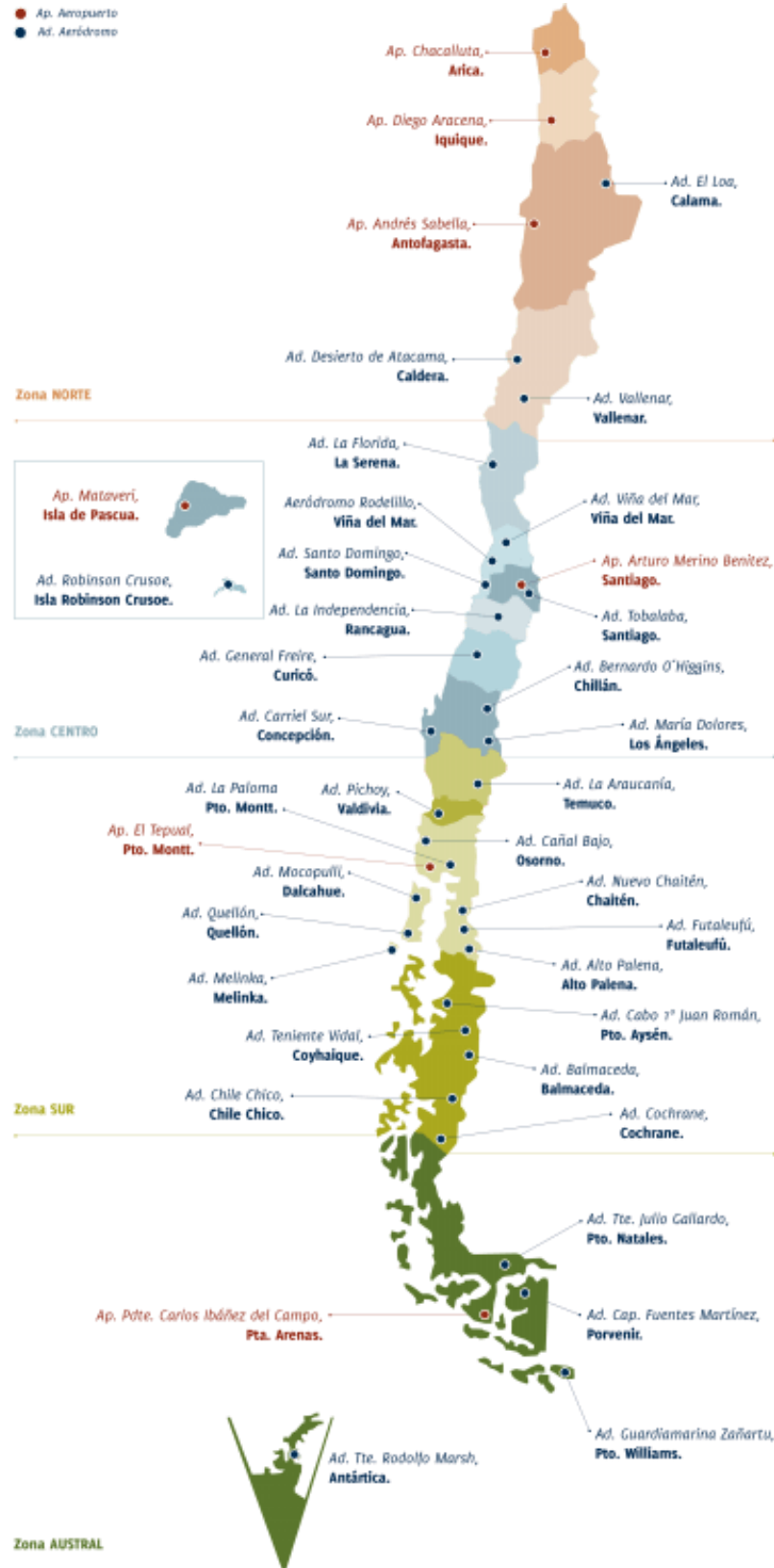


Figura 1: Red Aeroportuaria Nacional. Fuente: Dirección General de Aeronáutica Civil [14].



### 1.3. Definición del Problema

Debido al aumento en la demanda, cantidad de vuelos y al aumento de las solicitudes a raíz de la utilización de aeronaves de mayor tonelaje, es que se provoca un efecto de aceleración en el deterioro de los pavimentos de la red nacional de aeropuertos. Es por esta razón que la DAP comenzó a desarrollar y adquirir herramientas de soporte a la toma de decisiones para poder atender la gran cantidad de proyectos de conservación requeridos, con el fin de obtener información del estado superficial, funcional y estructural de los pavimentos a partir de diferentes indicadores.

Esto se realizó con el fin de implementar un futuro sistema de Gestión de Pavimentos Aeroportuarios (SGPA) que ayude a la selección de actividades de mantenimiento óptimas y una correcta asignación de recursos, no obstante, dichas herramientas no abarcaron totalmente las funciones que un sistema de gestión de pavimentos implica y presentan un desafío a futuro para poder implementar dicho sistema de forma completa y unificada. Las limitaciones encontradas en este plan fueron:

- Algunas de las herramientas desarrolladas y/o adquiridas por la DAP presentaban ciertas limitaciones, por ejemplo:
  - MicroPAVER: Falta de personal capacitado para su utilización y problemas al modelar curvas de desempeño a raíz de la escasa información de PCI existente.
  - Matriz de priorización: Los datos no eran comparables, debido a que la información de PCI no estaba cuantificada para un mismo año.
- No se realizaron los estudios necesarios para determinar las componentes requeridas por un SGPA, por lo tanto, el desarrollo de éstas no abarcó la totalidad de funciones de dicho sistema, por el contrario, se efectuó de manera particular e independiente, sin haber una integración e interacción entre ellas. (Tolmo, 2020)

Dicho esto, y sumado a la gran cantidad de proyectos de conservación y la importante cifra de inversiones asociada a dichas iniciativas, surgió la necesidad de diagnosticar la situación actual de la DAP y elaborar un marco teórico para la gestión de pavimentos aeroportuarios, que integre las componentes desarrolladas hasta la fecha e incorpore aquellas que no se han añadido al proceso de toma de decisiones y las relacione entre ellas, el cual es desarrollado por Tolmo, 2020.

Tolmo, 2020, identifica cuatro módulos dentro de dicho marco teórico y se presentan en la Figura 2, siendo estos: datos de entrada, metodologías, procesos y resultados, los cuales abarcan aspectos muy relevantes para la gestión de pavimentos aeroportuarios, ya sea técnicos, económicos, ambientales y sociales.

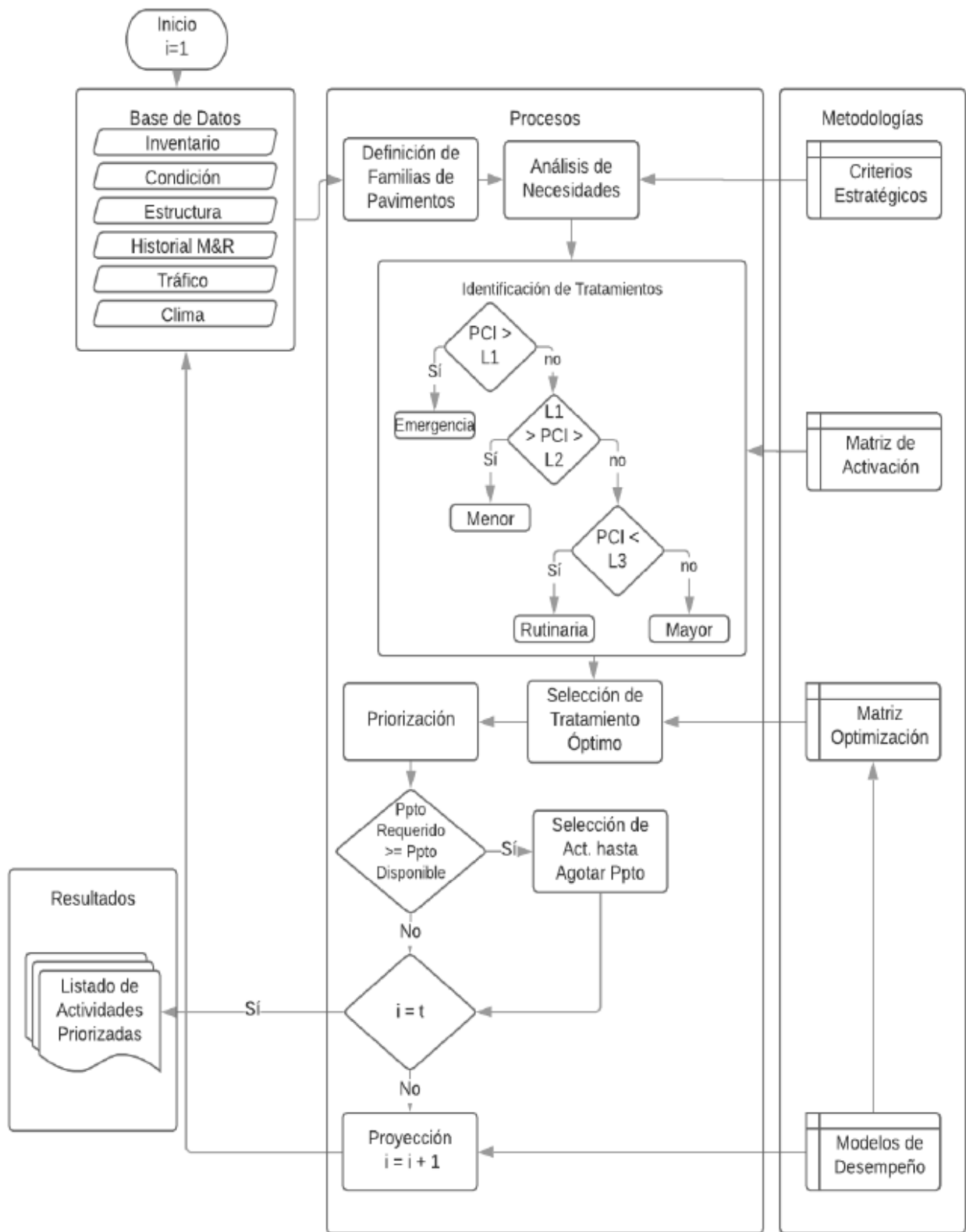


Figura 2: Marco teórico para la gestión de pavimentos aeroportuarios. Fuente: Tolmo, 2020

Pero adicionalmente a esto, a medida que se desarrollaba dicho marco teórico, surgió otro desafío relacionado a la implementación de un sistema de gestión de pavimentos aeroportuarios, el cual hace relación a los estándares de conservación de los pavimentos aeroportuarios.

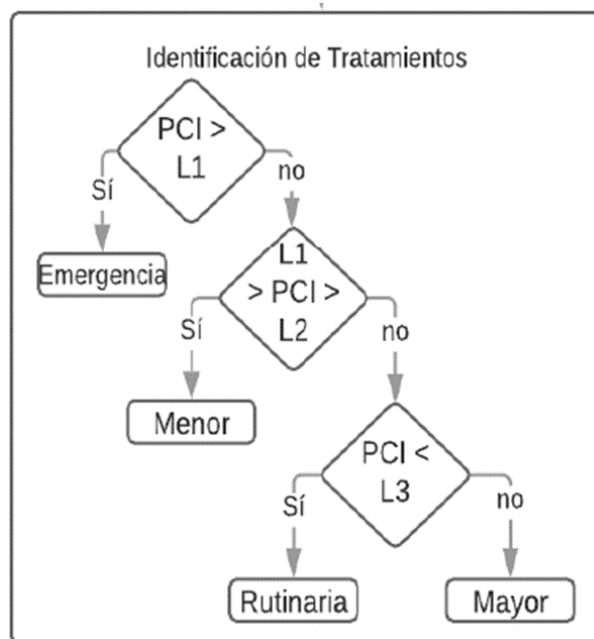


Figura 3: Propuesta de identificación de tratamientos para la gestión de pavimentos aeroportuarios. Fuente: Tolmo, 2020

Como se mencionó anteriormente, la necesidad de implementar un SGPA se hizo cada vez mayor debido al crecimiento del mercado del transporte aéreo, y con ello, también se hizo imperativo definir cuando es necesario realizar actividades de mantenimiento y rehabilitación (M&R), para que las actividades aeroportuarias se vean afectadas lo menor posible y la seguridad de los pasajeros y las aeronaves no se ponga en riesgo.

Esto evidenció el hecho de que no existe en el país un criterio único para la definición de umbrales de mantenimiento que sea aplicable a todos los aeródromos de la red nacional, para decidir en qué momento realizar las actividades de mantenimiento y rehabilitación de los pavimentos aeroportuarios, específicamente, plantear bajo qué condiciones del pavimento es recomendable realizar actividades de mantenimiento preventivo, rehabilitaciones mayores o reconstrucciones totales.

Como propuso Tolmo, 2020, existen ciertos umbrales a la hora de definir actividades de mantenimiento y rehabilitación, pero no están definidos numéricamente, como se puede apreciar en la Figura 3, donde se diferencian las actividades a realizar, pero no se especifica en qué valor específicamente de acuerdo al indicador de condición del pavimento. El propósito de este documento es precisamente definir numéricamente dichos umbrales con la idea de facilitar la toma de decisiones a la hora de realizar o proyectar actividades de mantenimiento y rehabilitación a los pavimentos de la red aeroportuaria nacional.



## 1.4. Objetivos

El objetivo general de esta investigación consiste en generar una herramienta de apoyo de decisiones que permita entregar un valor de umbral PCI al cual se recomienda realizar actividades de mantenimiento y rehabilitación a los pavimentos de acuerdo a las características propias de cada aeródromo de la red aeroportuaria nacional aplicando criterios utilizados a nivel internacional.

Los objetivos específicos consisten en Desarrollar una metodología que contenga las etapas y procedimientos para:

- Realizar una comparación de parámetros influyentes en la condición y conservación de los pavimentos aeroportuarios chilenos, con parámetros considerados en otros países, como por ejemplo la categoría del aeródromo, el clima, la zona del aeródromo en estudio, etc.
- Adaptar condiciones de clima, tipo de aeronave, tipo y tamaño de aeropuerto desde la perspectiva internacional a las condiciones locales para que sean aplicables en aeródromos chilenos.
- Proponer herramienta de apoyo para la toma de decisiones que puedan ser utilizados por la DAP y que defina umbrales en la escala PCI a los que sea recomendable realizar actividades de mantenimiento menores, rehabilitaciones mayores o bien reconstrucciones a los pavimentos aeroportuarios y que sea lo bastante flexible para adaptarse a las condiciones propias de cada aeródromo de la red nacional de aeropuertos, a partir de los criterios utilizados a nivel internacional.

## 1.5. Plan de Trabajo

Con la finalidad de lograr los objetivos propuestos, a continuación, se presenta el procedimiento realizado el cual se divide en 5 puntos principales:

- Revisión y Compilación Bibliográfica: Constituye la etapa inicial de la investigación, donde se realiza la búsqueda de material relacionado al tema de análisis y estudio del estado del arte y de la práctica a nivel internacional.
- Consolidación de información: Etapa de análisis de la información disponible a partir del punto anterior, donde se analizan objetivos, herramientas, metodologías, procedimientos y conclusiones.
- Adaptación de parámetros a la realidad nacional: Proceso en el cual se hace la comparación y posterior adaptación de los parámetros o criterios influyentes en el deterioro de los pavimentos aeroportuarios desde los organismos internacionales a las condiciones locales.
- Generación de herramienta de apoyo de decisiones: Proceso de creación de herramienta de apoyo a la toma de decisiones que recopile todo lo analizado con anterioridad y establezca valores recomendados de estándares de M&R en escala PCI para pavimentos aeroportuarios.
- Elaboración de recomendaciones y conclusiones: Etapa final del proceso de estudio, donde se analiza la funcionalidad del método propuesto y su aplicabilidad.

En la Figura 4 se presenta un diagrama del proceso descrito anteriormente.

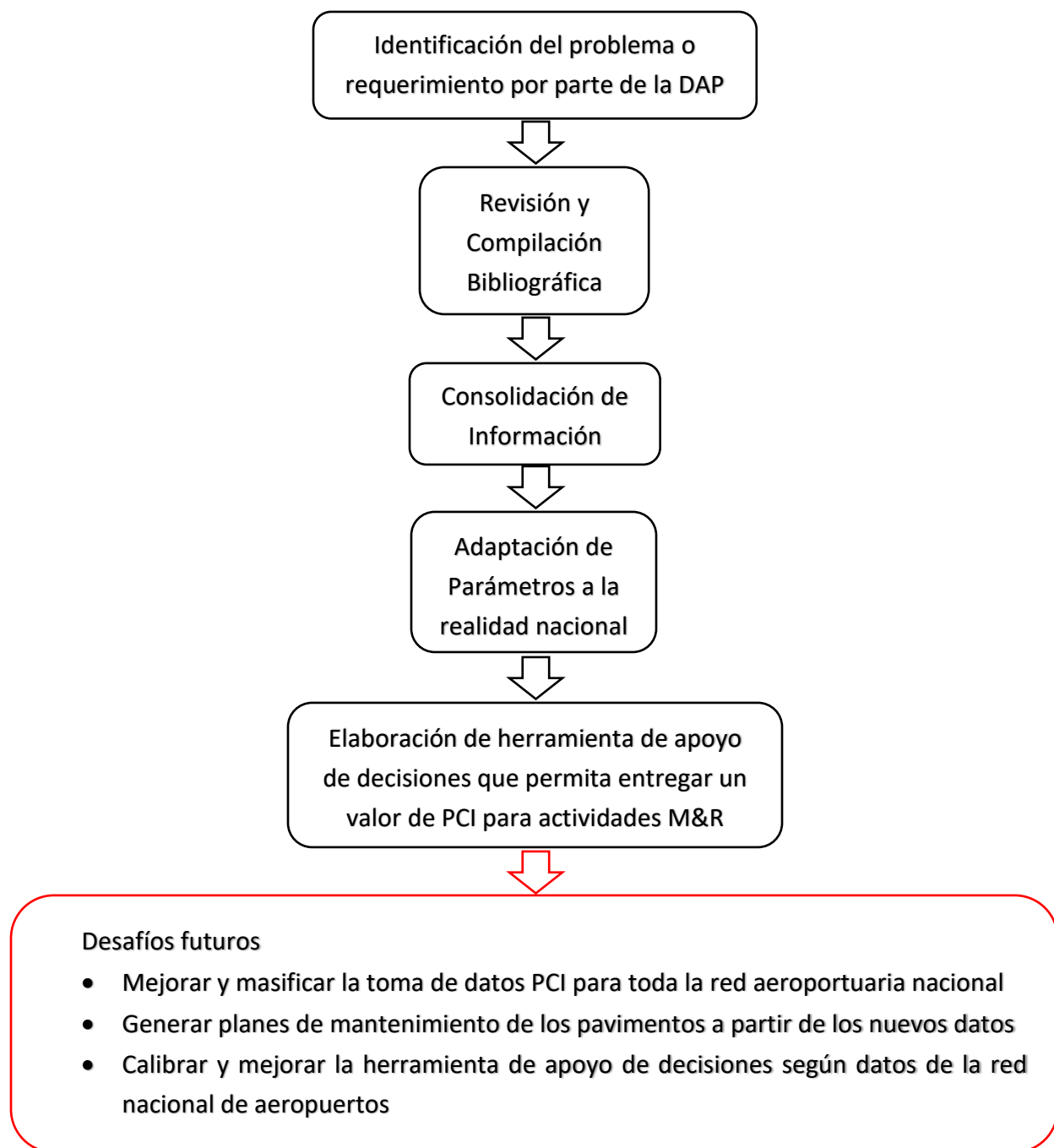


Figura 4: Diagrama de estudio y generación de herramienta de apoyo de decisiones para actividades M&R. Fuente: Elaboración propia.



## 2. Pavimentos Aeroportuarios

Según el “Manual de diseño de aeródromos, Parte 3” de la OACI [48], se define pavimento como: Combinación de cimient, firme y revestimiento, colocada sobre un terreno de fundación para soportar las cargas de tránsito y distribuirlas al terreno.

A partir de esta definición, dicho manual lo subdivide en pavimentos flexibles y pavimentos rígidos. Los primeros se definen como: Estructura de pavimento que mantiene íntimo contacto con el terreno de fundación y reparte las cargas sobre el mismo y, por lo que a estabilidad se refiere, depende de la trabazón o entrelazamiento de los áridos, rozamiento y cohesión de las partículas. Mientras que los pavimentos rígidos se definen como: Estructura de pavimento que distribuye las cargas al terreno de fundación, y que tiene como revestimiento una losa de hormigón de cemento Portland de resistencia a la flexotracción relativamente elevada.

Sabiendo esto, se introduce un índice de condición de pavimento, el cual se utiliza para expresar cuantitativamente el estado en que se encuentra un determinado pavimento a la hora de realizar la auscultación a partir del estado superficial de éste, con la finalidad de poder tomar decisiones a futuro en cuanto a su mantenimiento.

### 2.1. Índice de condición del Pavimento (PCI)

#### 2.1.1. Historia

Fue desarrollado entre los años 1974 a 1976 por encargo del Centro de Ingeniería de la Fuerza Aérea de los EE UU y ejecutado por los ingenieros Mohamed Y. Shahin, Michael I. Darter y Starr D. Kohn, con el objetivo de obtener un sistema de administración del mantenimiento de pavimentos rígidos y flexibles, a través del índice Pavement Condition Index P.C.I.

El método PCI para pavimentos de aeropuertos, carreteras y estacionamientos ha sido ampliamente aceptado y formalmente adoptado, como procedimiento estandarizado, por diversas agencias como, por ejemplo: la Federal Aviation Administration (FAA 1982), el U.S. Department of Defence (U.S. Air Force, 1981 y U.S Army, 1982), la American Public Work Association (APWA, 1984), etc. Además, el PCI para aeropuertos ha sido publicado por la ASTM como método de análisis (ASTM, 1983).

En 1982 la Federal Aviation Administration FAA, a través de su Circular AC 150/5380-6 de 03/12/1982, denominada “Guidelines and Procedures for Maintenance for Airport Pavement”, recomendó este método, teniendo amplio uso en los aeropuertos de EE UU.

### 2.1.2. Objetivos del Método PCI

Los objetivos que se persiguen con la aplicación del Método PCI son [6]:

- Determinar el estado de un pavimento en términos de su integridad estructural y su nivel de servicio. Obtener un indicador que permita comparar con un criterio uniforme la condición y comportamiento de los pavimentos en distintos aeropuertos.
- Obtener un criterio racional para justificar la programación de obras de mantenimiento y rehabilitación de pavimentos.
- Obtener información relevante de retroalimentación respecto del comportamiento de las soluciones adoptadas en el diseño, evaluación y criterios de mantenimiento de pavimentos.
- Seguimiento de la condición de los pavimentos de aeropuertos en forma continua y segura, y establecer prioridades.

### 2.1.3. Esencia del Método PCI

El PCI es un índice numérico, que fluctúa entre 0 (falla) y 100 (excelente). Su cálculo se basa en los resultados de la Inspección visual de los pavimentos, en que se identifican tipos de deterioro, severidad y cantidad. El método clasifica los pavimentos según su integridad estructural y las condiciones operacionales de su superficie, e indica las posibles causas que originaron su deterioro (cargas, clima, edad u otros).

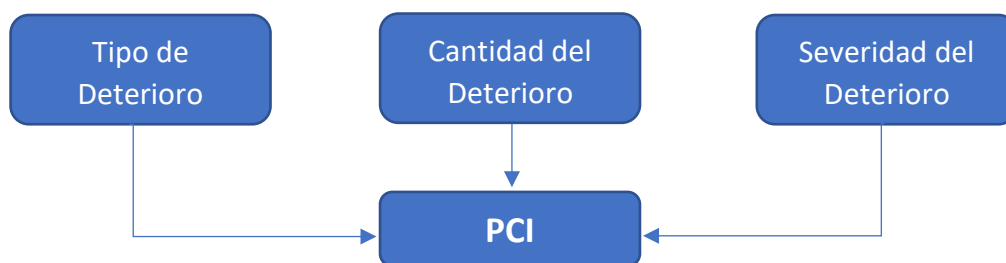


Figura 5: Componentes que conforman el Índice PCI. Fuente: Adaptación del Programa de diagnóstico y seguimiento de pavimentos P.C.I.

El nivel de daño de un pavimento depende del tipo de deterioro, su severidad y su cantidad (o densidad). Dada la gran cantidad de combinaciones de deterioros, severidades y densidades posibles, el método resuelve esta dificultad introduciendo el “valor deducido”, factor de ponderación, para indicar en qué grado afecta a la condición del pavimento cada combinación de deterioro, severidad y densidad.

Se ha mencionado el término “tipos de deterioro”. Estos deterioros son los que generalmente se presentan en los pavimentos, los cuales han sido tipificados y descritos en forma precisa para los distintos tipos de pavimento (flexibles y rígidos). La norma ASTM D5340 “Índice de condición de

pavimentos en aeropuertos (PCI)”, define y explica 16 deterioros para pavimentos flexibles y 15 deterioros para pavimentos rígidos, los cuales se presentan junto a los posibles tratamientos asociados a cada uno de ellos en el Anexo A: Tipos de Deterioros y Tratamientos en Pavimentos Aeroportuarios.

Los procedimientos de cálculo del indicador PCI se mantienen estandarizados por medio de la normativa ASTM D 5340, la cual además introduce una escala de referencia que relaciona la calificación obtenida mediante PCI y el estado que éste presenta. No obstante, la jerarquía utilizada en aeropuertos a nivel internacional mantiene una graduación más general y con una disminución de rangos en relación a la utilizada en caminos. La diferencia entre la escala estándar y la utilizada en aeropuertos se muestra en la Figura 6.

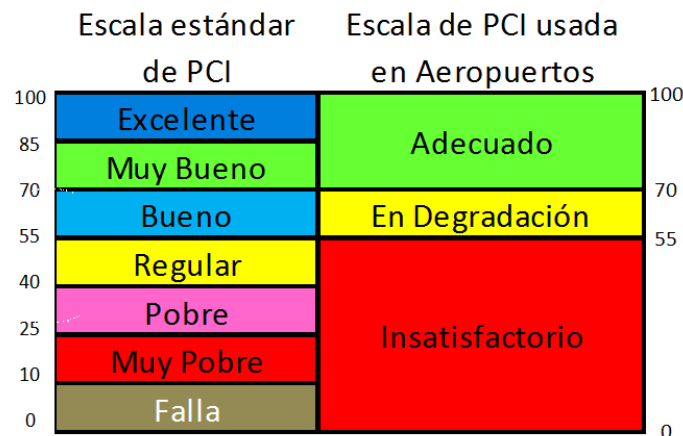


Figura 6: Comparación de escala estándar (utilizada en caminos) y escala utilizada en aeropuertos. Fuente: Informe PCI aeropuerto Andrés Sabella.

#### 2.1.4. Procedimiento para obtener el Índice PCI

##### *Inventario de Pavimentos*

Se debe establecer el Inventario de Pavimentos. Es decir, los pavimentos se separan definiéndose los siguientes conceptos que se esquematizan en la Figura 7:

- Red: El conjunto de pavimentos a ser administrados (cada aeropuerto es una red).
- Rama: Parte fácilmente identificable de la red (ej.: pista, calle de rodaje, plataforma, etc.).
- Sección: La menor unidad de administración con características homogéneas (ej.: tipo de pavimento, estructura, tráfico, historia de construcción, condición actual, etc.).

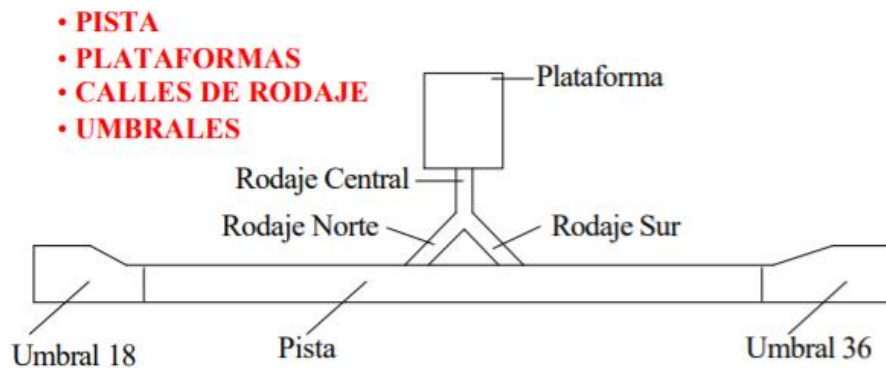


Figura 7: Componentes del Aeropuerto. Fuente: Programa de diagnóstico y seguimiento de pavimentos P.C.I.

Una Sección se subdivide en Unidades de Muestras (UM). Las dimensiones de las UM dependen del tipo de pavimento:

- Pavimentos flexibles:  $450 \text{ m}^2 \pm 180 \text{ m}^2$
- Pavimentos rígidos:  $20 \text{ losas} \pm 8 \text{ losas}$

*Determinación de las unidades de muestra a inspeccionar en cada zona*

$$n = \frac{N*s^2}{\left(\left(\frac{e^2}{4}\right)*(N-1)+s^2\right)} \tag{1}$$

Donde:

- n: Número de UM a inspeccionar
- N: Número total de UM de la sección
- s: Desviación estándar preliminar
- e: Error de 5% en las mediciones de la sección

Las UMI se espacian en “i” intervalos uniformes a través de la sección, dividiendo  $n / N$  y adoptando el entero mayor siguiente. Se selecciona la primera UMI al azar, eligiendo un entero entre 1 e “i”. Para las sucesivas UMI se suman intervalos de “i” UM.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	...
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	-----



### 2.1.5. ¿Qué hacer con la información obtenida?

El fundamento de esta metodología consiste en detectar y evaluar los daños de los pavimentos con la suficiente anticipación, de manera que las reparaciones resultantes correspondan a faenas de conservación o reparación menor, y no de reconstrucción.

Se trata de prolongar la vida útil del pavimento existente, sin tener que invertir recursos en rehacerlo. Se ha demostrado que este criterio reporta importantes ahorros.

La Figura 9 muestra el comportamiento de un pavimento bajo dos posibles planes de conservación, siendo el primero una preservación del pavimento (ej. Tratamiento superficial) donde se realizan acciones de preservación de bajo costo, pero de forma más recurrente, y el segundo un plan de rehabilitación mayor o reconstrucción total, donde se realizan acciones de mucho mayor costo, pero menos frecuentemente.

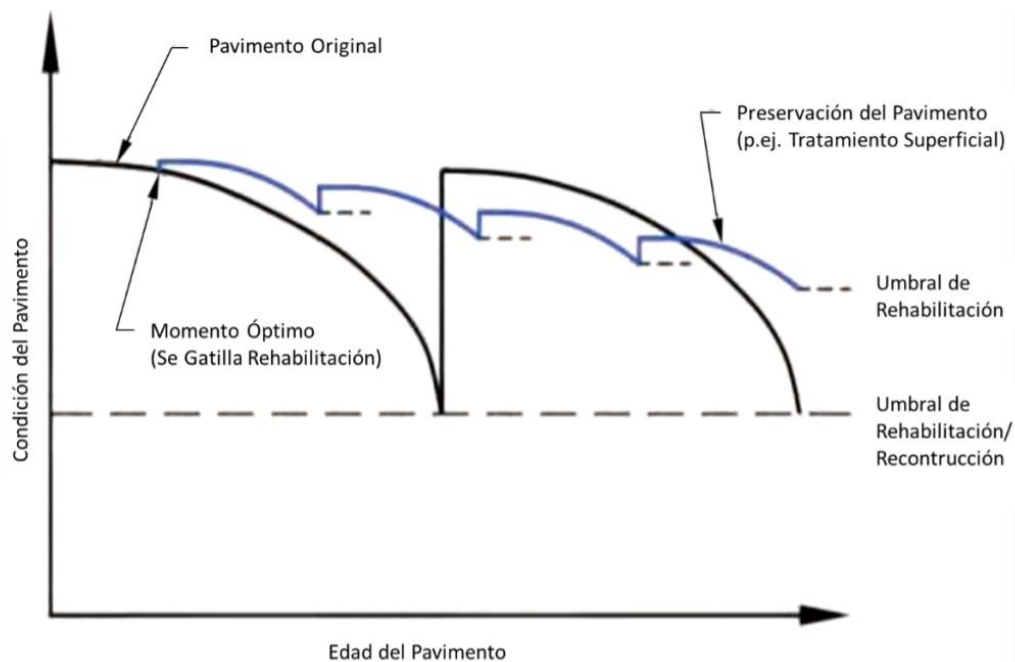


Figura 9: Tiempo relativo de preservación y rehabilitación del pavimento sobre la base de la condición del pavimento. Fuente: AC 150 / 5380-7B.

La Figura 10 muestra el comportamiento típico de la declinación de la condición del pavimento. Al acercarse a una condición tal que su PCI se acerque a 70, éste acelera su condición de deterioro. Al rango de valores de PCI en el cual se produce la inflexión de la curva, se le denomina Rango de PCI Crítico. Las políticas de conservación deben dirigirse a mantener el PCI sobre el Rango Crítico.

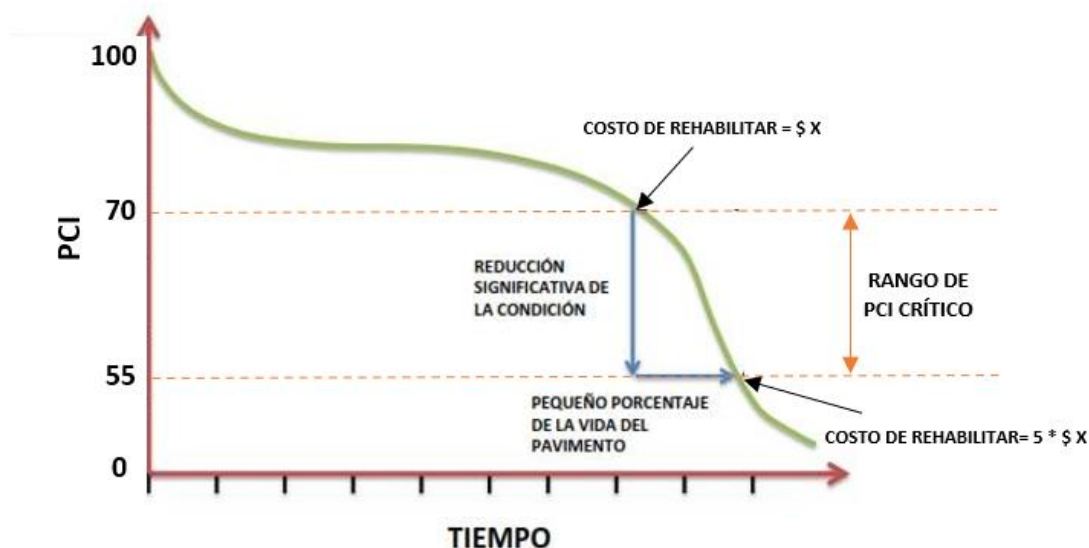


Figura 10: Curva PCI típica durante la vida de un pavimento. Fuente: Elaboración propia.

Se estima que el costo de realizar trabajos de rehabilitación mayores en umbrales de PCI bajos es aproximadamente 5 veces el costo de realizar acciones de mantenimiento preventivo en umbrales de PCI más altos (Castillo, 2008).

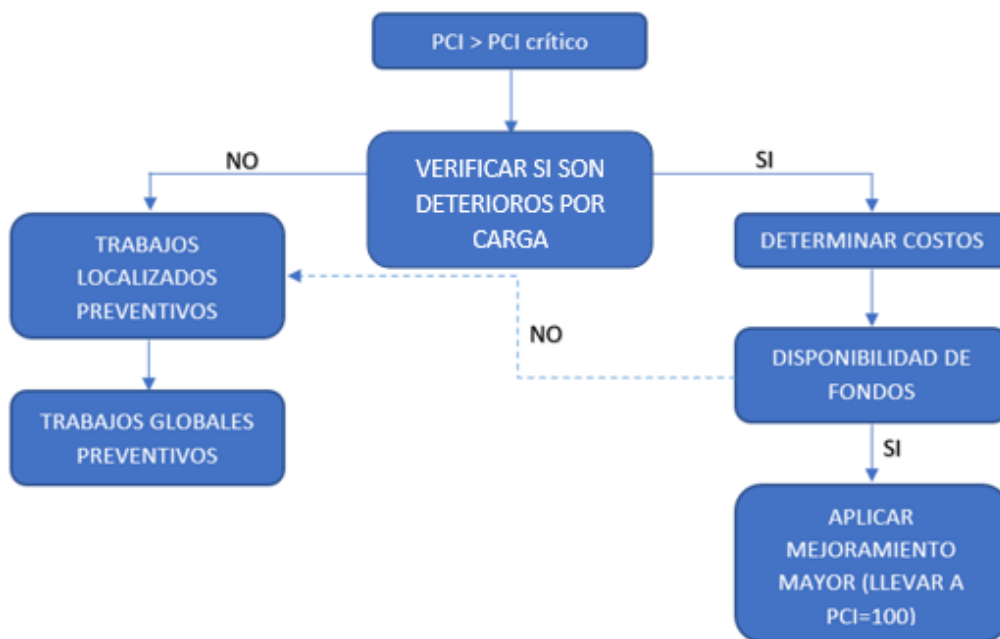


Figura 11: Diagrama de decisión para determinar el tratamiento a partir del PCI. Fuente: Adaptación de Programa de diagnóstico y seguimiento de pavimentos P.C.I.

En la Dirección de Aeropuertos del Ministerio de Obras Públicas de la República de Chile, este método se viene aplicando desde antes del año 1990.



Con el objetivo de mantener actualizado el inventario de los pavimentos aeroportuarios, de establecer prioridades y estimar los recursos que van a ser requeridos en las obras de mantenimiento futuras, periódicamente se hace el seguimiento a los pavimentos de la red de aeródromos y aeropuertos.

Los resultados de estas inspecciones permiten planificar y priorizar qué proyectos de conservación desarrollar y asignar los recursos necesarios para los trabajos de mantenimiento de los aeródromos y aeropuertos.

## 2.2. Deterioros y sus posibles tratamientos en pavimentos aeroportuarios

Es relevante mencionar que los pavimentos se deterioran al avanzar su vida útil debido a distintos factores que influyen en dicho deterioro. Es por esto que se deben estudiar los diferentes tipos de deterioros, ya sean para pavimentos flexibles como para pavimentos rígidos, así como también los posibles tratamientos que se le pueden aplicar a un pavimento que tenga ciertos tipos de deterioros. Dichos deterioros se presentan en la Tabla 1, y su descripción y posible tratamiento se presenta en el Anexo A: Tipos de Deterioros y Tratamientos en Pavimentos Aeroportuarios.

Tabla 1: Deterioros presentes en pavimentos. Fuente: Elaboración propia.

<b>DETERIOROS PRESENTES EN PAVIMENTOS</b>	
<b>PAVIMENTOS FLEXIBLES</b>	<b>PAVIMENTOS RÍGIDO</b>
Piel de Cocodrilo (Alligator Cracking)	Levantamiento de Losas por Dilatación (Blow Up)
Exudación (Bleeding)	Grietas de Esquina
Grietas de Bloque	Grietas Longitudinales, Transversales y Diagonales
Ondulación (Corrugation)	Grietas tipo "D"
Depresiones (Depression)	Daño al Sello de Junturas
Erosión por Chorro de Turbina (Jet Blast Erosion)	Parches menores o iguales a 0,5 m2
Grietas por Reflexión de Juntas (Joint Reflection Cracking)	Parches mayores a 0,5 m2
Grietas Longitudinales y Transversales (Longitudinal and Transverse Cracking)	Pérdidas repentinas (Popouts)
Deterioro por Derrame de Combustible (Oil Spillage)	Bombeo
Bacheos o Parches (Patching)	Escamaduras, Grietas tipo Mapeo y Cuarteaduras
Agregados Pulidos (Polished Aggregate)	Escalonamiento
Desprendimiento y Efecto de la Intemperie (Raveling and Weathering)	Grietas de Bloque
Ahuellamiento (Rutting)	Grietas de Retracción
Grietas por Deslizamiento (Spillage Cracking)	Desprendimiento en Junturas (Longitudinales y Transversales)
Hinchamiento (Swelling)	Desprendimiento de Esquina



### 3. Sistema de Gestión de Pavimentos de Aeropuertos

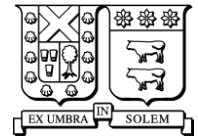
El sistema de gestión de pavimentos aeroportuarios (SGPA o bien APMS por sus siglas en inglés) se utiliza ampliamente para muchas tareas que son importantes para el servicio de larga duración del aeropuerto. Se utiliza con un sistema completo que incluye el establecimiento de calendarios, la especificación de los recursos y el mantenimiento de los pavimentos con la preparación de las recomendaciones necesarias para el costo de la rehabilitación (Bennett, 2010). La implementación del SGPA sigue el objetivo y la metodología del SGP y la aplicación del sistema del SGPA requiere mucho tiempo y recursos (Tighe & Covalt, 2008). Los SGPA ayudan a actualizar el nivel de toma de decisiones y a mejorar el nivel de tráfico (Pigozzi, 2015). La Tabla 2 muestra los principales componentes del sistema de gestión de pavimentos aeroportuarios en siete pasos principales (Hajek, 2011). La mayoría de los grupos de supervisión aeroportuaria toman decisiones sobre el mantenimiento y la rehabilitación de los pavimentos basándose en las necesidades actuales o en la experiencia, en lugar de basarse en la reparación a través de requisitos rápidos o en la experiencia, en contraposición a la organización a largo plazo o a la información documentada instituida. Este planteamiento no les permite evaluar el gasto y la influencia de otras estrategias de mantenimiento reformistas que conducen a un uso inactivo de los recursos existentes (Pittenger, 2011). Las decisiones tomadas en este sentido pueden tener una oportunidad de reflejarse en el estado futuro del pavimento, y la accesibilidad para los recursos debe traer lo necesario para la creación y ejecución herramientas de apoyo, de manera similar a la SGPA. El nivel de red está relacionado con el costo en los dos casos, las necesidades a corto y largo plazo para el presente y el futuro. La gestión del nivel de red ayuda a mantener y rehabilitar el pavimento o reconstruirlo en muchos casos, y depende de la inspección de las redes, la cual depende de la inspección visual de los pavimentos (Tighe & Covalt, 2008).

Tabla 2: Actividades principales de un SGPA. Fuente: Adaptación de Hajek, 2011

NIVEL	ACTIVIDAD
NIVEL DE RED	- Diseñar el SGPA, incluyendo los resultados esperados
	- Evaluación de los pavimentos
	- La tecnología utilizada para los tratamientos de conservación de pavimentos
	- Definición de necesidades
NIVEL DE PROYECTO	- Planificación y presupuestación
	- Diseño e implementación de proyectos
	- Funcionamiento y mejoras

#### 3.1. Componentes de un SGPA

En beneficio del SGPA, la información sobre el estado del pavimento se recopilará y actualizará de forma continua para mantener actualizada la base de datos. Se reconocerán los métodos alternativos eficaces de rehabilitación para determinar los procedimientos de rehabilitación. El SGPA requiere algunos modelos de predicción y estrategias de costos y otras cosas que tienen en cuenta todo el ciclo



de vida del pavimento. Para lograr esos objetivos del sistema se incluirá lo siguiente (Larkin & Hayhoe, 2009):

- Un sistema para recopilar y almacenar información relacionada con la estructura actual del pavimento.
- Un sistema para evaluar el estado superficial, funcional y estructural del pavimento.
- Un sistema o modelo para predecir las condiciones del pavimento para el futuro.
- Un sistema para el desempeño del diseño del pavimento en diferentes condiciones.
- Métodos de planificación del Mantenimiento.

Es en este último punto donde se enfoca el presente documento. El proceso de toma de decisiones comprende la determinación de las actividades de mantenimiento y rehabilitación para los pavimentos con necesidades de conservación, en base al presupuesto disponible bajo la administración del ente encargado de la gestión de los pavimentos (Thuma et al., 2008).

Sabiendo esto, es necesario analizar los estándares de mantenimiento, los cuales se asocian a una serie de conceptos como: acciones de mantenimiento, estrategias, políticas, umbrales, entre otras.

En términos generales, los estándares de mantenimiento corresponden a estrategias que se les asigna una determinada política. A su vez, las estrategias definen las acciones de mantenimiento del pavimento a lo largo de su vida útil, con el objetivo de mejorar su condición funcional o estructural, mientras que las políticas de mantenimiento establecen los principios bajo los cuales se aplica un determinado tratamiento, en términos del tiempo de aplicación, o bien, de los umbrales que gatillan una determinada acción (Solminihac et al, 2018).

### 3.2. Beneficios de un SGPA

Se pueden lograr varias ventajas utilizando un SGPA. Puede emplearse para mejorar los datos de documentación del inventario, que están disponibles para los pavimentos en un sistema específico. Además, los datos relevantes para el pavimento se almacenan en un único repositorio automatizado, donde el acceso se vuelve considerablemente más manejable. El principal beneficio de un SGPA es que proporciona un enfoque más eficaz para controlar el estado de la red de pavimentos, así como una visión general de los planes de mantenimiento y rehabilitación. Un beneficio adicional del SGPA es que se puede utilizar para inspeccionar los patrones de deterioro de diferentes secciones del pavimento en el sistema (Gendreau & Soriano, 1998).

Esto equivale a la capacidad de predecir las condiciones futuras del pavimento. Un SGPA puede ayudar a la agencia y a los aeropuertos a convertirlo en la forma más rentable de garantizar los procedimientos de mantenimiento y rehabilitación y su duración eficiente, pero al mismo tiempo, se comprenderá los efectos de las decisiones a largo plazo. A su vez, también se asignarán los recursos disponibles de una forma más efectiva y eficiente.



### 3.3. Métodos de evaluación del estado de los pavimentos del aeropuerto

La evaluación de los pavimentos se realiza utilizando el Índice de Condición del Pavimento PCI, y el procedimiento de evaluación está documentado en la ASTM D5340 y ASTM D6433 (Arabali & Borowiec, 2017). Existe una escala para PCI que se valora de cero a cien (0 a 100). El valor de cero representa que la condición del pavimento está totalmente fallada, y cien representa que la condición del pavimento es excelente. Si el PCI del pavimento es superior a 70, no mostrará un gran deterioro relacionado con la carga como grietas y, en este caso, solo necesita acciones de mantenimiento preventivo. Si el índice de condición del pavimento es de 40 a 70, es posible que se requiera una rehabilitación importante, como un recapado. El último caso de PCI si es menor a 40, necesita reconstrucción debido a daños considerables en la estructura del pavimento. Desde 1970 hasta ahora, el método de la norma ASTM D5340 se desarrolló muchas veces en función de los nuevos conocimientos de la ciencia de los pavimentos. Esta prueba se utilizó para la gestión de pavimentos a nivel de red y rehabilitación y mantenimiento a nivel de proyecto (Pierce & Zimmerman, 2013). Los datos de los deterioros se recopilarán de acuerdo con ASTM D5340 y PCI y, en función de estos datos, se utilizará para determinar el mantenimiento y la rehabilitación. Los métodos utilizados para la recopilación de datos son metodologías automatizadas y, a veces, a pie (Greene y Alexander, 2004).

Este método de prueba describe 15 tipos de deterioros para pavimentos flexibles y 15 para pavimentos rígidos, los cuales se describen en el Anexo A: Tipos de Deterioros y Tratamientos en Pavimentos Aeroportuarios.

### 3.4. SGPA más utilizado

Uno de los mayores desafíos que enfrentan las organizaciones hoy en día es la capacidad de administrar, compartir y actualizar de manera efectiva y segura los datos disponibles. En los últimos años, el uso de Sistemas de Información Geográfica (GIS) en los aeropuertos y la nueva infraestructura aeronáutica ha aumentado, como también la combinación del Sistema de Posicionamiento Global (GPS) con la tecnología GIS en el mantenimiento, lo que permite una mejor coordinación y gestión de los subsistemas aeronáuticos, la combinación de GIS con los subsistemas SGPA puede proporcionar una variedad de ventajas, que incluyen actividades como:

- Visualización del mapa gráfico de la red de pavimentos y valoración del estado del pavimento (por ejemplo, en términos de índice de estado del pavimento - PCI), para ramas seleccionadas.
- Visualización de mapas gráficos de otras redes importantes para la gestión de pavimentos como: redes de drenaje, iluminación y señalética, demarcación, entre otros, y su descripción.
- Visualización gráfica y caracterización de externalidades (contaminación, ruido).
- Generación de archivos de entrada para módulos de análisis SGPA, extrayendo datos relevantes de la evaluación de pavimentos.
- Visualización gráfica de los resultados de los módulos de análisis SGPA y salida gráfica que se puede incluir en los informes SGPA.



Esta es una característica importante que debe tener hoy en día un SGPA, debido a que la tecnología lo permite y los beneficios son significativos en comparación a un SGPA que no cuente con este tipo de sistemas.

El software de SGPA más utilizado a nivel internacional es PAVER, debido a las características que posee y al ser compatible con sistemas GIS y GPS.

Inicialmente, el Sistema de Gestión de Mantenimiento de Pavimentos se introdujo a principios de la década de 1970 para ayudar al Departamento de Defensa de Estados Unidos en la gestión de M&R, y generar un inventario completo de pavimentos. Utiliza el índice de condición del pavimento PCI que se clasifica en una escala desde 0 (totalmente fallado) a 100 (excelente) para caracterizar la condición del pavimento, poder predecir los requisitos de M&R para varios años en el futuro y también informar sobre el desempeño pasado y futuro del pavimento (Shahin & Kohn, 1982). La configuración de PAVER puede verse como un estado del arte en cuanto a la tecnología de gestión de pavimentos, y su desarrollo se ha beneficiado enormemente de un poderoso apoyo para las agencias viales. PAVER también ofrece numerosas mejoras tecnológicas incluidas las siguientes (Almuhanna & Alasadi, 2018):

- Permite a los usuarios poder utilizar bases de datos como Access o SQL.
- La capacidad de proporcionar tablas para sistemas de pavimentación privados o compartidos.
- Muchas capacidades mejoradas para GIS/GPS.
- Un nuevo asistente que permite dividir secciones de pavimento.
- Utilizar una hoja de cálculo de Excel para crear o actualizar el inventario y el historial de trabajo.
- Rendimiento optimizado para grandes bases de datos.

PAVER cuenta con un modelo de predicción, cuyo propósito es ayudar a definir y construir grupos de pavimentos de similares características que están sujetos a un clima, tráfico y diferentes factores comparables que afectan el desempeño del pavimento. Los datos históricos sobre la condición del pavimento se pueden utilizar para construir un modelo que se usa en la predicción del tipo de pavimentos y, al mismo tiempo, puede predecir el rendimiento futuro con alta precisión (Shahin, 1991).



## 4. Evaluación y Definición de Umbrales de Mantenimiento y Rehabilitación

Es sabido que alrededor del mundo, distintas agencias aeroportuarias poseen diferentes métodos y sistemas de administración y mantenimiento de sus activos, incluyendo sus pavimentos, y donde cada una tiene sus propios criterios y consideraciones a la hora de decidir si un pavimento requiere alguna actividad M&R y si es así, en qué momento. Dicho esto, se debe saber qué actividades se requieren realizar a partir del estado en que se encuentra el pavimento, particularmente a través del índice de condición del pavimento PCI, pudiendo ser actividades de mantenimiento preventivo, de rehabilitación mayor o reconstrucción total de alguna sección o rama.

A nivel internacional se pueden rescatar muchos casos en que se definen umbrales específicos para decidir si un pavimento se encuentra en buenas condiciones y solo requiere actividades de mantenimiento preventivo; si se encuentra en una condición deteriorada requiriendo una rehabilitación mayor o incluso si está muy deteriorado requiriendo una reconstrucción total. En algunas zonas se utiliza un criterio simplificado, donde se establecen dos umbrales, uno para actividades de mantenimiento preventivo y otro para actividades de rehabilitación mayores, como lo recomienda la FAA en su circular AC 150/5380-7B - Airport Pavement Management Program (PMP). En otros lugares se utilizan criterios adicionales para definir estos umbrales, como por ejemplo la categoría del aeropuerto, rama, etc.

### 4.1. Criterios internacionales de definición de umbrales de mantenimiento y rehabilitación

Como se mencionó, existen dos tipos de enfoque en cuanto a la definición de umbrales para actividades M&R, en los que aplican distintos criterios.

#### *Enfoque Simple*

Este enfoque se basa en el criterio de simplificar lo máximo posible el proceso de toma de decisiones a la hora de realizar o programar las actividades M&R. Consta de dos umbrales límite para diferenciar entre realizar actividades de mantenimiento preventivo o preservación, actividades de rehabilitación mayores y reconstrucciones. Existe un gran número de agencias de otros países que utilizan este enfoque y no discriminan según otros criterios. Los umbrales utilizados por dichas agencias se muestran en la Tabla 3.



Tabla 3: Umbrales para actividades M&R según enfoque simple a nivel internacional. Fuente: Elaboración propia.

LUGAR U ORGANIZACIÓN	PCI MÍNIMO MANTENIMIENTO PREVENTIVO	PCI MÍNIMO REHABILITACIÓN MAYOR
AIRFORCE INSTRUCTION (USA) [1]	70	55
CALIFORNIA (USA) [61]	70	40
DOA VIRGINIA (USA)** [60]	70	55
DOA KENTUCKY (USA)** [31]	70	40
NEW MEXICO (USA) [52]	70	55
NORTH DAKOTA (USA) [46]	70	40
COLORADO (USA) [30]	65	40
DOT OHIO (USA)* [47]	70	55
DOT NORTH CAROLINA (USA)* [18]	75	55
DOT NEVADA (USA)* [44]	65	40
DOT PENNSYLVANIA (USA)* [49]	70	40
DOT MASSACHUSETTS (USA)* [36]	70	40
CABO VERDE [34]	70	55
PAISES BAJOS [33]	70	50
IRLANDA [43]	70	55
ITALIA [54]	70	55
AUSTRALIA [45]	70	55
EGIPTO [19]	70	55
ALACPA [55]	60	40

(\*) DOT: Department of Transportation

(\*\*) DOA: Department of Aviation

A partir de los datos recopilados y presentados en la Tabla 3, se puede notar que en la gran mayoría de los casos el umbral mínimo para actividades de mantenimiento preventivo o preservación es cuando el PCI alcanza el valor 70. Mientras que, para el caso de actividades de rehabilitación mayores, se observa que prácticamente la mitad utiliza el valor mínimo cuando el PCI alcanza el valor 55 y la otra mitad, cuando el PCI alcanza el valor 40. Para valores de PCI inferiores, se recomienda realizar una reconstrucción total o parcial de la rama del aeropuerto en cuestión.

### Enfoque Específico

A diferencia del enfoque simple, éste tiene la particularidad de que es diferente para cada agencia, lo que hace que se pueda adaptar mucho mejor a las condiciones específicas de cada aeropuerto según los factores que puedan incidir en la condición de sus pavimentos. Los criterios o factores más influyentes en la definición de los umbrales para actividades M&R que se observaron en las distintas agencias son: Tipo de pavimento, rama del aeródromo, ya sea pista, calle de rodaje o plataforma, nivel de carga, categoría del aeropuerto, largo de la pista y velocidad de aterrizaje de la aeronave.



Tabla 4: Umbrales para actividades M&R según enfoque específico a nivel internacional. Fuente: Elaboración propia.

LUGAR U ORGANIZACIÓN	TIPO DE PAVIMENTO	CATEGORÍA AEROPUERTO	LARGO DE LA PISTA	VELOCIDAD AERONAVE	RAMA
DOT WASHINGTON (USA)* [62]	✓	✗	✗	✗	✓
DOT FLORIDA (USA)* [20]	✗	✓	✗	✗	✓
DOT MICHIGAN (USA)* [37]	✗	✗	✗	✓	✓
DOT INDIANA (USA)* [27]	✗	✓	✓	✗	✓
DOT ALASKA (USA)* [4]	✗	✗	✗	✗	✓
DOT MISSOURI (USA)* [42]	✗	✗	✗	✗	✓
DOT DENVER (USA)* [11]	✗	✗	✗	✗	✓
NASA (USA) [1]	✗	✗	✗	✗	✓
INGLATERRA [13]	✗	✗	✗	✗	✓
BÉLGICA [33]	✗	✗	✗	✗	✓

(\*) DOT: Department of Transportation

A partir de toda la información recabada en esta investigación, se establecieron los criterios anteriormente mencionados, como los criterios más importantes a la hora de definir los distintos umbrales para realizar actividades M&R, siendo el criterio de rama el único que era utilizado por todas las agencias y los criterios de velocidad de aproximación de aeronaves, largo de pista y tipo de pavimentos, utilizados en menor medida.

#### Umbrales utilizados a nivel internacional

Alrededor del mundo las empresas encargadas de la construcción y mantención de pavimentos aeroportuarios poseen diferentes criterios a la hora de definir umbrales para actividades de mantenimiento y rehabilitación. Es por esto que en este apartado se describen los valores de umbrales utilizados por distintas agencias a nivel internacional que utilizan el enfoque específico descrito anteriormente.

El principal país donde se puede obtener información acerca de umbrales de actividades M&R es Estados Unidos, donde cada estado posee su propio departamento de transporte (DOT, por sus siglas en inglés) y donde existen variados criterios entre ellos para definir dichos umbrales. También se pudo obtener información de algunos países de Europa, África y Oceanía. A continuación, se presentan los umbrales con sus respectivos criterios.

En las tablas siguientes se presentan los valores de umbrales utilizados por aquellas agencias que utilizan el tipo de enfoque específico, diferenciando los criterios que utiliza cada una.



## Estado de Washington, USA

En el estado de Washington se considera el tipo de pavimento, nivel de carga de las aeronaves, diferenciándolas si pesan más o menos de 60.000 [lb] y la rama del aeródromo.

Tabla 5: Umbrales para actividades M&R estado de Washington, USA. Fuente: Adaptado de Washington State Airport Pavement Management System 2018, USA.

TIPO PAVIMENTO	RAMA	PCI MÍNIMO PRESERVACIÓN	PCI MÍNIMO PRESERVACIÓN	PCI MÍNIMO REHABILITACIÓN
		≥ 60.000 [lbs]	< 60.000 [lbs]	MAYOR
ASFALTO	Pistas	70	65	No posee
	Calles de rodaje	65	60	No posee
	Plataformas, Helipuertos y Hangares	60	60	No posee
HORMIGÓN	Pistas	60	55	No posee
	Calles de rodaje	55	50	No posee
	Plataformas, Helipuertos y Hangares	50	50	No posee

## Estado de Florida, USA

En el estado de Florida se considera la categoría del aeropuerto y la rama del aeródromo.

Tabla 6: Umbrales para actividades M&R estado de Florida, USA. Fuente: Adaptado de Statewide Airfield Pavement Management Program, FDOT, USA.

RAMA	PCI MÍNIMO PRESERVACIÓN AEROPUERTOS PRIMARIOS	PCI MÍNIMO PRESERVACIÓN AEROPUERTOS REGIONALES	PCI MÍNIMO PRESERVACIÓN AVIACIÓN GENERAL	PCI MÍNIMO REHABILITACIÓN MAYOR
PISTAS	75	75	75	No posee
CALLES DE RODAJE	70	65	65	No posee
PLATAFORMAS, HELIPUERTOS Y HANGARES	65	65	60	No posee

## Estado de Michigan, Usa

El estado de Michigan es el único lugar donde se considera la velocidad de aproximación de las aeronaves (AAC, por sus siglas en inglés), además de considerar también la rama del aeródromo

La velocidad de aproximación de las aeronaves se clasifica en cinco categorías, siendo estas A, B, C, D y E, donde: A corresponde a aeronaves con velocidad de aproximación menor a 91 nudos, B corresponde a aeronaves con velocidad de aproximación entre 91 y 121 nudos, C entre 121 y 141 nudos, D entre 141 y 166 nudos y E para velocidades de aproximación mayores a 166 nudos



En este caso, se considera hasta la categoría D como aeronaves que tienen una velocidad de aproximación mayor a 141 nudos [37].

Tabla 7: Umbrales para actividades M&R estado de Michigan, USA. Fuente: Adaptado de 2017 Michigan Aviation System Plan, MDOT, USA.

RAMA	PCI MÍNIMO PRESERVACIÓN SEGÚN VELOCIDAD DE APROXIMACION BAJO EL CRITERIO AAC DE LA FAA				PCI MÍNIMO REHABILITACIÓN MAYOR
	A	B	C	D	
PISTAS	55	55	60	65	No posee
CALLES DE RODAJE	45	45	50	55	No posee

### Estado de Indiana, USA

El estado de Indiana es el único lugar donde se considera el largo de la pista, pero solo para aeropuertos pequeños, donde se hace la diferencia cuando la pista mide 3.600 [ft], es decir, aproximadamente 1.100 [m]. En este estado también se utiliza el criterio de rama del aeródromo.

Tabla 8: Umbrales para actividades M&R estado de Indiana, USA. Fuente: Adaptado de Pavement Condition Report, Indiana DOT, USA.

RAMA	PCI MÍNIMO PRESERVACIÓN AEROPUERTOS PRIMARIOS	PCI MÍNIMO PRESERVACIÓN AEROPUERTOS REGIONALES	PCI MÍNIMO PRESERVACIÓN AEROPUERTOS LOCALES CON PISTA >3.600 [ft]	PCI MÍNIMO PRESERVACIÓN AEROPUERTOS LOCALES CON PISTA <3.600 [ft]	PCI MÍNIMO REHABILITACIÓN MAYOR
PISTAS	70	65	60	55	No posee
CALLES DE RODAJE	65	60	55	50	No posee
PLATAFORMAS	65	60	55	50	No posee

### Estado de Alaska, USA

En el estado de Alaska, a diferencia de los estados anteriores, solo se considera la rama del aeródromo a la hora de definir los umbrales.

Tabla 9: Umbrales para actividades M&R estado de Alaska, USA. Fuente: Adaptado de Pavement Management and Preservation, Alaska DOT, USA.

RAMA	PCI MÍNIMO PRESERVACIÓN	PCI MÍNIMO REHABILITACIÓN MAYOR
PISTAS	70	40
CALLES DE RODAJE	60	40
PLATAFORMAS	60	40



## Estado de Missouri, USA

En el estado de Missouri, al igual que en el estado de Alaska, sólo se considera la rama del aeródromo.

Tabla 10: Umbrales para actividades M&R estado de Missouri, USA. Fuente: Adaptado de Missouri Airport Management System, MoDOT, USA.

RAMA	PCI MÍNIMO PRESERVACIÓN	PCI MÍNIMO REHABILITACIÓN MAYOR
PISTAS	65	No posee
CALLES DE RODAJE	60	No posee
PLATAFORMAS	60	No posee

## National Aeronautics and Space Administration, USA

Un informe de la National Aeronautics and Space Administration (NASA, por sus siglas en inglés) da cuenta de que solo considera la rama del aeródromo la hora de definir umbrales.

Tabla 11: Umbrales para actividades M&R, NASA, USA. Fuente: Adaptado de Pavement Evaluation Report for NASA Ames Research Center, USA.

RAMA	PCI MÍNIMO PRESERVACIÓN	PCI MÍNIMO REHABILITACIÓN MAYOR
PISTAS	70	No posee
CALLES DE RODAJE	60	No posee
PLATAFORMAS	60	No posee

## Inglaterra

En Inglaterra se utiliza solo el criterio de rama del aeródromo para definir los umbrales.

Tabla 12: Umbrales para actividades M&R, Inglaterra. Fuente: Adaptado de Inspections of Airfield Pavement, Defense Infrastructure Organization.

RAMA	PCI MÍNIMO PRESERVACIÓN	PCI MÍNIMO REHABILITACIÓN MAYOR
PISTAS	70	35
CALLES DE RODAJE	55	35
PLATAFORMAS	40	35

## Bélgica

Al igual que en Inglaterra, en Bélgica se considera solo la rama del aeródromo para definir los umbrales.

Tabla 13: Umbrales para actividades M&R, Bélgica. Fuente: Adaptado de Laguado Lancheros, 2017.

RAMA	PCI MÍNIMO PRESERVACIÓN	PCI MÍNIMO REHABILITACIÓN MAYOR
PISTAS	70	No posee



RAMA	PCI MÍNIMO PRESERVACIÓN	PCI MÍNIMO REHABILITACIÓN MAYOR
CALLES DE RODAJE	70	No posee
PLATAFORMAS	50	No posee

A partir de los datos recopilados por parte de informes donde se utiliza el enfoque específico se puede concluir que cada empresa o agencia de mantenimiento de pavimentos utiliza sus propios criterios que pueden diferir bastante de otras empresas.

Además, se puede notar que los intervalos en los valores de umbrales para los distintos casos se definen en múltiplos de 5 puntos en la escala PCI para todos los casos encontrados.

Otra cosa importante a destacar es que los valores de umbrales PCI entre los distintos informes son relativamente similares cuando las condiciones evaluadas son semejantes.



## 4.2. Factores influyentes en la toma de decisiones para definir umbrales M&R

A raíz de lo expuesto anteriormente, se puede notar que hay diversos factores que influyen en el deterioro de los pavimentos, por lo que se decidió considerar como los más importantes los siguientes:

1. La clasificación o tamaño del aeródromo, debido a que, a mayor tamaño del aeródromo, mayor es el tráfico que recibe.
2. La clasificación ACN-PCN, la cual identifica qué tipo de aeronave puede aterrizar en qué pavimento. Esta clasificación engloba las características que poseen las aeronaves que pueden aterrizar en determinados pavimentos, por lo que se considera como un criterio que agrupa la categoría de la aeronave según su velocidad de aproximación y su peso, que eran criterios que se utilizaban en ciertos informes.
3. La clasificación climática de donde se encuentra el aeródromo, ya que distintos climas influyen diferente en el deterioro del pavimento. No existen referencias en que se utilice este factor como relevante a la hora de definir los umbrales de actividades M&R, pero es sabido que la presencia de agua bajo ciclos de hielo y deshielo son perjudiciales para el pavimento, por lo que si se consideró en este estudio.
4. La rama del aeródromo a analizar, ya sea pista, calle de rodaje o plataforma, ya que era el criterio que se repetía prácticamente en todos los lugares que se analizaron.
5. La diferencia entre el PCI real y el PCI esperado para la vida del pavimento. Al igual que el criterio climático, no se encontró ninguna referencia que utilizara este factor a la hora de definir los umbrales de actividades M&R, pero si era considerado en procesos de priorización de tratamientos. Este PCI esperado se obtiene a partir de modelos de desempeño de los pavimentos, que simulan o predicen la condición del pavimento según su vida, a partir de datos de PCI anteriores.

### 4.2.1. Aeródromos y su clasificación

La Red Aeroportuaria Nacional, está compuesta por 106 complejos aeroportuarios, los cuales se clasifican en: red primaria, que comprende 16 aeródromos, red secundaria, compuesta por 13 aeródromos, y pequeños aeródromos, compuesta por 77 aeródromos (DAP, 2021).

- Red Primaria: Esta red está compuesta por los 16 aeródromos más importantes del país, los cuales se ubican principalmente en las Capitales Regionales o en las cercanías de ciudades que son relevantes por ciertos aspectos como por ejemplo el económico, permitiendo así su conectividad tanto nacional (para el caso de los 16) como internacional para el caso de los 7 aeropuertos.
  - Posibilita las operaciones regulares y no regulares del transporte público de pasajeros y carga.
  - Permite operar a la aviación comercial, militar, corporativa y general.
  - Dado su emplazamiento y nivel de infraestructura, permite una conexión permanente con el resto de las regiones y países.
  - Representa un aporte relevante a la actividad económica estratégica y productiva de la región en la cual se inserta y del país.



- Red Secundaria: A la fecha esta red está compuesta por 13 aeródromos que se encuentran distribuidos a lo largo del país complementando a la red primaria y cumpliendo una labor de conectividad de una región y un nexo con la red de pequeños aeródromos.
  - Posibilita las operaciones regulares y no regulares del transporte público de pasajeros y carga, de menor escala que la Red Principal.
  - Permite operar a la aviación comercial de menor envergadura, militar, corporativa y general.
  - Representa un aporte a la economía regional y local.
- Pequeños Aeródromos: Los aeródromos que componen esta red cumplen principalmente las labores de conectividad y soberanía de localidades apartadas del territorio y un rol social al permitir el acceso de diferentes servicios públicos hacia dichas localidades, permitiendo así el contacto entre las zonas rurales y urbanas (se han considerado sólo los aeródromos fiscales de uso público)
  - Posibilita principalmente las operaciones no regulares del transporte público de pasajeros y carga, de pequeña escala.
  - Permite operar a la aviación militar de menor envergadura y general.
  - Aumenta la conectividad y desarrollo local.

#### 4.2.2. Clasificación ACN - PCN

En 1977, la OACI estableció un grupo de estudio para desarrollar un único método internacional para definir la resistencia del pavimento. El grupo de estudio elaboró, y la OACI adoptó, el método Número de Clasificación de la Aeronave - Número de Clasificación del Pavimento (ACN - PCN). Con este método, es posible expresar el efecto de una aeronave individual en diferentes pavimentos con un número único que varía según el peso de la aeronave y su configuración (por ejemplo, presión de los neumáticos, geometría del tren de aterrizaje, etc.), tipo de pavimento y la resistencia de la subrasante. Este número corresponde al Número de Clasificación de la Aeronave (ACN). Por el contrario, la capacidad de carga de un pavimento se puede expresar a través de un número único, sin especificar la aeronave ni detallar la estructura del pavimento. A este número se le llama Número de Clasificación del Pavimento (PCN).

- ACN: Es un número que expresa el efecto relativo de una aeronave con un peso y una configuración dada sobre una estructura de pavimento para una resistencia de subrasante especificada.
- PCN: Es un número que expresa la capacidad de carga de un pavimento para un número ilimitado de operaciones.

El método ACN-PCN está determinado para que un pavimento con un valor de PCN dado pueda soportar una aeronave que tiene un valor de ACN igual o menor que dicho PCN. Esto es posible debido a que los valores de ACN y PCN se calculan utilizando la misma base técnica.



### *Determinación del ACN*

El fabricante de la aeronave es quien proporciona el cálculo oficial de un valor ACN. El cálculo del ACN requiere información detallada sobre el funcionamiento y las características de la aeronave, como centro de gravedad máximo en popa, peso máximo en rampa, espacio entre ruedas, presión de los neumáticos y otros factores. Los valores de ACN para gran parte de los modelos de aeronaves se detallan en el Anexo C: Método ACN - PCN.

### *Determinación del PCN*

El método PCN utiliza un formato codificado para maximizar la cantidad de información contenida en un mínimo número de caracteres y para facilitar el entendimiento de la información. El PCN para un pavimento se informa como un número de cinco partes, donde se ordenan los siguientes códigos separados por barras diagonales: valor numérico del PCN / tipo de pavimento / categoría de la subrasante / presión de neumáticos máxima permitida / método utilizado para determinar el PCN.

Un ejemplo de un código PCN es 80/R/B/W/T, donde el número 80 representa el valor numérico del PCN, la R representa pavimento rígido, la B representa una subrasante de resistencia media, la W representa alta presión de neumáticos permitida, y T representa que el valor fue obtenido mediante una evaluación técnica. El detalle de estos valores se especifica en el Anexo C: Método ACN - PCN.

### *Características de las cargas*

La sobrecarga de los pavimentos puede ser provocada por cargas excesivas, por un ritmo de utilización considerablemente elevado, o por ambos factores a la vez. Las cargas superiores a las definidas (por cálculo o evaluación) acortan la vida útil del pavimento, mientras que las cargas menores la prolongan. Los pavimentos están contruidos, en su comportamiento estructural, a determinado límite de carga, por encima del cual podrían experimentar fallas repentinas o catastróficas. Dado su comportamiento, un pavimento puede soportar reiteradamente una carga definible durante un número previsto de veces en el transcurso de su vida útil. En consecuencia, una sobrecarga ocasional de poca importancia puede aceptarse, de ser necesario, ya que reducirá en poca medida la vida útil del pavimento y acelerará relativamente poco su deterioro. Para las operaciones en que la magnitud de la sobrecarga o la frecuencia de utilización del pavimento no justifiquen un análisis detallado, se sugieren los siguientes criterios:

- En el caso de pavimentos flexibles, los movimientos ocasionales de aeronaves cuyo ACN no exceda del 10% del PCN notificado, no serían perjudiciales para el pavimento.
- En el caso de pavimentos rígidos o compuestos, en los cuales una capa de pavimento rígido constituye un elemento primordial de la estructura, los movimientos ocasionales de aeronaves cuyo ACN no exceda en más de un 5% el PCN notificado, no serían perjudiciales para el pavimento.



- Si se desconoce la estructura del pavimento, debería aplicarse una limitación del 5%.
- El número anual de movimientos de sobrecarga no debería exceder de un 5%, aproximadamente, de los movimientos totales anuales de la aeronave.

A partir de estas recomendaciones establecidas por la FAA es que se decide utilizar el criterio de comparación ACN - PCN como un factor a la hora de definir umbrales de actividades de mantenimiento y rehabilitación. Este criterio recoge en un solo factor las distintas clasificaciones utilizadas por diferentes aeródromos que fueron estudiados que diferenciaban valores límite de umbrales M&R por ejemplo para distintos pesos o distintas velocidades de las aeronaves como en el caso de los estados de Washington y Michigan en EE. UU.

Cabe destacar que por parte de la OACI se está migrando desde el método ACN-PCN, el cual está basado en la resistencia de la subrasante basado en el CBR, y que no tiene en cuenta las configuraciones de los trenes de aterrizaje más modernos ni los nuevos materiales de construcción, al método ACR-PCR que se publicó en 2020 y que entra en vigor a fines de 2021, el cual basa sus cálculos en el método de cálculo LEA (Layered Elements Analysis, por sus siglas en inglés) o Análisis de Elementos por Capas, que corresponde a un análisis elástico lineal del terreno donde está el pavimento y que representa de mucho mejor manera la resistencia del suelo frente a las cargas aplicadas por las aeronaves.

#### 4.2.3. Clasificación climática

Uno de los principales componentes que contribuye al deterioro de los pavimentos es el efecto de las condiciones climáticas propias del lugar donde está construido el aeropuerto. Es por esto que se debe estudiar el clima existente en Chile para poder realizar una comparación con el clima en Estados Unidos, ya que se cuenta con una subdivisión en cuatro macrozonas climáticas planteada por el programa Long-Term Pavement Performance (LTPP) de la Federal Highway Administration (FHWA), siendo estas: Clima Seco Con Congelamiento, Clima Seco Sin Congelamiento, Clima Húmedo Con Congelamiento y Clima Húmedo Sin Congelamiento

Se plantea replicar las mismas 4 macrozonas presentes en el territorio norteamericano, en el territorio chileno para así poder aplicar los criterios de la FAA en cuanto a conservación de pavimentos en relación a los efectos del clima.

Para poder hacer dicha comparación, se debe tomar una herramienta unificada donde se clasifiquen los tipos de clima que existen en ambos países, por lo que se decide utilizar la clasificación climática de Köppen, la cual define una extensa variedad de climas y que es ampliamente aceptada y utilizada a nivel internacional.

### Clasificación Climática propuesta por el programa LTPP

En el marco del programa Long-Term Pavement Performance, se generó un mapa del territorio estadounidense en el que se distinguen 4 macrozonas climáticas, como se muestra en la Figura 12, las cuales son: Clima Seco Con Congelamiento (color anaranjado), Clima Seco Sin Congelamiento (color beige), Clima Húmedo Con Congelamiento (color celeste) y Clima Húmedo Sin Congelamiento (color verde).

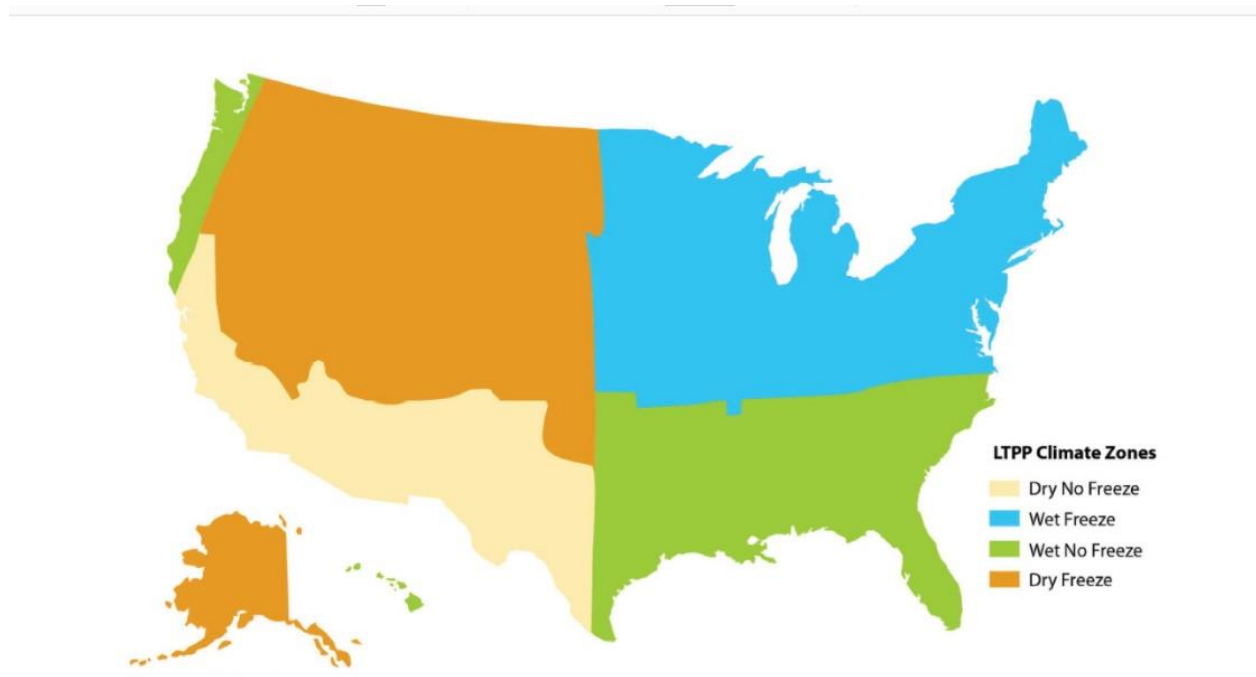


Figura 12: Zonas climáticas propuestas por el programa LTPP. Fuente Field Guide for the Airport Pavement Maintenance Recommendation Tool for ACRP Report 159 (2017).

A partir de la clasificación propuesta por LTPP, se distinguen los estados de EE.UU. y su correspondiente clima dominante, el cual se muestra en la Figura 13.

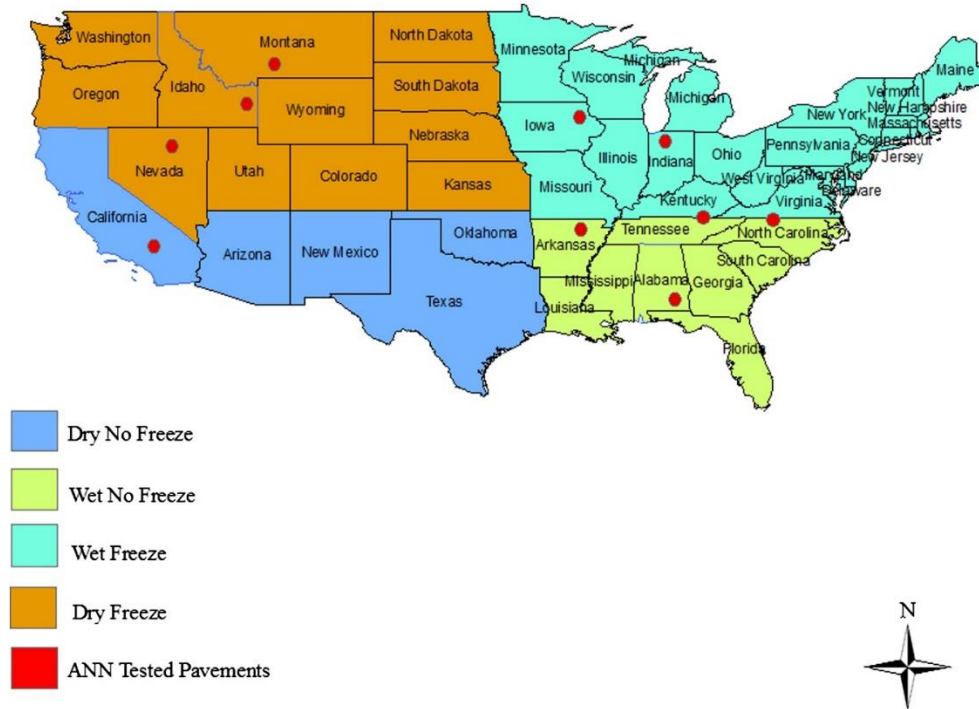


Figura 13: Clasificación climática LTPP por estados. Fuente: International Roughness Index Prediction of Flexible Pavements Using Neural Networks.

### Clasificación Climática de Köppen

A comienzos del siglo XX el geógrafo, climatólogo y botánico alemán, nacido en San Petersburgo, Wladimir Köppen presentó una clasificación de los climas del mundo, basándose en dos elementos climáticos, la temperatura del aire y la cantidad de agua disponible, en relación con las características fitogeográficas.

Esta clasificación climática, algebraica, al considerar valores numéricos y proporciones respecto a la temperatura y precipitación, y empírica, al considerar umbrales que condicionan la distribución de la vegetación, hace uso de un sistema de letras mayúsculas y minúsculas que denotan rasgos particulares de los climas.

#### La primera letra o letra principal (Grupo climático)

W. Köppen distingue cinco grupos climáticos principales, definidos por umbrales térmicos y de precipitación, que corresponden, a grosso modo, a las grandes formaciones de vegetación. Estos climas son designados con las primeras letras del alfabeto, escritas en mayúscula: **A**, **B**, **C**, **D** y **E**. El detalle de las categorías se presenta en la Tabla 23 del Anexo B: Clasificación Climática de Köppen.



## Condiciones para la segunda letra mayúscula

También el sistema de clasificación hace uso de otras letras mayúsculas para indicar algunas particularidades climáticas. En este caso, la letra se localiza a continuación de la letra principal, como ocurre con los climas secos (B) que se subdividen en climas semiáridos (BS) y áridos (BW), o bien, para los climas fríos (E) que incluyen a los climas de tundra (ET) y a los de hielo (EF). El detalle de las categorías se presenta en la Tabla 24 del Anexo B: Clasificación Climática de Köppen.

Cuando la influencia de la altura del relieve es relevante, sobre los 3.000 m.s.n.m., en la caracterización del clima, se hace uso de la letra H, en primera, segunda o tercera posición, dependiendo de las particularidades de cada caso.

## Segunda letra, en minúscula (Particularidades Pluviométricas)

Para caracterizar el comportamiento de las lluvias se hace uso de una letra minúscula que sigue a las letras mayúsculas. Estas letras específicamente hacen referencia a la estación seca: f (fehlt), ausencia de estación seca; w (winter), estación seca en invierno; s (sommer), estación seca en verano; m (monzón), estación seca determinada por los vientos monzónicos.

Para asociar una de estas letras minúsculas a aquella que designa al grupo climático, el clima debe poseer ciertas características pluviométricas, que se describen en la Tabla 25 del Anexo B: Clasificación Climática de Köppen.

## Tercera letra, en minúscula (particularidades térmicas)

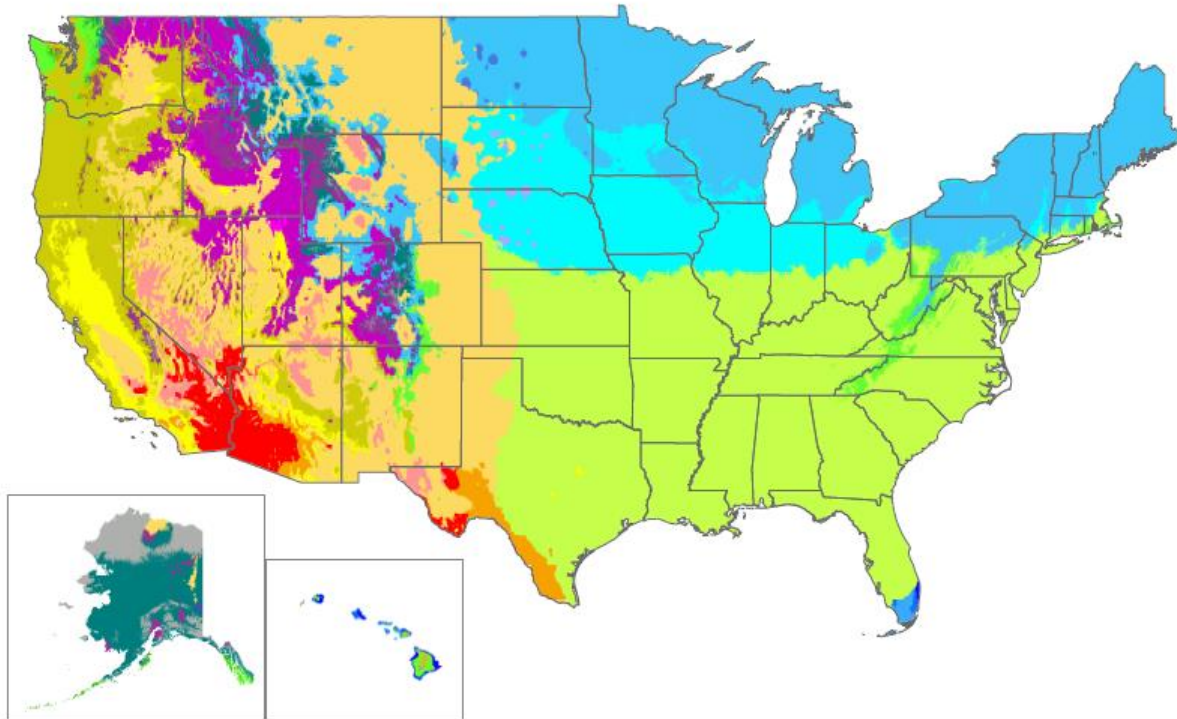
Para caracterizar el comportamiento térmico anual se hace uso de una letra minúscula que sigue a la letra que expresa las características pluviométricas. Esta letra minúscula, que se posiciona generalmente en tercer lugar dentro de la codificación de Köppen, se asigna al respectivo grupo climático según los rasgos térmicos que se presentan en la Tabla 26 del Anexo B: Clasificación Climática de Köppen.

## Otras letras, en minúscula (particularidades específicas)



























Para indicar la existencia de matices en las características pluviométricas o térmicas se pueden agregar nuevas letras, o bien, incorporar una comilla a la letra respectiva. El detalle de estas categorías se presenta en la Tabla 27 del Anexo B: Clasificación Climática de Köppen.

## Clasificación Climática de Estados Unidos según Köppen

Sabiendo esto, se presenta en la Figura 14, la clasificación climática según Köppen para el territorio de EE.UU.



### Köppen climate type

 EF (Ice-cap)	 Dsb (Warm-summer mediterranean continental)	 Csa (Hot-summer mediterranean)
 ET (Tundra)	 Dsa (Hot-summer mediterranean continental)	 BSk (Cold semi-arid)
 Dfc (Subarctic)	 Cfc (Subpolar oceanic)	 BSh (Hot semi-arid)
 Dfb (Warm-summer humid continental)	 Cfb (Oceanic)	 BWk (Cold desert)
 Dfa (Hot-summer humid continental)	 Cfa (Humid subtropical)	 BWh (Hot desert)
 Dwc (Subarctic)	 Cwb (Subtropical highland)	 Aw (Savanna)
 Dwb (Warm-summer humid continental)	 Cwa (Humid subtropical)	 Am (Monsoon)
 Dwa (Hot-summer humid continental)	 Csc (Cold-summer mediterranean)	 Af (Rainforest)
 Dsc (Dry-summer subarctic)	 Csb (Warm-summer mediterranean)	

\*Isotherm used to distinguish temperate (C) and continental (D) climates is  $-3^{\circ}\text{C}$

Data sources: Köppen types calculated from data from PRISM Climate Group, Oregon State University, <http://prism.oregonstate.edu>;  
Outline map from US Census Bureau

Figura 14: Tipos de climas presentes en Estados Unidos, según la clasificación de Köppen. Fuente Adam Peterson, 2016.

## Clasificación Climática de Chile según Köppen

Asimismo, en la Figura 15 se presenta la clasificación climática según Köppen para el territorio nacional.

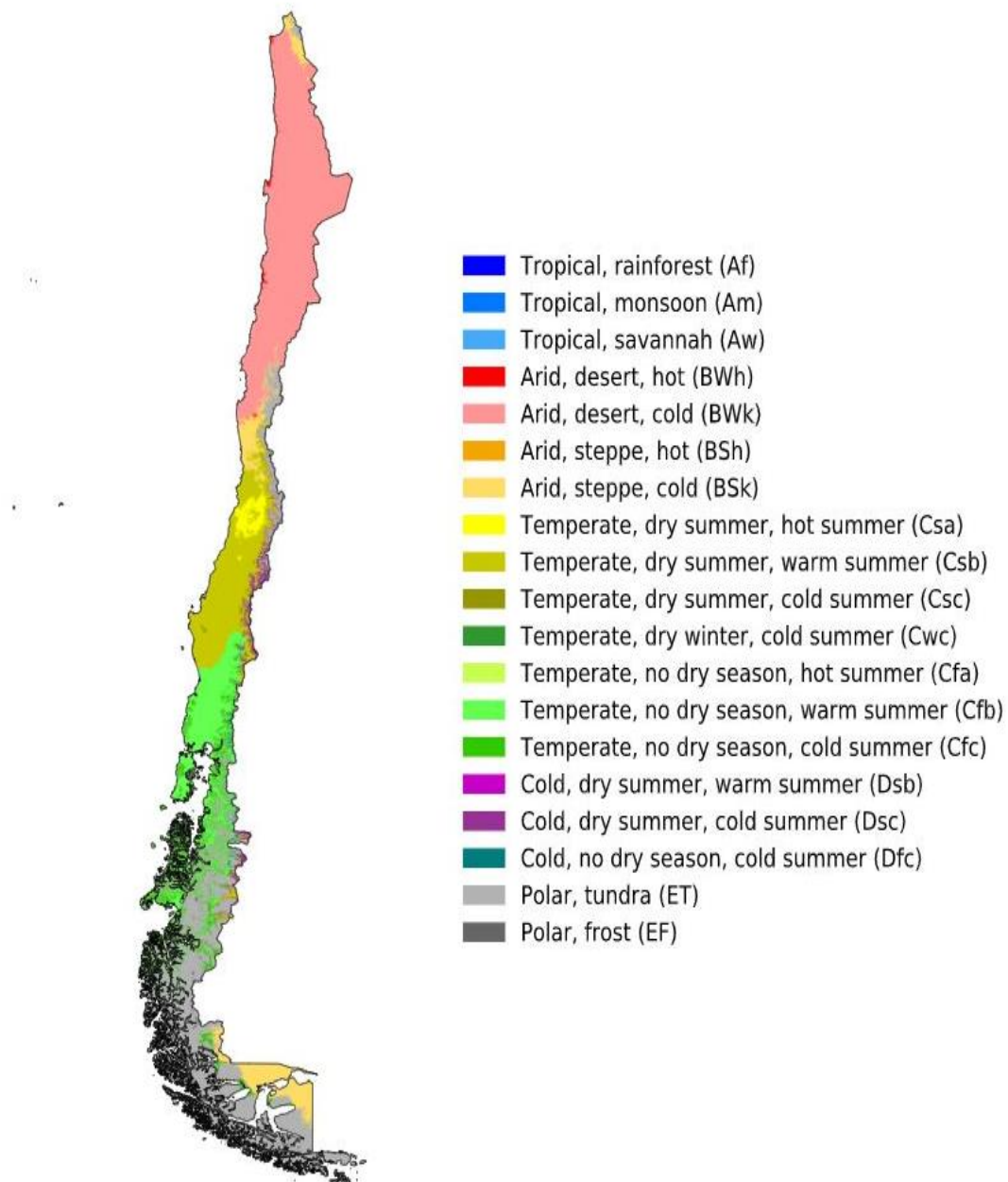


Figura 15: Tipos de climas presentes en Chile, según la clasificación de Köppen. Fuente: Peterson, 2016.

## Adaptación Macrozonas LTPP estadounidenses al territorio chileno



Como se mencionó anteriormente, en el marco del programa LTPP de la Administración Federal de Carreteras (FHWA por sus siglas en inglés), se realizó una clasificación climática del territorio estadounidense con el objetivo de precisar los efectos que tiene el clima sobre los distintos pavimentos ubicados en diferentes regiones de ese país.

Teniendo la información de los climas, según la clasificación de Köppen en cada estado de EE.UU. y las 4 macrozonas climáticas propuestas en el programa LTPP, se realiza una superposición de ambas clasificaciones mediante el método gráfico con el objetivo de llevar los climas propuestos por la clasificación de Köppen a la clasificación LTPP.

Con esto se obtiene la Tabla 14, donde cada tipo de clima según Köppen presente en EE.UU. se lleva a las cuatro categorías de la clasificación LTPP.

Tabla 14: Adaptación de climas estadounidenses según Köppen a macrozonas LTPP. Fuente: Elaboración propia

Tipo de clima	Código Köppen	Macrozona LTPP
Ice Cap	EF	WET-FREEZE
Tundra	ET	WET-FREEZE
Subarctic	Dfc	WET-FREEZE
Warm-summer humid continental	Dfb	WET-FREEZE
Hot-summer humid continental	Dfa	WET-FREEZE
Subarctic	Dwc	DRY-FREEZE
Warm-summer humid continental	Dwb	WET-FREEZE
Hot-summer humid continental	Dwa	WET-FREEZE
Dry-summer subarctic	Dsc	DRY-FREEZE
Warm-summer mediterranean continental	Dsb	DRY-FREEZE
Hot-summer mediterranean continental	Dsa	DRY-FREEZE
Subpolar oceanic	Cfc	WET-NO FREEZE
Oceanic	Cfb	WET-NO FREEZE
Humid subtropical	Cfa	WET-NO FREEZE
Subtropical highland	Cwb	DRY-FREEZE
Humid subtropical	Cwa	WET-NO FREEZE
Subpolar Oceanic	Cwc	DRY-FREEZE
Warm-summer mediterranean	Csb	DRY-NO FREEZE
Hot-summer mediterranean	Csa	DRY-NO FREEZE
Cold semi-arid	BSk	DRY-FREEZE
Hot semi-arid	BSh	DRY-NO FREEZE
Cold desert	BWk	DRY-NO FREEZE
Hot desert	BWh	DRY-NO FREEZE
Savanna	Aw	WET-NO FREEZE
Monsoon	Am	WET-NO FREEZE
Rainforest	Af	WET-NO FREEZE

Sabiendo a que categoría LTPP corresponde cada tipo de clima, se realiza el mismo procedimiento para los tipos de clima presentes en Chile, bajo los mismos criterios, generándose así la Tabla 15.



Tabla 15: Adaptación de climas chilenos según Köppen a macrozonas LTPP. Fuente: Elaboración propia

Tipo de clima	Código Köppen	Macrozona LTPP
Tropical, Rainforest	Af	WET-NO FREEZE
Tropical, Monsoon	Am	WET-NO FREEZE
Tropical, Savanna	Aw	WET-NO FREEZE
Arid, desert, hot	BWh	DRY-NO FREEZE
Arid, desert, cold	BWk	DRY-NO FREEZE
Arid, steppe, hot	BSh	DRY-NO FREEZE
Arid, steppe, cold	BSk	DRY-FREEZE
Temperate, dry summer, hot summer	Csa	DRY-NO FREEZE
Temperate, dry summer, warm summer	Csb	DRY-NO FREEZE
Temperate, dry summer, cold summer	Csc	DRY-NO FREEZE
Temperate, dry winter, cold summer	Cwc	DRY-FREEZE
Temperate, no dry season, hot summer	Cfa	WET-NO FREEZE
Temperate, no dry season, warm summer	Cfb	WET-NO FREEZE
Temperate, no dry season, cold summer	Cfc	WET-NO FREEZE
Cold, dry summer, warm summer	Dsb	DRY-FREEZE
Cold, dry summer, cold summer	Dsc	DRY-FREEZE
Cold, no dry season, cold summer	Dfc	WET-FREEZE
Polar, tundra	ET	WET-FREEZE
Polar, frost	EF	WET-FREEZE

Posterior a esto, con la información de la Tabla 15 se genera el mapa propuesto con la clasificación LTPP para el territorio chileno, el cual se presenta en la Figura 16.



*Figura 16: Macrozonas climáticas LTPP para el territorio chileno. Fuente: Elaboración propia.*

Finalmente, con el mapa del territorio nacional bajo la clasificación LTPP, se puede identificar en que macrozona climática se encuentra cada aeropuerto de la red aeroportuaria nacional y así poder estudiar cada caso de forma particular.

El propósito de este procedimiento es reducir al mínimo la gran variabilidad de climas que se pueden presentar dependiendo de donde se encuentre ubicado el aeródromo.

### 4.3. Herramienta de apoyo de decisiones para definición de umbrales

Luego de comprobar la gran cantidad de factores que influyen en el proceso de toma de decisiones a la hora de definir los umbrales para realizar actividades de mantenimiento y rehabilitación en pavimentos aeroportuarios, se decide proponer un método que pueda unificar todos los criterios más importantes para poder aplicarlos a la realidad aeroportuaria nacional.

Se propone un método de apoyo de decisiones tipo “árbol de decisión” donde se irá eligiendo una u otra alternativa dependiendo de las condiciones específicas de cada aeropuerto al que se le quiera realizar alguna actividad M&R. Dicho método consiste en comenzar a partir de un umbral de referencia inicial que se define a partir del análisis de la literatura a nivel internacional, ya sea para actividades de mantenimiento preventivo o bien para actividades de rehabilitación mayores, para luego ir “agregando” cada uno de los factores influyentes que también fueron analizados a partir de la literatura internacional. Esto con el fin de llegar a un valor único de umbral PCI para cada aeropuerto bajo sus propias condiciones al cual es recomendable realizar dichas actividades al pavimento.

#### 4.3.1. Umbrales de referencia inicial

Se propone como valores iniciales de PCI, los recomendados por la FAA y utilizados por gran parte de agencias estudiadas, siendo estos PCI = 70 como valor mínimo para actividades de mantenimiento preventivo o preservación y PCI = 55 como valor mínimo para actividades de rehabilitación mayores. Bajo este último umbral, la recomendación es habitualmente una reconstrucción total de la sección estudiada. Esto se ejemplifica en la Figura 17.

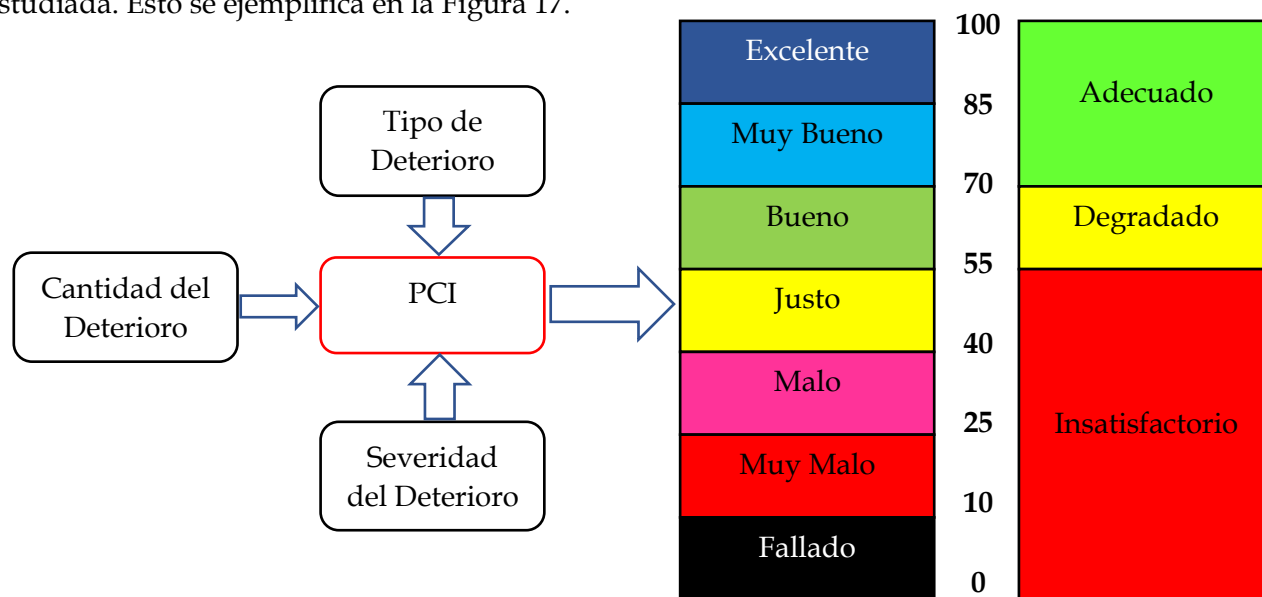


Figura 17: Escala de clasificación PCI para pavimentos aeroportuarios. Fuente: Adaptado de AC 150/5380-7B, FAA.



Se concluye a partir del análisis del estado del arte a nivel internacional que estos valores son los más utilizados como activadores de actividades mantenimiento y rehabilitación a nivel global, además de ser recomendados por la FAA, por lo que utilizarlos como valores iniciales del método es razonable.

#### 4.3.2. Condiciones que modifican el valor inicial

Se propone un método de selección de umbral mediante una categorización de cada una de los factores que afecten el estado de los pavimentos aeroportuarios.

Los distintos organismos internacionales o interestatales (en el caso de EE.UU.), principalmente los departamentos de transporte, además de algunas empresas particulares dedicadas al rubro, consideran diferentes factores que influyen al momento de seleccionar el umbral que se utilizará como referencia para realizar actividades de mantenimiento y rehabilitación. Algunos, como el caso del estado de Washington, hace diferencia entre pavimentos de hormigón y pavimentos de asfalto, y a su vez, diferencia las ramas del aeródromo en pistas, calles de rodaje y plataformas (Washington State Airport Pavement Management System 2018).

Al igual que en Washington, en el estado de Michigan, se hace la diferencia entre las distintas ramas del pavimento aeroportuario, pero solo considera las pistas y calles de rodaje. A su vez, es el único lugar donde también se hace diferencia a partir de la velocidad con la que aterrizan las aeronaves, clasificándolas en 5 categorías (AAC), siendo estas: A, B, C, D y E, pero utilizando solo las 4 primeras para definir los umbrales de M&R (Michigan Aviation System Plan 2017).

Al igual que los anteriores, en el estado de Indiana se hace la diferencia entre las secciones del pavimento, considerando pistas, calles de rodaje y plataformas. También se considera la categoría del aeropuerto, siendo el único lugar donde se hace la diferencia entre pistas de más y menos de 3.600 [ft], es decir, aproximadamente 1.100 [m] en pequeños aeródromos (Pavement condition Report Bedford – Grissom Municipal Airport 2013).

Es debido a esta gran variedad de criterios, que se considerarán para la formulación del árbol de decisión los siguientes factores: El tipo de aeropuerto, valores ACN – PCN, el largo de la pista (para el caso de pequeños aeródromos), el clima presente en el lugar donde se encuentra el aeródromo, la rama del aeródromo que se estudia y la diferencia con el PCI esperado.

A partir de esto, se propone este método donde se asignarán valores a las distintas categorías de dichos factores, los cuales se sumarán al valor de referencia inicial definido en el punto anterior. Estos valores se definen a continuación.

##### *Categoría del Aeropuerto*

- Red Primaria: +5 puntos de nivel PCI
- Red Secundaria: 0 puntos de nivel PCI
- Pequeños Aeródromos: -5 puntos de nivel PCI



#### *Valores ACN - PCN*

- ACN > PCN sobre el 5% de la flota anual: +5 puntos de nivel PCI
- ACN > PCN menos del 5% de la flota anual: 0 puntos de nivel PCI
- ACN < PCN para todas las operaciones anuales: -5 puntos de nivel PCI

#### *Largo de la Pista*

- > 1.100 metros: +5 puntos de nivel PCI
- < 1.100 metros: 0 puntos de nivel PCI

#### *Clima*

- Seco sin congelamiento: -5 puntos de nivel PCI
- Seco con congelamiento: 0 puntos de nivel PCI
- Húmedo sin congelamiento: 0 puntos de nivel PCI
- Húmedo con congelamiento: +5 puntos de nivel PCI

#### *Rama del aeródromo*

- Pistas: 0 puntos de nivel PCI
- Calle de rodajes: -5 puntos de nivel PCI
- Plataformas: -10 puntos de nivel PCI

#### *Diferencia PCI real vs PCI esperado*

- Sobre el PCI esperado: 0 puntos de nivel PCI
- Bajo el PCI esperado: +5 puntos de nivel PCI

Cada categoría dentro de las condiciones que afectan el valor final del umbral PCI del método propuesto, varía en 5 puntos en la escala de PCI debido a que, en toda la literatura encontrada, los saltos entre un valor de umbral PCI para ciertas condiciones variaba en dicha cantidad de puntos.

En cuanto a la categoría del aeródromo, los pertenecientes a la red primaria son más relevantes que la red secundaria y los de la red secundaria son más relevantes que los pequeños aeródromos, debido al nivel de tráfico y nivel importancia en cuanto a cargas transportadas.

El criterio de largo de pista se considera solo en el caso de pequeños aeródromos, con el fin de que aquellos que tengan pistas de más de 1.100 metros, se asemejen un poco a los de la categoría superior, que serían los de la red secundaria.

Para el criterio del clima, se considera como más dañino para los pavimentos el clima húmedo con congelamiento, debido a que cuando existe altos índices de humedad sumado a ciclos de hielo y deshielo, se generan intrusiones de agua en grietas y fisuras que generan tensiones extra en los pavimentos.

En cuanto a la rama del aeródromo, es el criterio más utilizado por las agencias que usan el enfoque específico, por lo que se considera importante a la hora de definir umbrales para actividades de mantenimiento y rehabilitación. En toda la bibliografía estudiada, los valores de umbral para las calles de rodaje eran menores que los de las pistas, mientras que los valores de umbral definidos para las plataformas eran menores que para las calles de rodaje.

### 4.3.3. Valor final del umbral

Finalmente se propone una ecuación basada en todo lo anterior para obtener el valor mínimo de umbral PCI para desarrollar actividades de M&R en pavimentos aeroportuarios de la red nacional. La ecuación 1 define lo expuesto anteriormente.

$$PCI = PCI_i + CA + ACN + LP + C + RA + D \quad (1)$$

Donde:

- $PCI$ : Umbral PCI recomendado dependiendo de las condiciones del aeropuerto.
- $PCI_i$ : Umbral PCI inicial de referencia.
- $CA$ : Categoría del aeródromo.
- $ACN$ : Criterio ACN vs PCN.
- $LP$ : Largo de la pista, para el caso de pequeños aeródromos.
- $C$ : Clasificación climática presente en la zona donde se encuentra el aeródromo.
- $RA$ : Rama del aeródromo a analizar.
- $D$ : Diferencia entre el PCI real y el PCI esperado de la rama a analizar.

A modo de ejemplo se presenta la Tabla 16, donde se muestran algunas combinaciones de dichas condiciones para el caso de umbral de mantenimiento preventivo, en la cual el umbral inicial de referencia es 70.

Tabla 16: Ejemplos de algunas combinaciones de factores que inciden en el deterioro de pavimentos aeroportuarios con su respectivo umbral de mantenimiento preventivo. Fuente: Elaboración propia.

Categoría aeródromo	Valores ACN - PCN	Largo Pista [m]	Clasificación climática	Rama	Diferencia entre PCI real y PCI esperado	Umbral PCI
Red Primaria (+5)	ACN > PCN sobre 5% anual (+5)	-	Húmedo con congelamiento (+5)	Pista (+0)	Bajo el PCI esperado (+5)	90
Red Primaria (+5)	ACN > PCN menor al 5% anual (+0)	-	Seco sin congelamiento (-5)	Calle de rodaje (-5)	Sobre el PCI esperado (+0)	65
Red Secundaria (+0)	ACN < PCN todas las operaciones (-5)	-	Húmedo sin congelamiento (+0)	Plataforma (-10)	Bajo el PCI esperado (+5)	60
Red Secundaria (+0)	ACN > PCN sobre 5% anual (+5)	-	Seco sin congelamiento (-5)	Plataforma (-10)	Sobre el PCI esperado (+0)	60
Pequeños Aeródromos (-5)	ACN > PCN menor al 5% anual (+0)	> 1.100 (+5)	Húmedo con congelamiento (+5)	Pista (+0)	Bajo el PCI esperado (+5)	80
Pequeños Aeródromos (-5)	ACN < PCN todas las operaciones (-5)	< 1.100 (+0)	Seco sin congelamiento (-5)	Plataforma (-10)	Sobre el PCI esperado (+0)	45



Como se muestra en la Tabla 16, el caso más restrictivo sería para un aeródromo de la red primaria, donde se presentan ACN mayores al PCN por sobre el 5% del total de las operaciones anuales, bajo un clima húmedo con congelamiento, en la rama de la pista y que tenga un PCI real menor al PCI esperado para la vida del pavimento, donde el umbral PCI al que se debería intervenir para actividades de mantenimiento preventivo sería 90. Asimismo, el caso menos restrictivo sería para el caso de un aeródromo de categoría de pequeños aeródromos, donde se presentan ACN menores al PCN para todas las operaciones anuales, con un largo de pista de menos de 1.100 metros, bajo un clima seco sin congelamiento, en la rama de plataformas y que tenga un PCI real mayor al PCI esperado para la vida del pavimento, donde el umbral PCI al que se debería intervenir para actividades de mantenimiento preventivo sería de 45.

Al igual que la tabla anterior, la

Tabla 17 muestra distintas combinaciones de factores que inciden en el valor del umbral, pero en este caso para actividades de rehabilitación mayor, en la cual el umbral inicial de referencia es 55.

Tabla 17: Ejemplos de algunas combinaciones de factores que inciden en el deterioro de pavimentos aeroportuarios con su respectivo umbral de rehabilitación mayor. Fuente: Elaboración propia.

Categoría aeródromo	Valores ACN - PCN	Largo Pista [m]	Clasificación climática	Rama	Diferencia entre PCI real y PCI esperado	Umbral PCI
Red Primaria (+5)	ACN > PCN sobre 5% anual (+5)	-	Húmedo con congelamiento (+5)	Pista (+0)	Bajo el PCI esperado (+5)	75
Red Primaria (+5)	ACN - PCN menor al 5% anual (+0)	-	Seco sin congelamiento (-5)	Calle de rodaje (-5)	Sobre el PCI esperado (+0)	50
Red Secundaria (+0)	ACN < PCN todas las operaciones (-5)	-	Húmedo sin congelamiento (+0)	Plataforma (-10)	Bajo el PCI esperado (+5)	45
Red Secundaria (+0)	ACN > PCN sobre 5% anual (+5)	-	Seco sin congelamiento (-5)	Plataforma (-10)	Sobre el PCI esperado (+0)	45
Pequeños Aeródromos (-5)	ACN > PCN menor al 5% anual (+0)	> 1.100 (+5)	Húmedo con congelamiento (+5)	Pista (+0)	Bajo el PCI esperado (+5)	65
Pequeños Aeródromos (-5)	ACN < PCN todas las operaciones (-5)	< 1.100 (+0)	Seco sin congelamiento (-5)	Plataforma (-10)	Sobre el PCI esperado (+0)	30

Para actividades de rehabilitación mayores, el caso más restrictivo sería para un aeródromo de la red primaria, donde se presentan ACN mayores al PCN por sobre el 5% del total de las operaciones anuales, bajo un clima húmedo con congelamiento, en la rama de la pista y que tenga un PCI real menor al PCI esperado para la vida del pavimento, donde el umbral PCI al que se debería intervenir para actividades de mantenimiento preventivo sería 75. Asimismo, el caso menos restrictivo sería para el caso de un



aeródromo de categoría de pequeños aeródromos, donde se presentan ACN menores al PCN para todas las operaciones anuales, con un largo de pista de menos de 1.100 metros, bajo un clima seco sin congelamiento, en la rama de plataformas y que tenga un PCI real mayor al PCI esperado para la vida del pavimento, donde el umbral PCI al que se debería intervenir para actividades de mantenimiento preventivo sería de 30.

Cabe destacar la importancia que tiene utilizar un modelo de desempeño de pavimentos aeroportuarios que tenga una buena predicción con respecto a la vida de los pavimentos aeroportuarios chilenos, debido a que distintos modelos presentarán resultados diferentes, y al ser la diferencia entre el PCI esperado y el PCI real uno de los criterios considerados por este método, requiere dicha precisión. Es debido a esto que mientras más preciso sea el modelo, mejor será el resultado en la utilización del método propuesto en este documento.

Este análisis muestra la gran variabilidad de valores que podrían resultar a partir de este método, siendo éste un punto de partida para las agencias aeroportuarias al momento de realizar actividades M&R. Cabe destacar que estos valores son meramente recomendaciones mas no valores fijos ni restrictivos al momento de proyectar actividades M&R, además de ser un método en fase preliminar que se puede ir ajustando y calibrando a medida que se utiliza.

No obstante, debido a la gran variabilidad de valores de umbrales que se obtienen a partir de este método, es necesario definir ciertos límites, ya sea para umbrales máximos y mínimos en ambos casos de mantenimiento preventivo y rehabilitación mayor. A partir de la revisión bibliográfica realizada a nivel internacional, se puede extraer que el valor máximo de umbral de mantenimiento preventivo encontrado fue de PCI=85, mientras que el mínimo fue de PCI=55. Para el caso de rehabilitación mayor, el límite máximo fue de PCI=60, mientras que el mínimo fue de PCI=35. Al ser estos valores que se utilizan habitualmente por algunas agencias aeroportuarias, parece razonable utilizar dichos límites en el método propuesto.



## Conclusiones

En la presente investigación se generó una herramienta de apoyo de decisiones que entrega un valor de umbral según la escala PCI a la cual se recomienda realizar actividades de mantenimiento y rehabilitación a los pavimentos de la red nacional de aeropuertos a partir de los criterios que se utilizan a nivel internacional, pero aplicados a las condiciones de nuestro país.

Para dicho propósito, en primer lugar, se definió el problema, el cual consiste en la falta de un criterio único en la definición de umbrales para actividades de mantenimiento y rehabilitación en pavimentos de la red nacional de aeropuertos.

Posteriormente, se realizó una extensa revisión bibliográfica relacionada a la gestión de pavimentos aeroportuarios y también a la implementación de planes de mantenimiento en aeródromos de diferentes países, partiendo desde conceptos fundamentales de un SGPA hasta información específica de umbrales de mantenimiento y rehabilitación, que es el propósito central de este documento.

En segundo lugar, se realizó un análisis de objetivos, herramientas, metodologías, procedimientos y conclusiones presentes en la bibliografía estudiada con el fin de entender y resumir de forma óptima la información y con ella poder tomar decisiones de cómo abordar el problema ya definido.

Seguido a eso, comenzó el proceso de comparación y adaptación de los parámetros que afectan en el deterioro de los pavimentos y que son considerados en los planes de conservación de pavimentos aeroportuarios en otros países a la realidad nacional, como la categoría del aeródromo, clasificación de las aeronaves, rama, largo de pista y el clima.

Finalmente, se generó una herramienta de apoyo de decisiones que recopila todos los criterios considerados con sus distintas categorías en la que, a partir de las condiciones presentes en cada aeródromo, se puede obtener un valor umbral mínimo en la cual realizar, por un lado, actividades de mantenimiento preventivo, o bien, actividades de rehabilitación mayor según se requiera.

A partir de lo anteriormente descrito y en base a los resultados de la investigación, se puede concluir que:

La gran mayoría de las administraciones que utilizan un enfoque específico definen sus propios criterios para determinar los umbrales, siendo estos criterios muy variados, pero donde el único criterio común es la rama del aeródromo a analizar, siendo la más importante las pistas, luego las calles de rodaje y en último lugar las plataformas.

Dentro de los criterios se observó que el peso máximo aplicado sobre el pavimento era considerado por una agencia y en otra se consideraba la velocidad de aterrizaje, que de manera implícita están estrechamente relacionada, puesto que entre mayor el peso de la aeronave, más velocidad requiere para volar. Sin embargo, para unificar criterios se decide por utilizar el método ACN – PCN como uno de los criterios a la hora de definir umbrales de mantenimiento y rehabilitación, ya que incluye dichos factores en la definición de la clasificación.



Si bien se consideró como criterio para determinar el umbral para actividades de mantenimiento y rehabilitación el tipo de macrozona climática que afecta al aeropuerto, no existe alguna fuente que considere este criterio para la determinación de los umbrales, esto puede ser debido a que, en el caso de EE. UU., cada estado tiene su propia macrozona climática, por lo que es innecesario considerarlo al momento de determinar los umbrales. Pero a su vez, es sabido que cuando existe alta humedad, puede haber intrusión de agua en fisuras o grietas, lo que, sumado a ciclos de congelamiento y descongelamiento, se generan presiones adicionales dentro de los pavimentos y éstos se deterioran aceleradamente, por lo que si se deben tener en cuenta a la hora de definir umbrales de mantenimiento y rehabilitación.

Dentro de los criterios, se consideró como un factor importante la diferencia entre el PCI proyectado y el PCI real obtenido. Este criterio, al igual que el climático, no se encuentra respaldado en ninguna fuente en cuanto a umbrales respecta, pero si se utiliza en los procesos de priorización propuestos por Laguados, 2017. Este criterio, al igual que el método ACN - PCN, se diferencian de los demás en el hecho de que pueden variar año a año dependiendo con qué frecuencia se mida el PCI y de las operaciones de vuelo anuales, no así con los demás criterios que son fijos a cada rama del pavimento, ya que no cambian con el tiempo. Es por esto, que se debe contar con modelos de desempeño de pavimentos aeroportuarios chilenos que tengan una buena precisión, para que la herramienta propuesta tenga mayor validez, ya que, si los modelos no se apegan a la realidad, la base de esta herramienta estaría viciada y entregaría valores distintos a los recomendados.

Se debe tener en cuenta que los valores propuestos en la herramienta de definición de umbrales generado en este documento son experimentales y deben implementarse y calibrarse a medida que es utilizada. Mientras mayor variabilidad de combinaciones se utilicen y comparen con datos utilizados por las agencias de mantenimiento de pavimentos, mejor será la calibración.

Uno de los puntos más importantes de esta investigación son los umbrales límite para las actividades de mantenimiento y rehabilitación. Más allá de los valores que entrega la herramienta como recomendación a la hora de realizar dichas actividades, también se deben considerar valores máximos y mínimos para definir estos límites. A partir de toda la literatura estudiada se pudo concluir que el valor más alto utilizado como PCI mínimo para actividades de mantenimiento preventivo es 85, mientras que el valor más bajo es de PCI igual a 55. Para el caso de rehabilitaciones mayores, el valor más alto encontrado en la literatura es de PCI igual a 60, mientras que el valor más bajo es de PCI igual a 35, por lo que es razonable utilizarlos como valores límite absolutos. Esto queda representado en la Figura 18.

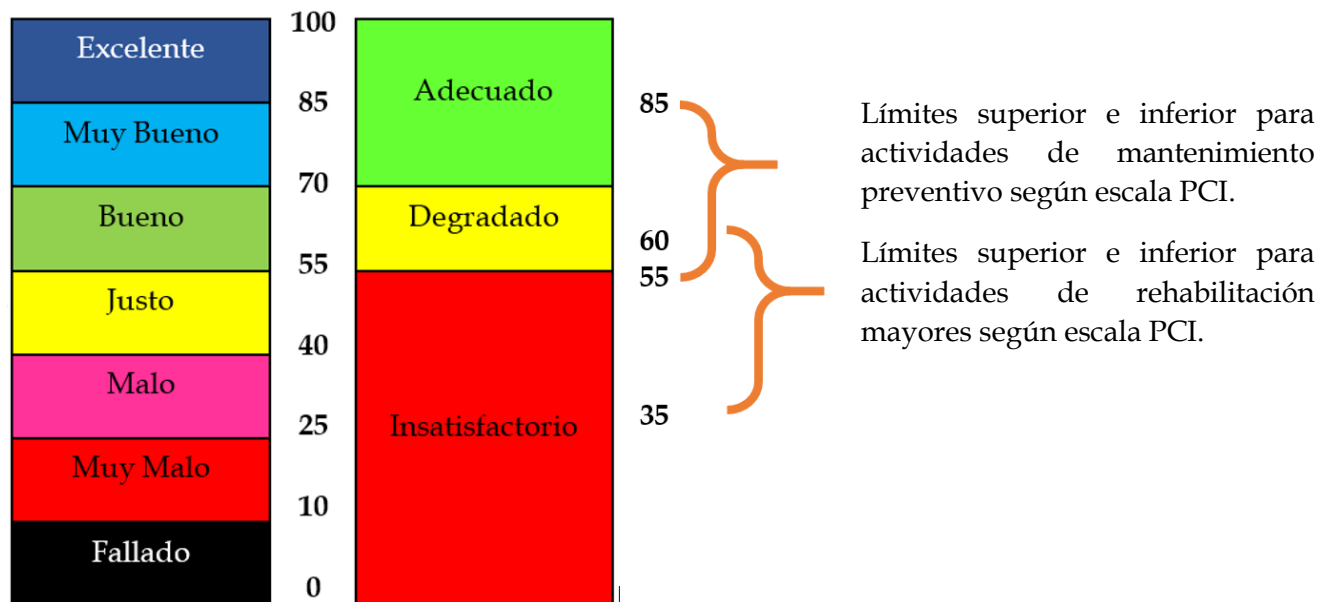


Figura 18: Límites superiores e inferiores según tipo de actividad de conservación. Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, como desafíos futuros se pueden considerar los siguientes:

- 1) Mejorar y masificar la toma y el almacenamiento de datos de PCI a los pavimentos de la red nacional de aeropuertos, ya que uno de los grandes problemas a la hora de realizar la investigación fue la escasa información disponible de los aeródromos chilenos, sobre todo en la red secundaria y en pequeños aeródromos.
- 2) Generar planes de mantenimiento de los pavimentos a partir de los nuevos datos y generar y/o mejorar los modelos de desempeño de los pavimentos para que se ajusten lo más fiel posible a la vida real de los pavimentos aeroportuarios nacionales.
- 3) También se deberá calibrar y mejorar la herramienta de apoyo de decisiones según datos de la red nacional de aeropuertos a medida que se vaya aumentando la cantidad de datos con el fin de poder ir afinando la herramienta propuesta y con ella, mejorando y facilitando la toma de decisiones a la hora de proponer planes de conservación de los aeródromos chilenos.
- 4) Desarrollar una plataforma o software capaz de almacenar y procesar toda la información recopilada por la Dirección de Aeropuertos, que contemple desde la toma de datos, su almacenamiento y su utilización para generar modelos de desempeño y para definir umbrales para actividades de mantenimiento y rehabilitación mediante el uso de la herramienta de apoyo de decisiones propuesta, todo en un mismo lugar.



## Referencias

- [1] AECOM. (2012). Pavement Evaluation Report for NASA Ames Research Center.
- [2] Air Force Instruction 32-1041. (2017). Pavement Evaluation Program
- [3] Airports Council International. (2013). Guide for maintaining runways in accordance to Annex 14 of ICAO.
- [4] Airport, Pavement Management and Preservation, Statewide M&O, Alaska DOT&PF. (2020). Pavement Management and Preservation. Airport Pavement Condition Reporting.
- [5] Almuhanha R., Ewadh H., Alasadi S. (2018). Using PAVER 6.5.7 and GIS program for pavement maintenance management for selected roads in Kerbala city.
- [6] American Society for Testing and Materials. (2020). ASTM D5340 – 20, Standard Test Method for Airport Pavement Condition Index Surveys
- [7] Arabali P., Sakhaeifar M., Freeman T., Wilson B., Borowiec J. (2017). Decision-Making Guideline for Preservation of Flexible Pavements in General Aviation Airport Management.
- [8] Beck, H. E., Zimmermann, N. E., McVicar, T. R., Vergopolan, N., Berg, A., & Wood, E. F. (2018). Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution. *Scientific data*, 5(1), 1-12.
- [9] Camarena K. (2018). Implementación de un sistema de gestión de pavimentos para el área de movimiento de aeropuertos. <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/14669>
- [10] Castillo C. (2008). Formulación de una metodología general para la elección de programas de conservación de pavimentos viales y su aplicación a la región de Magallanes.
- [11] City and County of Denver. (2016). Pavement Condition Report. Denver International Airport. Volume I: Pavement Condition Evaluation and Structural Capacity.
- [12] DAP. (2021). <https://aeropuertos.mop.gob.cl/Paginas/default.aspx>
- [13] Defence Infrastructure Organisation. (2011). Inspections of Airfield Pavements.
- [14] DGAC. (2021). <https://www.dgac.gob.cl/>
- [15] Di Mascio P., Moretti, L. (2019). Implementation of a pavement management system for maintenance and rehabilitation of airport surfaces. *Case Studies in Construction Materials*, 11 e00251. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2019.e00251>
- [16] Dirección de Aeropuertos, Departamento de Construcción, Unidad de Conservación y Administración directa. (2017). Implementación de un Sistema de Gestión de Pavimentos para la Red Aeroportuaria Nacional.
- [17] División Evaluación Social de Inversiones, Departamentos de Metodologías e Inversiones, Dirección de Aeropuertos, Departamento de Planificación y Control Estratégico. (2014). Metodología de Formulación y Evaluación de Proyectos de Infraestructura Aeroportuaria.
- [18] Division of Aviation, North Carolina Department of Transportation. (2016). North Carolina Airports Program Guidance Handbook.
- [19] El-Gioshy S., Osman O., El-Desouky A., Fatalla S. (2006). Guidelines for Maintenance of Airport Pavements Case Study: Aswan International Airport.
- [20] FDOT Aviation and Spaceports Office. (2019). Statewide Airfield Pavement Management Program.
- [21] Federal Aviation Administration. (2014). Advisory Circular N°150/5380-6C Guidelines and Procedures for Airport Pavements.
- [22] Federal Aviation Administration. (2014). Advisory Circular N°150/5380-7B Airport Pavement Management Program (PMP).



- [23] Federal Aviation Administration. (2019). Guidelines for Collecting, Applying and Maintaining Pavement Condition Data Airports
- [24] Federal Aviation Administration. Airport Categories. United States Department of Transportation. [https://www.faa.gov/airports/planning\\_capacity/categories/](https://www.faa.gov/airports/planning_capacity/categories/)
- [25] Freeman T. J., Borowiec J. D., Wilson B., Arabali P., Sakhaeifar M. (2017). FIELD GUIDE for the Airport Pavement Maintenance Recommendation Tool for ACRP Report 159.
- [26] Hossain M. I., Gopiseti L. S. P., Miah M. S. (2019). International Roughness Index Prediction of Flexible Pavements Using Neural Networks.
- [27] Indiana Department of Transportation. (2013). Pavement Condition Report. Bedford-Grissom Municipal Airport.
- [28] Inzunza, J. (2012). Meteorología descriptiva. Departamento de Geofísica, Universidad de Concepción, Concepción, 2-34.
- [29] Junta Aeronáutica Civil (s.f.). Informes Estadísticos Mensuales de Tráfico Aéreo. Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones. <http://www.jac.gob.cl/>
- [30] Aviation. (2015). Airport Master Plan. Yampa Valley Regional Airport.
- [31] Kentucky Department of Aviation. (2020). Kentucky Airport Pavement Maintenance Program.
- [32] Kottke, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B., & Rubel, F. (2006). World map of the Köppen-Geiger climate classification updated.
- [33] Laguado J. C. (2017). Airport Pavement Management Decision Making - A Prioritization Tool to Select Pavement Sections Requiring M&R Treatments.
- [34] Lima D., Santos B., and Almeida P. (2020). Proposal of an Airport Pavement Maintenance Management System for Cape Verde.
- [35] Maine Department of Transportation. (2019). Airport Pavement Management System.
- [36] Massachusetts Department of Transportation. (2017). Massachusetts Airport Pavement Management System.
- [37] Michigan Department of Transportation. (2017). 2017 Michigan Aviation System Plan.
- [38] Ministerio de Desarrollo Social, Ministerio de Obras Públicas. (2014). Metodología de Formulación y Evaluación de Proyectos de Infraestructura Aeroportuaria.
- [39] Ministerio de Planificación. Metodología de preparación y evaluación de proyectos de aeropuertos.
- [40] Ministerio de Obras Públicas. (2018). Informe de Evaluación y Diagnóstico de la condición superficial del pavimento air side, aeropuerto Andrés Sabella, Antofagasta.
- [41] Minnesota Department of Transportation. (2016). Pavement Condition Report. Tracy Municipal Airport (TKC).
- [42] Missouri Department of Transportation. (2014). Missouri Airport Pavement Management System.
- [43] Murly B., Jordan M., O'Brien D. (2014). Automated Pavement Condition Assessment Using Laser Crack Measurement System (LCMS) on Airfield Pavements in Ireland.
- [44] Nevada Department of Transportation. (2019). Nevada Airport Pavement Management System Update.
- [45] Norfolk Island Regional Council. (2017). Norfolk Island Airport Airside Pavement Inspection.
- [46] North Dakota Aeronautics Commission. (2015). Pavement Condition Index (PCI) Study Executive Summary.
- [47] Ohio Department of Transportation. (2017). Airport Master Plan Update, Chapter 4: Facility Requirements.
- [48] Organización de aviación civil internacional. (1983). Manual de diseño de aeródromos, Parte 3, Pavimentos.



- [49] Pennsylvania Department of Transportation. (2021). 2016 Pavement Management System Update. <https://www.dot.state.pa.us/appliedpavement/index.html#path=5>
- [50] Peterson A. (2016). <https://commons.wikimedia.org/wiki/User:Redtitan>
- [51] Qabaja, Mohammad & Labeedi, Ahmed. (2020). An investigation of the airport pavement management system (APMS). *International Journal of Advanced Engineering, Sciences and Applications*. 1. 27. 10.47346/ijaesa.v1i1.35.
- [52] Rahman M., Tarefder R. (2012). Selection of the Most Cost-Effective Pavement Maintenance Treatment for Selected Airport Pavements in New Mexico.
- [53] Rioseco, R., & Tesser, C. (2014). Cartografía interactiva de los climas de Chile. Instituto de Geografía, Pontificia Universidad Católica de Chile. [http://www7.uc.cl/sw\\_educ/geografia/cartografiainteractiva](http://www7.uc.cl/sw_educ/geografia/cartografiainteractiva).
- [54] RODECO Engineering & Global Service s.r.l. (2011). Airport Pavement Evaluation and Management.
- [55] The Louis Berger Group Inc. (2012). ALACPA Short Course on Pavement Maintenance, Pavement Evaluation & Rating.
- [56] Thuma R., Fuselier G., Yip P. (2008). Using PCI Data to Define Major Rehabilitation Projects at Washington Dulles International Airport.
- [57] Tighe S., Karin M., Herring A., Chee K., Moughabghab M. (2004). An Evaluation of Various Prioritization Methods for Effective Pavement Management: A Canadian Airport Case Study.
- [58] Tolmo M. B. (2020). Formulación de un marco teórico para la gestión de pavimento aeroportuarios, aplicable a la red nacional de aeropuertos.
- [59] Transport Canada Technical Evaluation Engineering. (2001). Aircraft Classification Numbers (ACN's)
- [60] Virginia Department of Aviation. (2016). Virginia Transportation System Plan Update 2016.
- [61] Wadelling Engineering Corporation. (2017). 2017 Pavement Management Program. Mariposa-Yosemite Airport.
- [62] Washington State Department of Transportation, Aviation Division. (2018). Washington State Airport Pavement Management System.



## Anexos

### Anexo A: Tipos de Deterioros y Tratamientos en Pavimentos Aeroportuarios

#### Anexo A.1 Deterioros en Pavimentos Flexibles

##### *Piel De Cocodrilo (Alligator Cracking)*

Corresponde a una serie de grietas interconectadas causadas por fatiga de la superficie de concreto asfáltico (AC) bajo carga repetida de tráfico. El agrietamiento comienza debajo de la superficie de AC donde se producen altas tensiones y deformaciones por efecto de la carga transmitida por las ruedas de la aeronave. La grieta se propaga inicialmente a la superficie como una serie de grietas paralelas, las que posteriormente se conectan debido a la repetición de cargas de tráfico, formando piezas con ángulos agudos con un patrón similar a la piel de un cocodrilo. Las piezas son menores a 60 centímetros de largo.

Este deterioro ocurre sólo en áreas que están sujetas a la repetición de cargas por tráfico, como puede ser por donde circula el tren de la aeronave.

La piel de cocodrilo se considera como un deterioro estructural mayor.

Sus niveles de severidad y opciones de reparación pueden ser:

- Bajo (L): Grietas muy finas longitudinalmente que corren paralelas unas a otras y ninguna o solo muy pocas grietas de interconexión. No se presenta desprendimiento de material. Ver Figura 19. No reparar; Recapar.
- Medio (M): En este nivel, el patrón está bien definido como grietas interconectadas. Todas las piezas permanecen en su lugar de manera segura. Ver Figura 20. Parchar a profundidad parcial o total; Recapar; Reconstruir.
- Alto (H): En este nivel de severidad, las redes de grietas han crecido de tal forma que las piezas están bien definidas con desprendimiento de material en sus esquinas. Algunas piezas desprendidas pueden causar un peligro potencial de FOD. Ver Figura 21. Parchar a profundidad parcial o total; Recapar; Reconstruir.

La piel de cocodrilo se mide en pies cuadrados o metros cuadrados del área superficial.



Figura 19: Grietas de Piel de Cocodrilo de severidad baja [6].



Figura 20: Grietas de Piel de Cocodrilo de severidad media [6].



Figura 21: Grietas de Piel de Cocodrilo de severidad alta [6].

### Exudación (Bleeding)

Corresponde a una película de material bituminoso en la superficie del pavimento que crea una superficie brillante, en la que puede producir reflejo, generalmente se torna bastante pegajosa. Se genera por una excesiva cantidad de cemento asfáltico o alquitrán en la mezcla o por bajo contenido de vacíos, o por ambas. Ocurre cuando el asfalto llena los vacíos en la mezcla durante periodos con temperaturas elevadas y luego se expande hacia la superficie del pavimento. Este proceso no es reversible en periodos fríos, por lo que el asfalto o alquitrán se acumula en la superficie.

Para este deterioro no se definen grados de severidad. Las opciones de reparación pueden ser: No reparar; Aplicar calor, esparcir arena y retirar el material suelto.

La exudación se mide en pies cuadrados o metros cuadrados del área superficial.



Figura 22: Exudación [6].

### Grieta De Bloque

Son grietas interconectadas que dividen el pavimento en piezas aproximadamente rectangulares. El rango de tamaños de los bloques es de 0,3 [m] x 0,3 [m] a 3 [m] x 3 [m].

Son causadas principalmente por contracción del asfalto y variaciones de temperatura durante el día. La aparición de grietas de bloque indica que el asfalto se ha rigidizado significativamente.

Este deterioro se diferencia de la Piel de Cocodrilo en que esta última forma piezas pequeñas, de muchos lados y ángulos agudos, y es causada por repeticiones de cargas de tráfico, por lo que solo aparecen en áreas sometidas a tráfico.

Sus niveles de severidad y opciones de reparación pueden ser:

- Bajo (L): Los bloques se definen por grietas con poco o ningún desprendimiento de material, evitando el peligro potencial de FOD. Las grietas que no están selladas tienen 6 [mm] o menos de ancho promedio y las que se encuentran selladas presentan un estado satisfactorio. Ver Figura 23. No reparar.
- Medio (M): Los bloques se definen por grietas selladas o vacías que tienen un moderado desprendimiento (con algún peligro de FOD), grietas no selladas que no tienen desprendimiento o es mínimo (algún peligro de FOD), pero tienen un ancho promedio mayor a 6 [mm]; o por grietas selladas mayores a 6 [mm] que no tienen desprendimiento o este es mínimo (con algún peligro de FOD), pero se encuentran selladas en condiciones insatisfactorias. Ver Figura 24. Sellar grietas; Reciclar la superficie; Escarificar en caliente y recapar.
- Alto (H): Los bloques están bien definidos por grietas con un alto grado de desprendimiento de material, causando un alto peligro de FOD. Ver Figura 25. Sellar grietas; Reciclar la superficie; Escarificar en caliente y recapar.

Este deterioro se mide en pies cuadrados o metros cuadrados de área superficial y generalmente se presenta con un solo grado de severidad en una sección de pavimento determinada.



Figura 23: Grietas de bloque de severidad baja. [6]

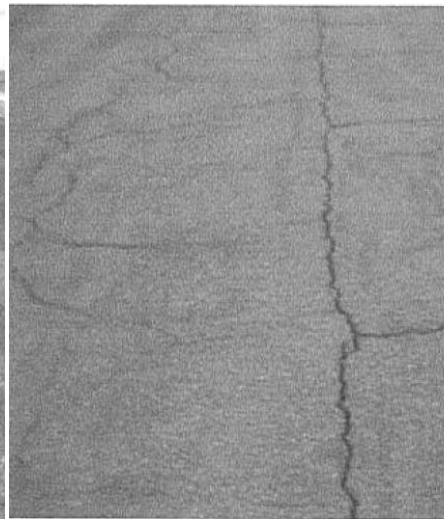


Figura 24: Grietas de bloque de severidad media. [6]

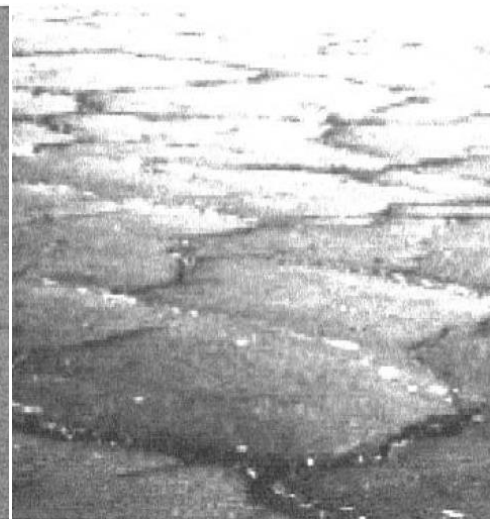


Figura 25: Grietas de bloque de severidad alta. [6]



## Ondulación (Corrugation)

Se conforma por una serie de valles y crestas con poca separación entre sí que ocurren a lo largo del pavimento en intervalos regulares, generalmente menos de 1,5 [m]. Las crestas son perpendiculares a la dirección del tráfico. Puede ser causada por la acción del tráfico combinada con una superficie o base inestable.

Sus niveles de severidad y opciones de reparación son:

- Bajo (L): Las ondulaciones son menores y no influyen sobre la calidad de la circulación. Ver Figura 26. No reparar.
- Medio (M): Las ondulaciones son notables y afectan significativamente la calidad de la circulación. Ver Figura 27. Reconstruir.
- Alto (L): Las ondulaciones son notorias y afectan severamente la calidad de la circulación. Ver Figura 28. Reconstruir.

Tabla 18: Niveles de severidad para Ondulación. [6]

SEVERIDAD	PISTAS Y RODAJES DE ALTA VELOCIDAD	RODAJES Y PLATAFORMA
BAJA (L)	< 6 [mm]	< 13 [mm]
MEDIA (M)	6 [mm] a 13 [mm]	13 mm] a 25 [mm]
ALTA (H)	> 13 [mm]	> 25 [mm]

La ondulación se mide en pies cuadrados o metros cuadrados del área superficial. La diferencia de elevación media entre crestas y valles de la ondulación indica el nivel de severidad. Se debe colocar una regla de 3 [m] e forma perpendicular a la ondulación y así medir la profundidad de los valles. La profundidad media es calculada a partir de 5 mediciones.

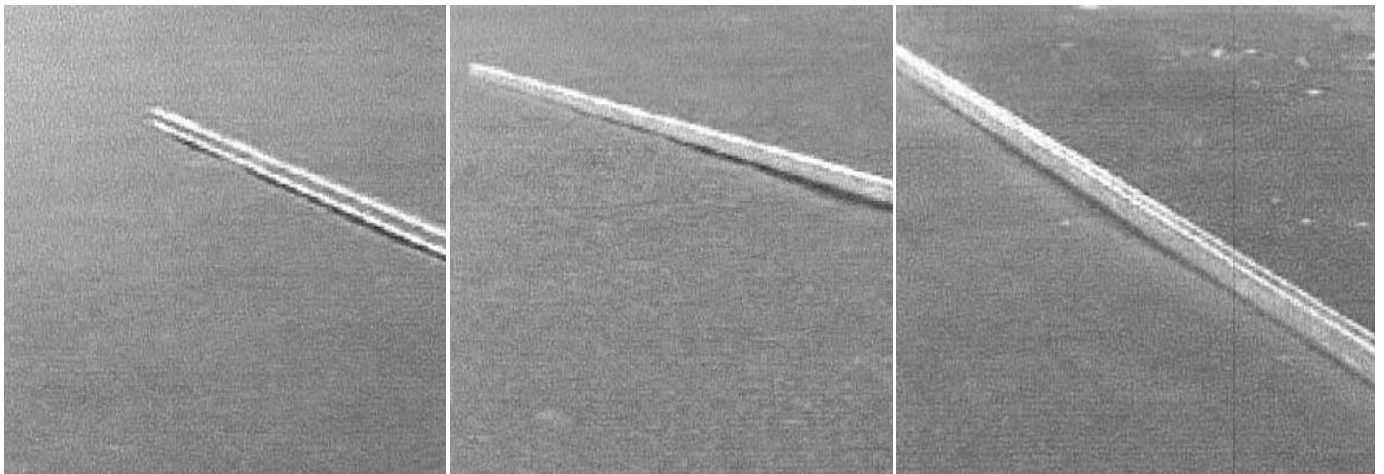


Figura 26: Ondulación de severidad baja. [6]    Figura 27: Ondulación de severidad media. [6]    Figura 28: Ondulación de severidad alta. [6]

### Depresiones (Depression)

Están localizadas en áreas de superficies pavimentadas que tienen elevaciones ligeramente menores que la zona que las rodea. Hay casos en que son tan pequeñas que se aprecian solo cuando llueve, acumulándose agua y creando “baños para aves”. Pueden ser causadas por asentamientos del terreno de fundación o durante el proceso de construcción. Las depresiones causan desniveles que cuando se llenan de agua, si son profundas, pueden causar hidroplaneo (aquaplaning).

Sus niveles de severidad y opciones de reparación son:

- Bajo (L): Pueden ser ubicadas por áreas manchadas sobre el pavimento. Afectan ligeramente la calidad de la circulación y pueden causar un potencial problema de aquaplaning. Ver Figura 29. No reparar.
- Medio (M): La depresión es apreciable, afecta moderadamente la calidad de la circulación y puede causar un potencial peligro de aquaplaning. Ver Figura 30. Parchar a profundidad parcial o total.
- Alto (H): Las depresiones son fácilmente identificables, afectan severamente la calidad de la circulación, existe y son causas definidas de potencial peligro de aquaplaning. Ver Figura 31. Parchar a profundidad parcial o total.

Tabla 19: Niveles de severidad para Depresiones. [6]

SEVERIDAD	PISTAS Y RODAJES DE ALTA VELOCIDAD	RODAJES Y PLATAFORMA
BAJA (L)	3 [mm] a 13 [mm]	13 mm] a 25 [mm]
MEDIA (M)	13 [mm] a 25 [mm]	25 [mm] a 51 [mm]
ALTA (H)	> 25 [mm]	> 51 [mm]

Son medidas en pies cuadrados o metros cuadrados del área superficial. La máxima profundidad de la depresión es la que determina el nivel de severidad.

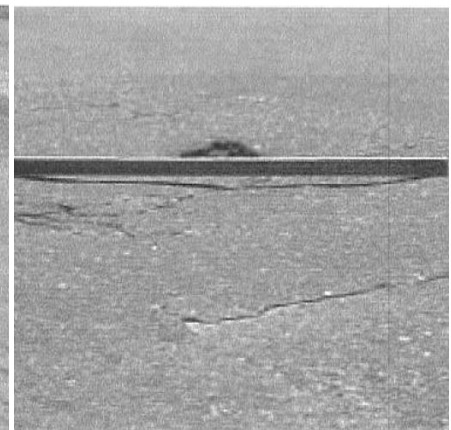


Figura 29: Depresión de severidad baja. [6]      Figura 30: Depresiones de severidad media. [6]      Figura 31: Depresiones de severidad alta. [6]



### *Erosión por Chorro de Turbina (Jet Blast Erosion)*

La erosión por chorro de turbina causa áreas oscuras sobre el pavimento cuando el ligante bituminoso ha sido quemado o carbonizado. Las áreas quemadas pueden variar en profundidad hasta aproximadamente 13 [mm].

No se definen niveles de severidad, basta con indicar que existe erosión por chorro. Sus opciones de reparación pueden ser: No reparar; Aplicar parche de profundidad parcial.

Este deterioro es medido en pies cuadrados o metros cuadrados de área superficial.



*Figura 32: Erosión por Chorro de Turbina. [6]*

### *Grietas por Reflexión de Juntas (Joint Reflection Cracking)*

Este deterioro ocurre únicamente sobre pavimentos asfálticos construidos sobre un pavimento de losas de hormigón (PCC). Son causadas principalmente por el movimiento de las losas de hormigón por debajo de la superficie asfáltica, ante los cambios térmicos y de humedad, sin relacionarse con la carga a la que son sometidos.

Sin embargo, el tráfico puede causar la rotura del asfalto cerca de las grietas, resultando en desprendimiento de material y un peligro potencial de FOD. Un conocimiento previo de las dimensiones de las losas inferiores ayudará a identificar estas grietas.

Sus niveles de severidad y opciones de reparación son:

- Bajo (L): Las grietas tienen poco o ningún desprendimiento de material, y pueden estar selladas o no. Si la grieta no está sellada, debe tener un ancho medio de 6,4 [mm] o menos. Si lo está, para considerarla de bajo nivel de severidad, puede ser de cualquier ancho, pero su relleno debe estar en condición satisfactoria. No reparar; Sellar grietas de espesor mayor que 3 mm.
- Medio (M): Debe presentarse alguna de las siguientes condiciones:
  - 1) Las grietas tienen un desprendimiento de material moderado (algún peligro de FOD), pueden ser tanto selladas o no selladas y pueden ser de cualquier ancho.



- 2) Las grietas tienen poco o ningún desprendimiento de material, pero el material de relleno estará en condición insatisfactoria.
- 3) Las grietas no están rellenas o lo están ligeramente, pero el ancho de la grieta es mayor a 6,5 [mm].
- 4) Grietas leves se presentan en forma aleatoria cercanas a las grietas por reflexión o en las esquinas formadas por estas.

Sellas grietas; Parchar a profundidad parcial.

- Alto (H): Las grietas tienen un gran desprendimiento de material (peligro real de FOD), pueden estar selladas o no selladas y ser de cualquier ancho. Sellar grietas; Parchar a profundidad total; Reconstruir.

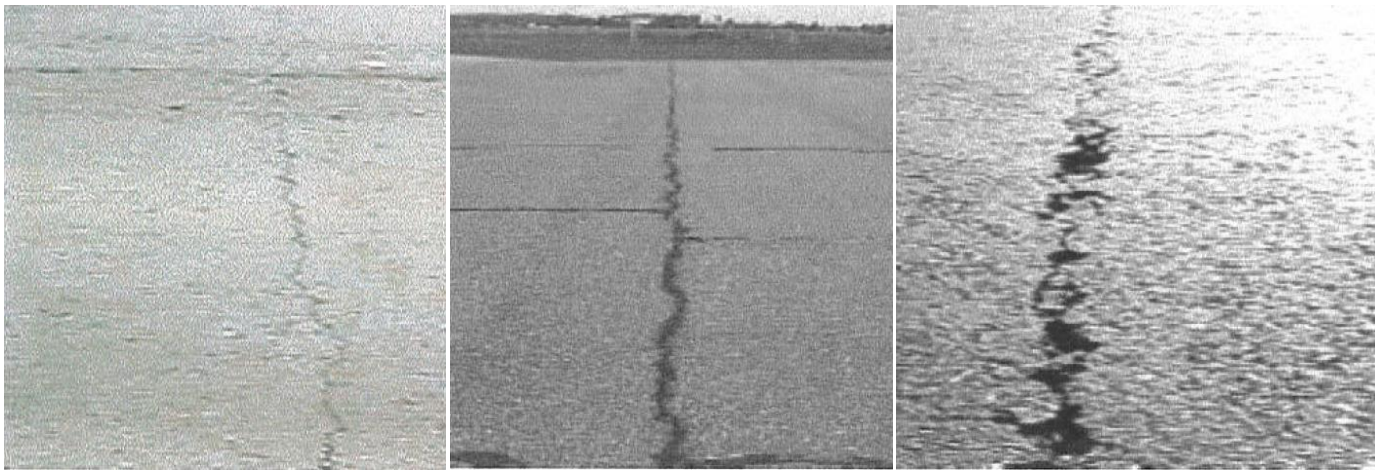


Figura 33: Grietas por Reflexión de severidad baja. [6]      Figura 34: Grietas por Reflexión de severidad media. [6]      Figura 35: Grietas por Reflexión de severidad alta. [6]

### *Grietas Longitudinales y Transversales (Longitudinal And Transverse Cracking)*

- a) Las grietas longitudinales son paralelas al eje de la pista. Estas pueden ser causadas por (1) fallas en las fajas constructivas en el proceso de pavimentación, (2) contracción de la superficie del asfalto debido a bajas temperaturas o rigidización, o (3) una grieta refleja que se produce debajo de la superficie en uso, estas incluyen grietas en la losa de hormigón (pero no por reflexión de las juntas).
- b) Las grietas transversales se extienden a través del pavimento aproximadamente en ángulos rectos en relación al eje de la pista. Estas pueden ser causadas por los ítems (2) y (3) del caso de grietas longitudinales.

Estos tipos de grietas, usualmente no se producen por repeticiones de cargas.

Sus niveles de severidad y opciones de reparación son:



- Bajo (L): Las grietas tienen poco o ningún desprendimiento de material. Pueden ser selladas o no. Las selladas tendrán un ancho medio de 6 [mm] o menos; las que están selladas, para considerarlas de bajo nivel de severidad, pueden ser de cualquier ancho, pero su sellado debe estar en condición satisfactoria. Ver Figura 36. No reparar; Sellar grietas de espesor mayor que 3 mm.
- Medio (M): Debe presentarse alguna de las siguientes condiciones:
  - 1) Las grietas tienen un desprendimiento de material moderado (algún peligro de FOD), pueden ser de cualquier ancho, tanto selladas o no selladas.
  - 2) Las grietas tienen poco o ningún desprendimiento de material, pero el material de relleno está en condiciones insatisfactorias
  - 3) Las grietas no están selladas o lo están ligeramente, pero el ancho es mayor a 6,5 [mm]
  - 4) Se presentan grietas leves, en forma aleatoria cercanas a las grietas principales o en las esquinas formadas por estas.Ver Figura 37. Sellar grietas.
- Alto (H): Las grietas tienen un gran desprendimiento de material (existe real peligro de FOD), pueden ser de cualquier ancho y estar selladas o no. Ver Figura 38. Sellar grietas; Parchar a profundidad parcial.

Son medidas en metros lineales.



Figura 36: Grieta longitudinal de severidad baja. [6]



Figura 37: Grieta longitudinal de severidad media. [6]

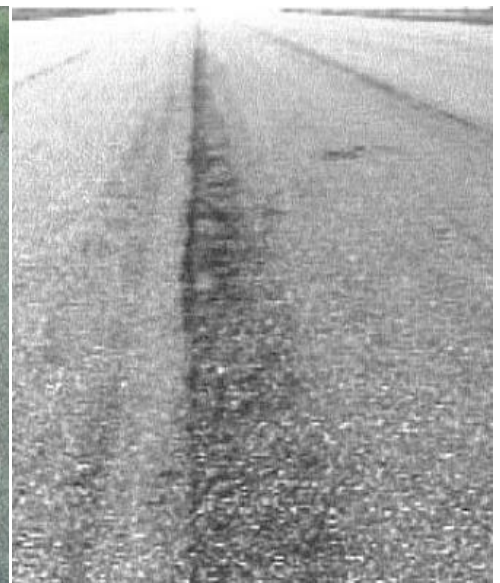


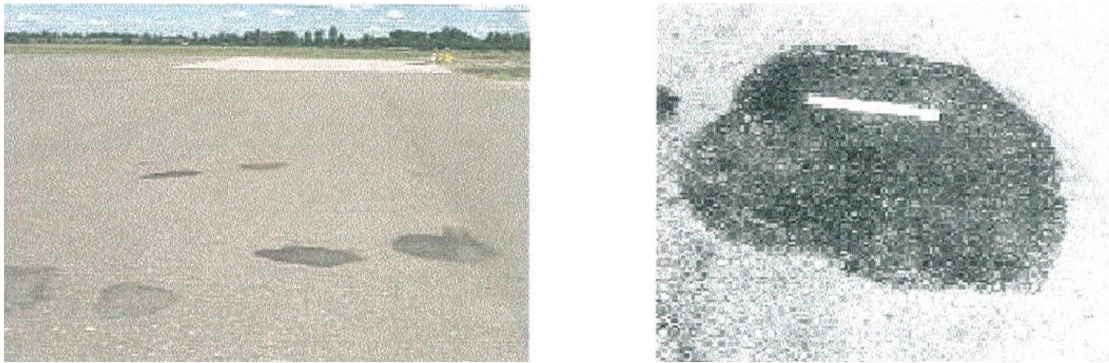
Figura 38: Grieta longitudinal de severidad alta. [6]

### *Deterioro por Derrame de Combustible (Oil Spillage)*

Corresponde al deterioro o ablandamiento de la superficie pavimentada causada por un derrame de combustible, aceite o un solvente hidrocarburo.

No se definen niveles de severidad. Es suficiente indicar que el derrame de combustible existe. Sus opciones de reparación son: No reparar; Parchar a profundidad parcial o total.

Se mide en metros cuadrados sobre el área superficial. Una mancha no es una falla hasta que no haya pérdida de material o el ligante se haya ablandado. Si la rigidez es aproximadamente la misma al pavimento que la rodea y no se ha perdido material, no se registra el deterioro.



*Figura 39: Deterioro por derrame de combustible. [6]*

### *Bacheos, Reparaciones o Parches (Patching)*

Un bache es considerado un defecto, sin importar si se encuentra en perfecto estado.

Sus niveles de severidad y opciones de reparación son:

- Bajo (L): El bache está en buenas condiciones y su funcionamiento es satisfactorio. No reparar.
- Medio (M): El bache está algo deteriorado y afecta de alguna manera la calidad en la circulación. Se considera nivel de severidad medio si el bache presenta un moderado desprendimiento de material (existe real peligro de FOD). Sellar grietas; Reparar deterioros en los parches; Reemplazar el parche.
- Alto (H): El bache está muy deteriorado y afecta la calidad del andar de forma significativa o tiene un alto peligro potencial de FOD. El bache necesita ser reemplazado. Reemplazar el parche.

Se mide en metros cuadrados de área superficial. Si se registran áreas con distintas severidades, se deben registrar separadamente.



Figura 40: Bache de severidad baja. [6]

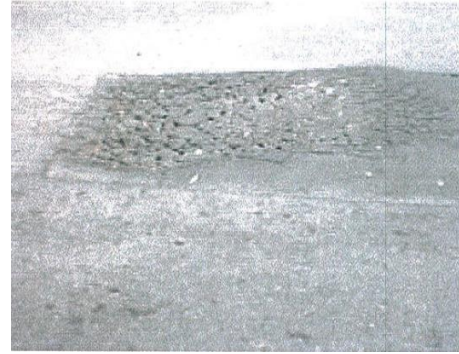


Figura 41: Bache de severidad alta. [6]

### *Agregados Pulidos (Polished Aggregate)*

Corresponde al desgaste de los agregados producido por efecto del tráfico. Se presenta cuando la porción de agregados que se presenta sobre el asfalto es muy pequeña, no hay rugosidad o las partículas angulares del agregado pierden su resistencia al deslizamiento.

No se definen niveles de severidad. Sus opciones de reparación pueden ser: No reparar; Recapar; Ranurar.

Este deterioro se mide en metros cuadrados del área superficial. Si la textura de la superficie es similar a la de la superficie de áreas adyacentes sin tráfico, no se debe considerar el agregado pulido.

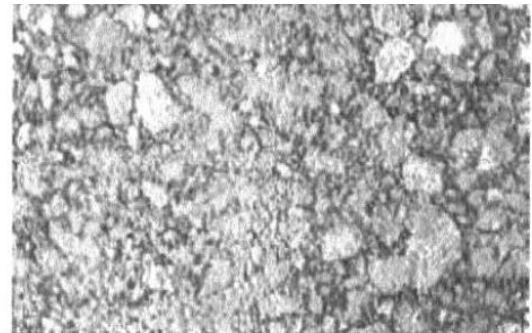
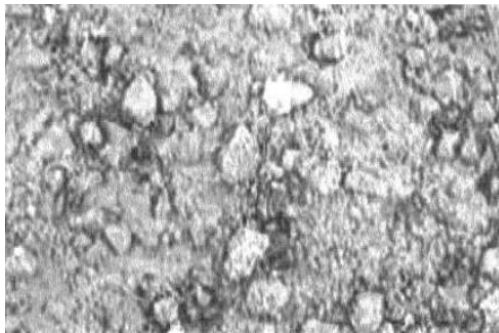


Figura 42: Agregado pulido. [6]

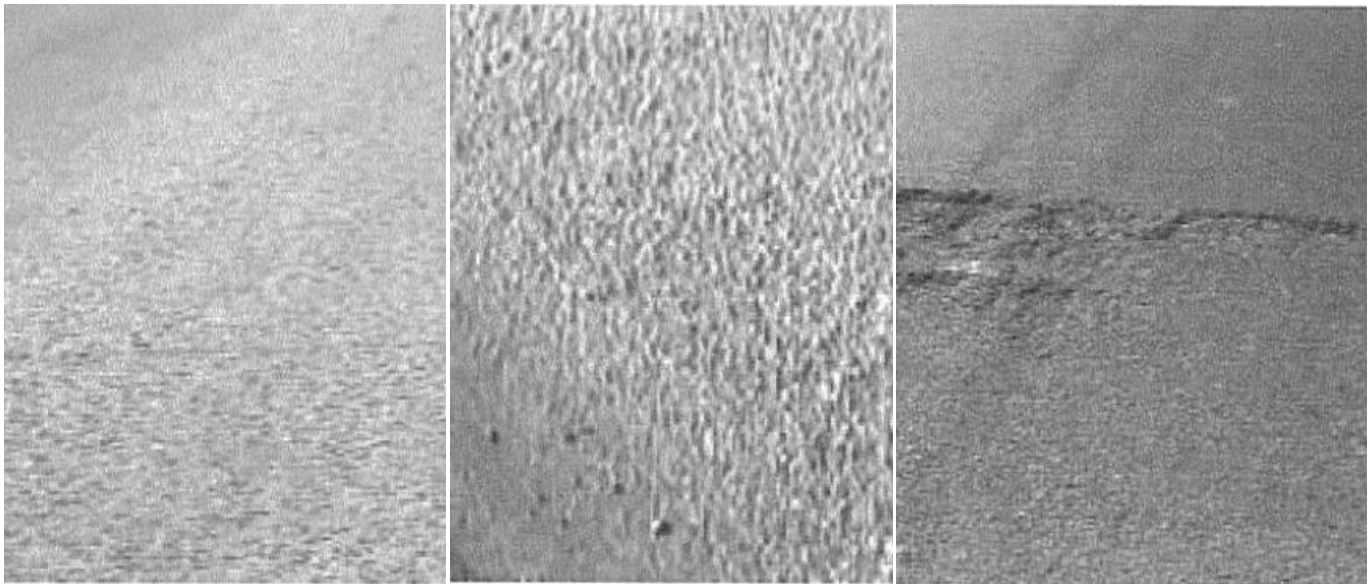
### *Desprendimiento y Efecto de la Intemperie (Raveling and Weathering)*

El desprendimiento y Efecto de la Intemperie están siempre en la superficie de desgaste del pavimento, causados por el desprendimiento de agregados y la pérdida de la capacidad del ligante asfáltico. Estos pueden indicar que el ligante se ha rigidizado significativamente,

Sus niveles de severidad y opciones de reparación son:

- Bajo (L): Los agregados o el ligante han comenzado a desgastarse, causando poco o ningún peligro potencial de FOD. La baja severidad se registra cuando el agregado superficial está expuesto a una profundidad de un cuarto del diámetro de la piedra. No reparar.
- Medio (M): Los agregados y/o el ligante presentan desgaste, causando algún peligro potencial de FOD. La textura superficial es moderadamente áspera. La severidad media se registra cuando el agregado superficial está expuesto a una profundidad de la mitad del diámetro de la piedra. No reparar.
- Alto (H): Los agregados y/o el ligante presentan un desgaste importante, causando un alto peligro potencial de FOD. La textura superficial es severamente rugosa y picada o con agregados sueltos o ligante asfáltico rigidizado triturado y suelto. La severidad alta se registra en áreas donde la capa superior del agregado se ha desprendido a causa de la fricción. Recapar; Reciclar; Reconstruir.

Se mide en metros cuadrados del área superficial. Si un tratamiento superficial se está desprendiendo, debe ser considerado como desprendimiento.



*Figura 43: Desprendimiento de severidad baja. [6]*

*Figura 44: Desprendimiento de severidad media. [6]*

*Figura 45: Desprendimiento de severidad alta. [6]*

### Ahuellamiento (Rutting)

El ahuellamiento se produce por la depresión de la superficie del pavimento en la zona de tránsito del tren de la aeronave. El pavimento es levantado a lo largo de los lados donde ocurre el ahuellamiento; sin embargo, en algunas circunstancias el ahuellamiento es notable únicamente luego de las lluvias, cuando las zonas de tránsito del tren de la aeronave quedan llenas de agua.

Puede ser producido por una deformación permanente en alguna capa del pavimento o de la misma subrasante. Usualmente es causado por consolidación o por el desplazamiento lateral de los materiales debido a la acción de las cargas de tráfico. Un ahuellamiento importante puede conducir a una mayor falla estructural del pavimento.

Sus niveles de severidad y opciones de reparación son:

Tabla 20: Niveles de severidad para Ahuellamiento. [6]

SEVERIDAD	PISTAS Y RODAJES DE ALTA VELOCIDAD	OPCIONES DE REPARACIÓN
BAJA (L)	6 [mm] a 13 [mm]	No reparar
MEDIA (M)	13 [mm] a 25 [mm]	Parchar a profundidad parcial o total; Recapar.
ALTA (H)	> 25 [mm]	Parchar a profundidad parcial o total; Recapar.

Es medido en metros cuadrados de superficie, y su nivel de severidad queda determinado por la profundidad media del ahuellamiento.



Figura 46: Ahuellamiento de severidad baja. [6]



Figura 47: Ahuellamiento de severidad media. [6]



Figura 48: Ahuellamiento de severidad alta. [6]

### Grietas por Deslizamiento (*Slippage Cracking*)

Son grietas con forma de media luna, con dos puntos apuntando en la dirección del tráfico. Son producidas cuando las ruedas frenan o giran causando un deslizamiento y deformación en la superficie del pavimento. Esto ocurre usualmente cuando existe una baja resistencia superficial de la mezcla o una deficiente adherencia entre la superficie y la siguiente capa estructural del pavimento.

No se definen niveles de severidad. Es suficiente indicar que existen grietas por deslizamiento. Sus opciones de reparación pueden ser: No reparar; Parchar a profundidad parcial o total.

Se mide en metros cuadrados del área superficial.

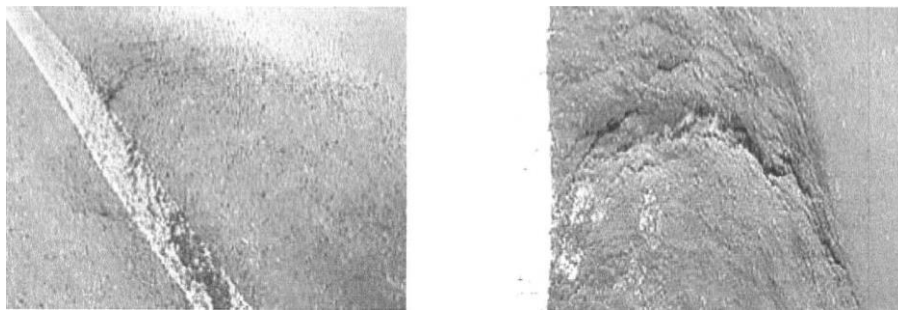


Figura 49: Grietas por deslizamiento. [6]

### Hinchamiento (*Swelling*)

Este deterioro se caracteriza por un hinchamiento de la masa en la superficie pavimentada. Puede ocurrir de forma puntual en un área localizada o en forma de onda gradual en un área mayor. Es provocado usualmente por la acción de congelamiento en la subrasante o por hinchamiento de los suelos, pero también puede ocurrir un pequeño hinchamiento sobre la superficie asfáltica como resultado de un estallido en las losas de hormigón que pudieran existir bajo el pavimento asfáltico.

Sus niveles de severidad y opciones de reparación son:

- Bajo (L): El hinchamiento es apenas visible y tiene un efecto despreciable sobre la calidad de la circulación. Ver Figura 50. No reparar.
- Medio (M): El hinchamiento puede ser observado sin dificultad y tiene un importante efecto sobre la calidad de la circulación. Ver Figura 51. Reconstruir.
- Alto (H): El hinchamiento puede ser fácilmente observado y tiene un efecto severo sobre la calidad de la circulación. Ver Figura 52. Reconstruir.

Tabla 21: Niveles de severidad para Hinchamiento. [6]

SEVERIDAD	DIFERENCIAL DE ALTURA PARA PISTAS
BAJA (L)	< 20 [mm]
MEDIA (M)	20 [mm] a 40 [mm]
ALTA (H)	> 40 [mm]



Para rodajes de alta velocidad, se establece el criterio presentado en la Tabla 21, mientras que para el caso de rodajes y plataformas se duplican los valores de altura establecidos para cada grado de severidad.

El Hinchamiento se mide en metros cuadrados de superficie.

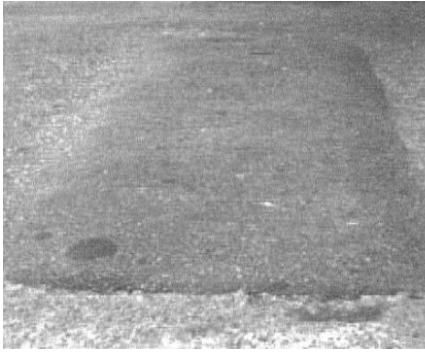


Figura 50: Hinchamiento de severidad baja.  
[6]



Figura 51: Hinchamiento de severidad media.  
[6]



Figura 52: Hinchamiento de severidad alta.  
[6]



## Anexo A.2 Deterioros en Pavimentos Rígidos

### *Levantamiento de Losas por Dilatación (Blow Up)*

Este deterioro se produce, en tiempo caluroso, usualmente en una grieta transversal o en una junta que no es lo suficientemente ancha como para permitir la expansión del hormigón. El ancho insuficiente de la junta se produce generalmente por acumulación de material incompresible dentro del espacio de ésta.

Cuando la expansión no se puede desarrollar libremente, se produce un movimiento ascendente de los bordes de la losa, con daño en la cercanía de la junta. Este deterioro también se puede presentar en los cortes ejecutados para pasar ductos y/o sumideros de drenajes. Los Levantamientos de Losas por Dilatación casi siempre son reparados en forma inmediata, debido al alto riesgo que ellos significan para las aeronaves.

El principal motivo de haber incluido este tipo de deterioro, es para que se tenga en consideración al momento de estudiar la posibilidad de volver a poner en servicio secciones de pavimento que han estado cerradas al tránsito.

Sus niveles de severidad y opciones de reparación son:

- Bajo: El grado de combamiento o rotura del pavimento es insuficiente como para dejarlo inoperativo. Sólo hay presencia de una deformación menor y algo de asperezas. Parchar a profundidad parcial o total; Reemplazar las losas.
- Medio: El grado de combamiento o rotura del pavimento es insuficiente como para dejarlo inoperativo, pero se observa una deformación significativa y hay presencia de asperezas. Parchar a profundidad parcial o total; Reemplazar las losas.
- Alto: El grado de combamiento o rotura del pavimento es tal que se ha vuelto inoperativo. Parchar a profundidad total; Reemplazar las losas.

### *Grietas de Esquina*

Es una grieta que intercepta los bordes encontrados de una losa, a una distancia menor o igual a la mitad de la longitud de cada borde, medidos desde la esquina de la losa. Por ejemplo, si una losa de dimensiones 7,5 x 7,5 m presenta una grieta que intercepta uno de los bordes a 1,5 m, medidos desde la esquina de la losa, e intercepta al otro borde a 5,1 m medidos desde la misma esquina, no se tratará de una Grieta de Esquina, sino que de una grieta diagonal. Sin embargo, una grieta que intercepta a 2,1 m en un lado y a 3,0 m en el otro, deberá ser considerada una Grieta de Esquina.



La Grieta de Esquina difiere de un astillamiento de esquina (o desconche) en que la grieta atraviesa verticalmente todo el espesor de la losa, mientras que un astillamiento de esquina (o desconche) intercepta a las juntas en ángulo.

Las repeticiones de carga, combinadas con pérdidas de soporte y tensiones de alabeo, son normalmente las causantes de las Grietas de Esquina.

Sus niveles de severidad y opciones de reparación son:

- Bajo (L): La grieta se presenta con poco o nada de astillamiento o fragmentación (no hay F.O.D. potencial). Las grietas pueden ser:
  - No selladas y de espesor medio menor que 3 mm, o,
  - Selladas, de cualquier espesor, pero el material de sello debe estar en buen estado

No reparar; Sellar grietas.

La superficie entre la Grieta de Esquina y las juntas no está agrietada (cuarteada o resquebrajada).

- Medio (M): Se cumple una de las siguientes condiciones:
  - 1) Grieta sellada o no, que presenta astillamiento moderado (hay algo de F.O.D. potencial).
  - 2) Grieta no sellada, de espesor medio entre 3 y 25 mm.
  - 3) Grieta sellada, ligeramente o no astillada, pero con el material de sello en malas condiciones.
  - 4) El área entre la Grieta de Esquina y las juntas está ligeramente agrietada (cuarteada o resquebrajada).

Sellar grietas; Parchar a profundidad total; Reemplazar la losa.

- Alto (H): Se presenta una de las siguientes condiciones:
  - 1) Grieta sellada o no, con severo astillamiento, que definitivamente causa F.O.D. potencial.
  - 2) Grieta no sellada, de espesor medio mayor que 25 mm, que significa un peligro potencial para los neumáticos.
  - 3) El área entre la Grieta de Esquina y las juntas está severamente agrietada (cuarteada o resquebrajada).

Sellar grietas; Parchar a profundidad total; Reemplazar la losa.

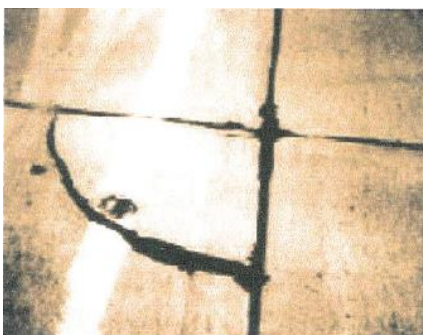


Figura 53: Grieta de Esquina de severidad baja. [6]



Figura 54: Grieta de Esquina de severidad media. [6]



Figura 55: Grieta de Esquina de severidad alta. [6]



### *Grietas Longitudinales, Transversales y Diagonales*

Estas grietas dividen las losas en dos o tres sectores. Normalmente son causadas por interacción de cargas repetidas, tensiones de alabeo y tensiones de fraguado. (Losas divididas en cuatro o más sectores, deben clasificarse como Grietas en Bloque, Losas Destrozadas, Grietas Interconectadas). Las grietas de baja severidad generalmente están asociadas al alabeo o retracción, y no son consideradas deterioros estructurales de importancia.

Sus niveles de severidad y opciones de reparación son:

- Pavimentos de Concreto No Reforzado
  - Bajo (L):
    - 1) Las grietas presentan poco o nada de astillamiento o fragmentación, (no hay F.O.D. potencial).
      - Si no están selladas, su espesor medio es menor que 3 mm.
      - Si está sellada, puede ser de cualquier espesor, pero con el material de sello en buenas condiciones.
    - 2) La losa está dividida en tres sectores por grietas de baja severidad.

No reparar; Sellar grietas

- Medio (M): Se cumple una de las siguientes condiciones:
  - 1) Grieta sellada, o no, que presenta astillamiento moderado (hay algo de F.O.D. potencial).
  - 2) Grieta no sellada, de espesor medio entre 3 mm y 25 mm.
  - 3) Grieta sellada, con algo o nada de astillamiento y con el material sellante en malas condiciones.
  - 4) La losa está dividida en tres sectores por dos o más grietas, de las cuales una por lo menos es de mediana severidad.

Sellar grietas.

- Alto (H): Se presenta una de las siguientes condiciones:
  - 1) Grieta sellada, o no, severamente astillada (hay definitivo F.O.D. potencial).
  - 2) Grieta no sellada, de espesor medio mayor que 25 mm, que significa peligro potencial para los neumáticos.

Sellar grietas; Parchar a profundidad parcial; Reemplazar la losa.

- Pavimentos de Concreto Reforzado
  - Bajo (L):
    - 1) Grietas no selladas, de espesor medio entre 3 mm y 12 mm, sin escalonamiento o astillamiento.
    - 2) Grietas selladas, o no, de cualquier espesor siempre que sea menor que 13 mm, con presencia leve de astillamiento.
    - 3) Grieta sellada, de cualquier espesor, con el material de sello en buenas condiciones y sin escalonamiento o astillamiento.

No reparar; Sellar grietas.

– Medio (M):

- 1) Grietas no selladas, de espesor medio entre 13 mm y 25 mm, sin escalonamiento o astillamiento.
- 2) Grietas selladas de cualquier espesor, con escalonamiento menor que 10 mm o moderadamente astilladas.

Sellar grietas.

– Alto (H):

- 1) Grieta no sellada de espesor medio mayor que 25 mm.
- 2) Grieta no sellada, de cualquier espesor, con escalonamiento mayor que 10 mm o medianamente astillada.
- 3) Grieta sellada, de cualquier espesor, con escalonamiento mayor que 10 mm o severamente astillada.

Sellar grietas; Parchar a profundidad parcial; Reemplazar la losa.



Figura 56: Grietas L&T de severidad baja. [6] Figura 57: Grietas L&T de severidad media. Figura 58: Grietas L&T de severidad alta. [6]  
[6]

### *Grietas Tipo "D"*

Son causadas por la incapacidad del hormigón para soportar factores ambientales, tales como ciclos hielo - deshielo. Generalmente se presentan como una configuración de grietas paralelas a la junta de la losa o a una grieta lineal y se acompañan de una coloración oscura a su alrededor. Este tipo de deterioro puede eventualmente conducir a la desintegración del hormigón a una distancia alrededor de 30 a 60 cm de los bordes de la junta o de la grieta.

Sus niveles de severidad y opciones de reparación son:

- Bajo (L): Las grietas tipo "D" se presentan como fisuras en un área limitada de la losa, tales como una o dos esquinas o a lo largo de la junta. Hay algo o nada de desintegración. No hay F.O.D. potencial. No reparar.
- Medio (M):
  - 1) Las grietas tipo "D" se han desarrollado en un área considerable de la losa. Hay algo o nada de desintegración o de F.O.D. potencial.
  - 2) Las grietas tipo "D" se han desarrollado sobre un área limitada de la losa, p.ej.: en una o dos esquinas o a lo largo de la junta, pero hay desintegración y trozos desprendidos. Hay algo de F.O.D. potencial.

Parchar a profundidad total; Reconstruir las juntas.

Alto (H): Las grietas tipo "D" se han desarrollado sobre un área considerable de la losa. Hay desintegración o F.O.D. potencial. Parchar a profundidad total; Reconstruir las juntas; Reemplazar la losa.

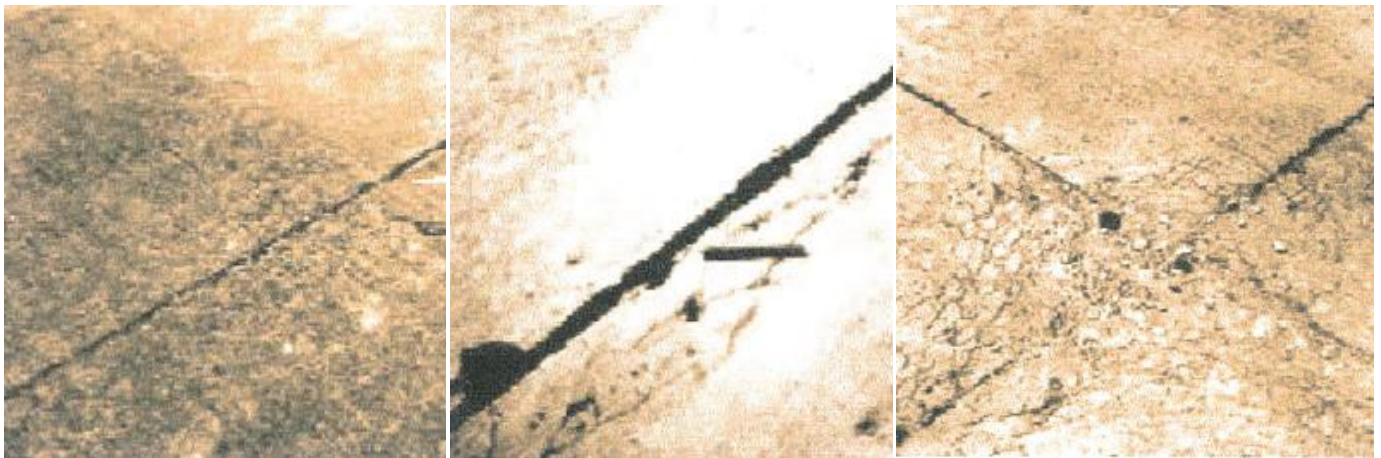


Figura 59: Grieta tipo "D" de severidad baja. [6]

Figura 60: Grieta tipo "D" de severidad media. [6]

Figura 61: Grieta tipo "D" de severidad alta. [6]

### *Daño al Sello de Juntas*

Se define como cualquier condición capaz de permitir que partículas de suelo o piedras se acumulen en las juntas, o que permita una infiltración significativa de agua.

La acumulación de material incompresible impide la expansión de la losa y puede provocar su levantamiento, fragmentación o rotura. Un sello flexible, bien adherido a los bordes de la losa, protege las juntas de la acumulación de partículas y además impide la filtración de agua hacia abajo con el consecuente ablandamiento de la base de fundación de la losa.

Los daños típicos que se presentan en el sello de juntas son los siguientes: (1) Desconche del material sellante, (2) Extrusión del sello, (3) Crecimiento de malezas, (4) Rigidización (oxidación) del material sellante, (5) Pérdida de adherencia y (6) Ausencia o pérdida del material sellante en la junta.

Sus niveles de severidad y opciones de reparación son:

- Bajo (L): El sello está, en general, en buenas condiciones a través de toda la rama. Se observa un buen comportamiento de éste, sólo hay presencia en menor grado de cualquiera de los deterioros arriba detallados. No reparar.
- Medio (M): El sello está, en general, en condiciones más que regulares en toda la sección examinada, con presencia de uno o más de los deterioros arriba indicados. El sello requerirá ser reemplazado dentro de dos años. Sellar juntas.
- Alto (H): El sello está, en general, en malas condiciones en toda la sección examinada, con presencia en grado severo de uno o más de los deterioros arriba indicados. Se requiere el reemplazo inmediato del sello. Sellar juntas.



Figura 62: Daño en Sello de junta de severidad baja. [6]

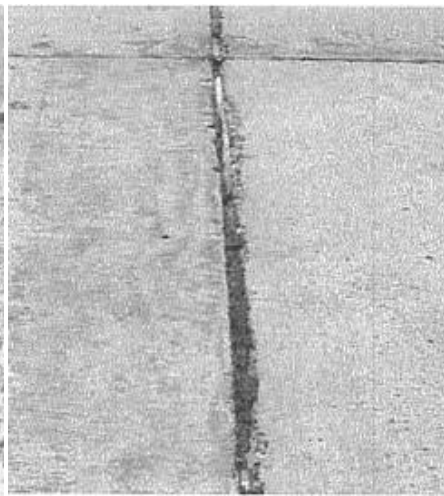


Figura 63: Daño en Sello de junta de severidad media. [6]

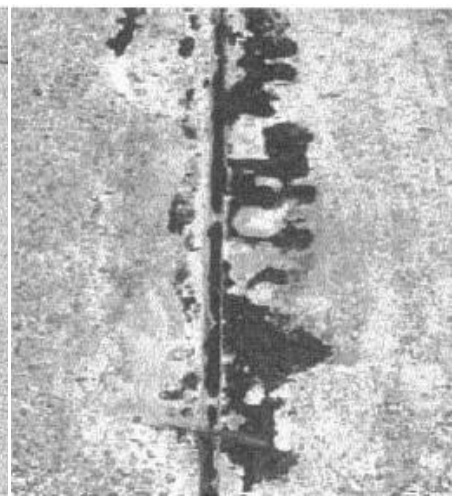


Figura 64: Daño en Sello de junta de severidad alta. [6]

### *Parches menores o iguales que 0,5 m<sup>2</sup>*

Un parche es un área donde el pavimento original ha sido removido y reemplazado por un material de relleno. Para la evaluación de su condición, los parches se dividen en dos tipos: pequeños (menores que 0.5 m<sup>2</sup>) y grandes (mayores o iguales que 0.5 m<sup>2</sup>). Aquí se describen los parches pequeños.

Sus niveles de severidad y opciones de reparación son:

- Bajo (L): El parche está en buen estado de funcionamiento, pudiendo o no presentar algún signo de deterioro menor. No reparar.

- Medio (M): El parche se ha deteriorado y/o con un moderado astillamiento o fragmentación de los bordes. El material del parche no puede removerse fácilmente (mínimo de F.O.D. potencial). Reemplazar el parche.
- Alto (H): El parche se ha deteriorado ya sea por astillamiento de sus bordes o por agrietamiento dentro de él. Su estado requiere el reemplazo. Reemplazar el parche.



Figura 65: Bacheos menores de severidad baja. [6]



Figura 66: Bacheos menores de severidad media. [6]

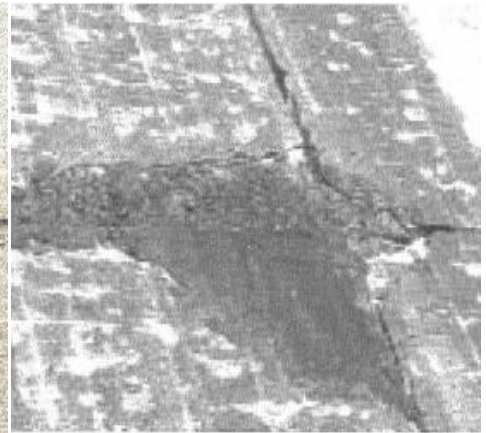


Figura 67: Bacheos menores de severidad alta. [6]

### *Parches mayores que 0,5 m<sup>2</sup>*

Un parche es un área donde el pavimento original ha sido removido y reemplazado por un material de relleno. El parche es de un área mayor que 0.5 m<sup>2</sup>. Se incluyen los cortes ejecutados para pasar ductos.

Sus niveles de severidad y opciones de reparación son:

- Bajo (L): El parche está en buen estado de funcionamiento, pudiendo o no presentar algún signo de deterioro menor. No reparar.
- Medio (M): El parche se ha deteriorado y/o se ha astillado, o fragmentado, en los bordes. El material del parche sólo puede removerse con mucho esfuerzo y es causante de F.O.D. potencial. Sellar grietas; Reparar el área deteriorada; Reemplazar el parche.
- Alto (H): El parche se encuentra tan deteriorado que causa una aspereza considerable y/o alto grado de F.O.D. potencial. Su estado requiere el reemplazo. Reemplazar el parche; Reemplazar la losa.

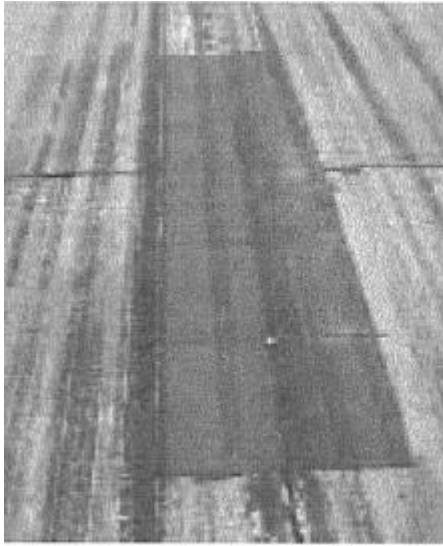


Figura 68: Bacheos mayores de severidad baja. [6]



Figura 69: Bacheos mayores de severidad media. [6]



Figura 70: Bacheos mayores de severidad alta. [6]

### *Pérdidas Repentinias (Popouts)*

Son pequeñas partes del pavimento que se desprenden de la superficie del pavimento, debido al efecto hielo-deshielo en combinación con agregados expansivos. Sus dimensiones normalmente se presentan en un rango desde 2,5 a 10,0 cm de diámetro y desde 1 a 5 cm de profundidad.

No se definen grados de severidad. Sin embargo, los agujeros deben presentarse en forma masiva para ser considerados deterioro. Por ejemplo, la densidad promedio debe exceder aproximadamente 3 agujeros por m<sup>2</sup> de la losa. No es necesario reparar.

### *Bombeo*

El bombeo es la expulsión de material arrastrado por el agua, a través de las juntas o grietas causadas por la deflexión de la losa bajo la acción de cargas pesadas. Cuando el agua es expulsada, ésta transporta partículas de las capas inferiores, produciendo una pérdida de soporte progresiva del pavimento. La superficie manchada o la presencia de muestras de material de la base o de la subbase cerca de las juntas, son evidencias del bombeo. El bombeo cerca de las juntas es señal de mala calidad del sello y de pérdida de soporte, defectos que pueden llevar al agrietamiento de la losa por cargas repetidas.

No se definen grados de severidad. Es suficiente con indicar que existe bombeo. Sus opciones de reparación son: Sellar grietas y juntas; Sellar la base.



Figura 71: Bombeo. [6]

### *Escamaduras, Grietas Tipo Mapeo y Cuarteaduras*

Las grietas tipo mapeo o cuarteaduras determinan una red de grietas finas o fisuras, que se extienden solamente por la parte superior de la superficie del hormigón. Este tipo de grietas tienden a interceptarse en ángulos de  $120^\circ$ . Generalmente son causadas por excesivo manipuleo (en la terminación) del hormigón y pueden conducir a la formación de escamaduras en la superficie de la losa. Éstas son saltaduras superficiales, que pueden alcanzar profundidades aproximadas entre 6 a 13 mm. Las escamaduras también pueden ser causadas por aplicaciones de sales anticongelantes, ciclos de hielo-deshielo, malos agregados o mala construcción. Otra fuente reconocida de deterioro, es la reacción entre los álcalis ( $\text{Na}_2\text{O}$  y  $\text{K}_2\text{O}$ ), presentes en algunos cementos, y ciertos minerales de algunos agregados. Los productos formados por esta reacción química son expansivos y producen la rotura del hormigón. Este deterioro, normalmente, se presenta por toda la losa y no sólo en las juntas y grietas longitudinales o transversales, donde generalmente se presentan las Grietas tipo D.

Sus niveles de severidad y opciones de reparación son:

- Bajo (L): Se presentan grietas tipo mapeo y cuarteaduras en la mayor parte de la losa. La superficie de la losa está en buenas condiciones y sin escamaduras. No reparar.
- Medio (M): Aproximadamente un 5%, o menos, de la superficie de la losa presenta escamadura, causando algo de F.O.D. potencial. Parchar a profundidad parcial; Reemplazar la losa.
- Alto (H): La losa está severamente escamada, causando un alto grado de F.O.D. potencial. Generalmente está afectado más del 5% de la superficie de la losa. Reemplazar la losa.

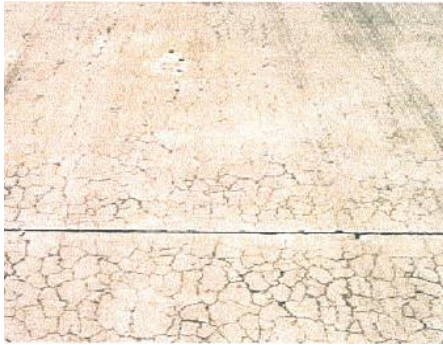


Figura 72: Grietas de Mapeo de severidad baja. [6]



Figura 73: Grietas de Mapeo de severidad media. [6]



Figura 74: Grietas de Mapeo de severidad alta. [6]

### Escalonamiento

El escalonamiento (o asentamiento) es una diferencia de nivel en la junta o grieta, causada por solevantamiento o consolidación.

Sus grados de severidad y opciones de reparación se definen por la diferencia de nivel medida entre losas, en la junta o grieta, el descenso en la calidad del rodado y la disminución en seguridad, a medida que la severidad del deterioro crece.

Tabla 22: Niveles de Severidad para Escalonamiento. [6]

#### DIFERENCIAS DE NIVEL

	Pistas y Calles de Rodaje	Plataformas	Opciones de reparación
BAJO (L)	Menor que 6 mm	Entre 3 y 13 mm	No reparar
MEDIO (M)	Entre 6 y 13 mm	Entre 13 y 25 mm	Pulir la superficie de la losa
ALTO (H)	Mayor que 13 mm	Mayor que 25 mm	Pulir la superficie de la losa; Reemplazar la losa

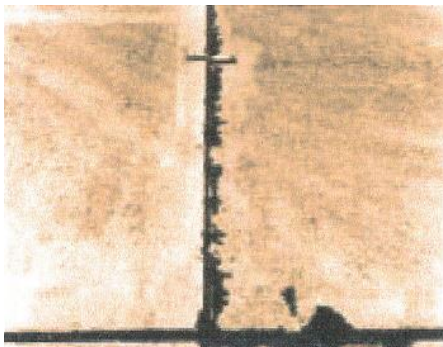


Figura 75: Escalonamiento de severidad baja. [6]



Figura 76: Escalonamiento de severidad media. [6]

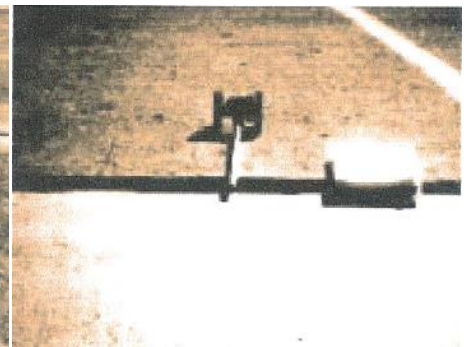


Figura 77: Escalonamiento de severidad alta. [6]

## Grietas de Bloque

Las grietas interconectadas son aquellas que rompen la losa en cuatro o más partes, debido a sobrecargas y/o un soporte inadecuado. Este deterioro se presenta en su mayor nivel de severidad, como se explica más abajo, cuando las losas se han destrozado.

Si los trozos o grietas están contenidos dentro de una grieta de esquina, entonces el deterioro a registrarse será una Grieta de Esquina de alta severidad.

Sus niveles de severidad y opciones de reparación son:

- Bajo (L): La losa está quebrada en cuatro o cinco trozos, y la mayoría de las grietas (más del 85%) son de baja severidad. Sellar grietas.
- Medio (M): Puede ocurrir una de las siguientes situaciones:
  - 1) La losa está quebrada en cuatro o cinco trozos, en que más del 15% de las grietas son de media severidad (no hay grietas de alta severidad).
  - 2) La losa está quebrada en seis o más trozos, en que más del 85% de las grietas son de baja severidad.

Sellar grietas; Parchar a profundidad total; Reemplazar la losa.

- Alto (H): La losa está destrozada. Puede ocurrir una de las siguientes situaciones:
  - 1) La losa está quebrada en cuatro o cinco trozos, algunas o todas las grietas son de alta severidad.
  - 2) La losa está quebrada en seis o más trozos, más del 15% de las grietas son de media o alta severidad.

Parchar a profundidad total; Reemplazar la losa.



Figura 78: Grietas de bloque de severidad baja. [6]



Figura 79: Grietas de bloque de severidad media. [6]

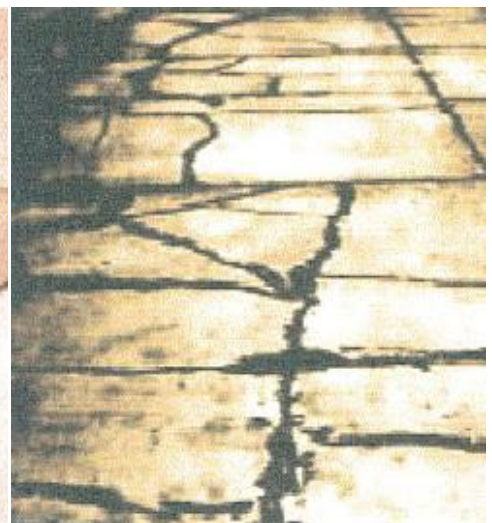


Figura 80: Grietas de bloque de severidad alta. [6]

### *Grietas de Retracción*

Las grietas de retracción son grietas finas o fisuras, que generalmente son de poca longitud y no se extienden por toda la superficie de la losa. Se forman durante la colocación y curado del hormigón y normalmente no atraviesan todo el espesor de la losa.

No se definen niveles de severidad. Basta con indicar que el deterioro existe y no es necesario repararlas.



*Figura 81: Grietas por Retracción. [6]*

### *Desprendimiento en Junturas (Longitudinales y Transversales)*

Este deterioro se presenta como la rotura de los bordes de la losa, dentro de una distancia de 60 cm respecto de la junta. El desprendimiento normalmente no se extiende verticalmente a través de la losa, sino que intercepta la junta en un ángulo. El desprendimiento se produce por tensiones excesivas en la junta o grieta, causadas por la infiltración de materiales incompresibles o por cargas de tráfico. Otra causa de este deterioro es la combinación de hormigón débil (por excesiva manipulación) y cargas de tráfico.

Sus niveles de severidad y opciones de reparación son:

- Bajo (L):
  - 1) Desprendimiento de longitud mayor que 60 cm, medidos a lo largo de la junta:
    - El desprendimiento está dividido en no más de tres trozos definidos por grietas de baja o media severidad. Hay algo, o nada, de F.O.D. potencial, o
    - La junta está levemente desgastada, con nada o poco de F.O.D. potencial.
  - 2) Desprendimiento de longitud menor que 60 cm, medidos a lo largo de la junta. El astillamiento está dividido en trozos o está fragmentado. Hay poco o nada de F.O.D. o de daño potencial a los neumáticos.

No reparar.

– Medio (M):

- 1) Desprendimiento de longitud mayor que 60 cm, medidos a lo largo de la junta:
  - El desprendimiento está dividido en más de tres trozos, definidos por grietas de baja y media severidad.
  - El desprendimiento está dividido en no más de tres trozos, con una o más grietas severas. Hay algo de F.O.D. potencial.
  - La junta presenta desgaste moderado, con algo de F.O.D. potencial.
- 2) Desprendimiento de longitud menor que 60 cm, medidos a lo largo de la junta. El astillamiento está dividido en trozos o está fragmentado, con algunas piezas sueltas o desprendidas. Hay un grado considerable de F.O.D. o peligro potencial de daño para los neumáticos.

Parchar a profundidad parcial.

– Alto (H): Desprendimiento de longitud mayor que 60 cm, medidos a lo largo de la junta:

- El astillamiento está dividido en más de tres trozos, definidos por una o más grietas de alta severidad. Hay alto grado de F.O.D. potencial.
- La junta presenta severo desgaste con alto grado de F.O.D. potencial.

Parchar a profundidad parcial.

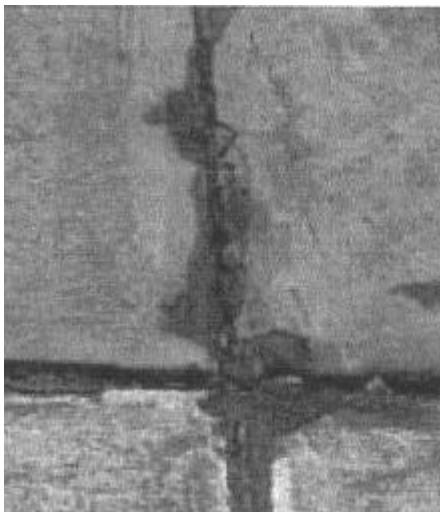


Figura 82: Desprendimiento en Junta de severidad baja. [6]



Figura 83: Desprendimiento en Junta de severidad media. [6]

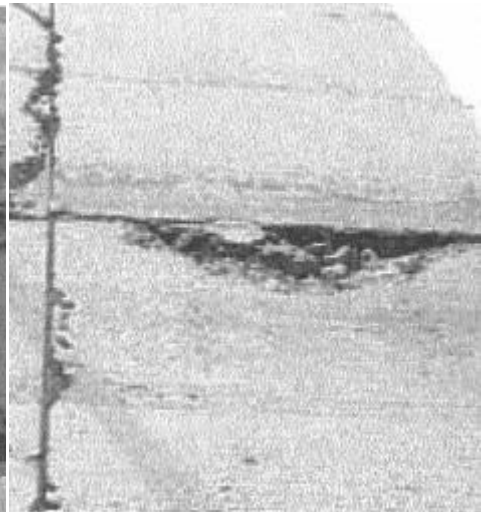


Figura 84: Desprendimiento en Junta de severidad alta. [6]



### *Desprendimiento de esquina*

El desprendimiento (o desconche) de esquina es la rotura de la losa, dentro de una distancia de aproximadamente 60 cm de su esquina. Difiere de una Grieta de Esquina en que ésta corta verticalmente todo el espesor de la losa, mientras que el desprendimiento de esquina intercepta las juntas en un ángulo.

Sus niveles de severidad y opciones de reparación son:

- Bajo (L): Se cumple una de las siguientes condiciones:
  - 1) La esquina astillada está dividida en dos o más piezas, definidas por grietas de baja severidad. Hay poco o nada de F.O.D. potencial.
  - 2) La esquina astillada está definida por una grieta de media severidad. Hay poco o nada de F.O.D. potencial.

No reparar.

- Medio (M): Se cumple una de las siguientes condiciones:
  - 1) La esquina astillada está dividida en dos o más piezas, definidas por grietas de media severidad. Hay presencia de fragmentos pequeños, en poca cantidad, que pueden estar sueltos o desprendidos.
  - 2) La esquina astillada está definida por una grieta fragmentada y severa. El deterioro puede estar acompañado por fisuras en cantidad menor.
  - 3) La esquina astillada se ha deteriorado a tal punto, que el material suelto está causando F.O.D. potencial.

Parchar a profundidad parcial.

- Alto (H): Se cumple una de las siguientes condiciones:
  - 1) La esquina astillada está dividida en dos o más piezas, definidas por grietas fragmentadas de alta severidad. Hay fragmentos sueltos o desprendidos.
  - 2) Los fragmentos de la esquina astillada se han desprendido, hasta el punto tal que existe peligro de daño a los neumáticos.
  - 3) La esquina astillada se ha deteriorado al grado tal, que el material suelto está causando un alto grado de F.O.D. potencial.

Parchar a profundidad parcial.



*Figura 85: Desprendimiento de esquina de severidad baja. [6]*



*Figura 86: Desprendimiento de esquina de severidad media. [6]*



*Figura 87: Desprendimiento de esquina de severidad alta. [6]*



## Anexo B: Clasificación Climática de Köppen

Tabla 23: Definición de la letra principal de la clasificación climática de Köppen. Fuente: Cartografía interactiva de los climas de Chile, Universidad Católica de Chile.

Letra	Umbral Térmico	Clima	Formación de vegetación
<b>A</b>	Temperatura media mensual superior a 18°C.	Cálidos: tropical, lluvioso, sabana, monzón.	Bosque ecuatorial o selva tropical, sabana
<b>B</b>	La evaporación supera a la precipitación	Secos: áridos y semiáridos.	Desierto, estepa
<b>C</b>	La temperatura media del mes más frío es inferior a 18°C y superior a -3°C	Templados: de lluvias estacionales y lluvias todo el año.	Bosque templado y matorral
<b>D</b>	La temperatura media del mes más frío es inferior a -3°C y la del mes más cálido es superior a 10°C.	Boreales: de lluvias estacionales y lluvias todo el año.	Bosque de coníferas
<b>E</b>	En ningún mes la temperatura media supera los 10°C.	Fríos: tundra y hielo	Tundra y ausencia de vegetación por presencia de hielo

Tabla 24: Definición para la segunda letra mayúscula de la clasificación climática de Köppen. Fuente: Cartografía interactiva de los climas de Chile, Universidad Católica de Chile.

Grupo Principal	Climático	Grupo Secundario	Climático	Condición
B		BS (Steppe) Estepa o Semiárido		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Si hay lluvias en invierno, la precipitación anual, en centímetros, debe ser igual o inferior al doble del valor de la temperatura media anual.</li> <li>- Si hay lluvias en verano, la precipitación anual, en centímetros, debe ser igual o inferior al doble de la temperatura media anual más 28° C.</li> <li>- Si las lluvias son irregulares, la precipitación anual, en centímetros, debe ser igual o inferior al doble de la temperatura media anual más 14° C.</li> </ul>
		BW (Wüste) Desierto o Árido		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Si hay lluvias en invierno, la precipitación anual, en centímetros, debe ser igual o inferior a la temperatura media anual.</li> </ul>



Grupo Principal	Climático	Grupo Secundario	Climático	Condición
				<p>- Si hay lluvias en verano, la precipitación anual, en centímetros, debe ser igual o inferior a la temperatura media anual más 14° C.</p> <p>- Si las lluvias son irregulares, la precipitación anual, en centímetros, debe ser igual o inferior a la temperatura media anual más 7° C.</p>
E		ET (Tundre) Tundra		- La temperatura media del mes más cálido debe estar entre 0° C y 10° C.
		EF (Frost) Hielo		- La temperatura media del mes más cálido debe ser menor a 0° C.

Tabla 25: Definición para la segunda letra, en minúscula, de la clasificación climática de Köppen. Fuente: Cartografía interactiva de los climas de Chile, Universidad Católica de Chile.

Grupo Climático	Segunda Letra	Características Pluviométricas
A	f	La precipitación del mes más seco es mayor a 60 mm.
	m	La precipitación del mes más seco es menor a 60 mm e igual o superior a: 100 mm - (Precipitación media anual en mm/25)
	w	La precipitación del mes más seco es menor a 60 mm y también inferior a: 100 mm - (Precipitación media anual en mm/25)
BS	s	La precipitación de invierno (HS: de abril a septiembre, HN: de octubre a marzo) en centímetros igual o menor a dos veces la temperatura media anual en grados Celsius.
	w	La precipitación de verano (HS: de octubre a marzo, HN: de abril a septiembre) en centímetros es igual o menor a dos veces la temperatura media anual en grados Celsius más 14° C.
	f	La precipitación anual en centímetros es igual o menor a dos veces la temperatura media anual en grados Celsius más 7° C.
BW	s	La precipitación de invierno (HS: de abril a septiembre, HN: de octubre a marzo) en centímetros es igual o menor a la temperatura media anual en grados Celsius.
	w	La precipitación de verano (HS: de octubre a marzo, HN: de abril a septiembre) en centímetros es igual o menor a la temperatura media anual en grados Celsius más 14° C.
	f	Precipitación anual en centímetros es igual o menor a la temperatura media anual en grados Celsius más 7° C.
C	s	La precipitación del mes más seco en verano es inferior a un tercio de la del mes más lluvioso de invierno.



Grupo Climático	Segunda Letra	Características Pluviométricas
	w	La precipitación del mes más lluvioso en verano es, a lo menos, diez veces mayor que la precipitación del mes más seco de invierno.
	f	Carece de una estación seca. El monto de precipitación del mes más lluvioso está comprendido entre tres y diez veces la precipitación del mes más seco.
D	s	La precipitación del mes más seco en verano es inferior a un tercio de la del mes más lluvioso de invierno.
	w	La precipitación del mes más lluvioso en verano es, a lo menos, diez veces mayor que la precipitación del mes más seco de invierno.
	f	Carece de una estación seca. El monto de precipitación del mes más lluvioso está comprendido entre tres y diez veces la precipitación del mes más seco.
E	En este grupo climático, la segunda letra no es ni minúscula ni denota una característica pluviométrica, sino que es mayúscula y precisa un rasgo térmico.	
	T	El mes más cálido tiene una temperatura media entre 0° C y 10° C.
	F	El mes más cálido tiene una temperatura media inferior a 0° C.

Tabla 26: Definición de la tercera letra, en minúscula, de la clasificación climática de Köppen. Fuente: Cartografía interactiva de los climas de Chile, Universidad Católica de Chile.

Grupo Climático	Tercera Letra	Características Térmicas
A	g	Régimen térmico del Ganges, con máximo térmico mensual anterior al solsticio de verano del hemisferio respectivo.
	g'	Régimen térmico del Sudán, con máximo térmico mensual posterior al solsticio de verano del hemisferio respectivo.
BS	h (heiss)	La temperatura media anual es superior a 18° C.
	k (kalt)	La temperatura media anual es inferior a 18° C.
	k'	Las temperaturas medias anual y media mensual del mes más cálido es inferior a 18° C.
BW	h	La temperatura media anual es superior a 18° C.
	k	La temperatura media anual es inferior a 18° C.
	k'	Las temperaturas medias anual y media mensual del mes más cálido es inferior a 18° C.
	n (nebel)	Presencia frecuente de nieblas.
C	a	La temperatura media del mes más cálido es superior a los 22° C.
	b	La temperatura media del mes más cálido es inferior a los 22° C y, al menos, cuatro meses, con temperaturas medias que superan los 10° C.
	c	La temperatura media del mes más frío es superior a -38° C y el mes más cálido es inferior a 22° C, y menos de cuatro meses tienen una temperatura media que supera los 10° C.



Grupo Climático	Tercera Letra	Características Térmicas
	l (lauwarm)	Las temperaturas medias de todos los meses del año se encuentran entre 10° C y 22° C.
D	a	La temperatura media del mes más cálido es superior a los 22° C.
	b	La temperatura media del mes más cálido es inferior a los 22° C y, al menos, cuatro meses, con temperaturas medias que superan los 10° C.
	c	La temperatura media del mes más frío es superior a -38° C y el mes más cálido es inferior a 22° C, y menos de cuatro meses tienen una temperatura media que supera los 10° C.
	l	Las temperaturas medias de todos los meses del año se encuentran entre 10° C y 22° C.
	d	La temperatura media mensual del mes más frío es inferior a los -38° C.
E		

Tabla 27: Definición para otras letras, en minúscula, de la clasificación climática de Köppen. Fuente: Cartografía interactiva de los climas de Chile, Universidad Católica de Chile.

Letras minúsculas	Características
i	Régimen isotérmico, cuya amplitud térmica anual no sobrepasa los 5° C.
n'	Nieblas raras, pero mucha humedad del aire y falta de lluvias con una temperatura relativamente baja (verano con menos de 24° C).
n''	Nieblas raras, pero mucha humedad del aire y falta de lluvias con una temperatura en verano entre 24° C y 28° C.
n'''	Nieblas raras, pero mucha humedad del aire y falta de lluvias con una temperatura en verano sobre los 28° C.
s'	La época más seca en el verano del hemisferio correspondiente y con la temporada de lluvias retrasada hasta el otoño.
s''	La época más seca en el verano del hemisferio correspondiente y con la temporada de lluvias dividida en dos períodos, con una corta temporada de sequía intercalada.
v	La época más caliente está retrasada hasta el otoño y los valores de la temperatura son semejantes a los registrados en las Islas de Cabo Verde.
w'	La época más seca es en el invierno del hemisferio correspondiente y con la temporada de lluvias retrasada hasta el otoño.
w''	La época más seca es en el invierno del hemisferio correspondiente y con la temporada de lluvias dividida en dos períodos, con una corta temporada de sequía intercalada.
x	Máxima de las lluvias en primavera y al principio del verano.
x'	Lluvias ocasionales, pero intensas, en todas las estaciones.



## Anexo C: Método ACN - PCN

### Número de Clasificación de la Aeronave

Tabla 28: Números de Clasificación de Aeronaves (ACN's). Fuente: Aircraft Classification Numbers (ACN's).

#### NÚMEROS DE CLASIFICACIÓN DE LA AERONAVE (ACN'S)

AERONAVE	PESO MÁX/MÍN (KN)	PRESIÓN DE NEUMÁTICOS (MPA)	CBR DE LA SUBRASANTE EN PAVIMENTOS FLEXIBLES				K DE LA SUBRASANTE EN PAVIMENTOS RÍGIDOS (MPA/M)			
			ALTO A 15	MEDIO B 10	BAJO C 6	ULTRA BAJO D 3	ALTO A 150	MEDIO B 80	BAJO C 40	ULTRA BAJO D 20
A300B, B2	1353	1,16	39	44	54	69	35	43	51	58
	840		21	23	27	36	19	22	26	31
A300B4-200	1627	1,28	50	57	69	86	46	56	66	75
	1236		35	38	46	60	32	38	45	51
A300B4-200 (OPTIONAL BOGIE)	1627	1,16	47	52	64	82	41	49	59	68
	1236		33	36	42	56	28	33	40	47
A300B4-600R	1693	1,35	54	61	74	92	51	61	71	80
	1275		37	41	49	64	34	41	48	55
A300B4-600R (OPTIONAL BOGIE)	1693	1,21	50	56	69	88	44	54	64	74
	1275		35	38	45	60	30	36	43	50
A300C4	1627	1,24	48	55	67	85	44	53	63	72
	1216		33	36	43	57	30	35	42	48
A310-200, 200C	1509	1,46	45	50	61	77	43	51	59	67
	800		20	21	24	32	19	21	25	29
A310-300	1480	1,19	44	50	61	77	40	48	57	65
	1108		30	33	39	52	27	32	38	44
A310-300	1549	1,48	48	54	65	82	46	55	64	72
	1118		31	34	40	53	30	35	41	47
A310-300	1617	1,29	50	57	69	86	47	56	66	75
	1118		31	34	40	53	28	33	39	45
A310-322 SR, BB	1500	1,45	44	49	60	77	42	50	59	67
	1064		29	31	36	48	27	31	37	42
A310-324	1540	1,24	44	49	60	77	41	50	59	67
	800		19	20	23	31	18	20	24	28



NÚMEROS DE CLASIFICACIÓN DE LA AERONAVE (ACN'S)

AERONAVE	CBR DE LA SUBRASANTE EN PAVIMENTOS FLEXIBLES						K DE LA SUBRASANTE EN PAVIMENTOS RÍGIDOS (MPA/M)			
	PESO MÁX/MÍN (KN)	PRESIÓN DE NEUMÁTICOS (MPA)	ALTO A 15	MEDIO B 10	BAJO C 6	ULTRA BAJO D 3	ALTO A 150	MEDIO B 80	BAJO C 40	ULTRA BAJO D 20
A310-325	1608	1,38	48	54	66	84	46	55	64	73
	1100		30	32	38	50	27	32	38	44
A318-100	607	0,89	29	31	35	41	31	34	36	38
	382		17	18	20	23	18	19	21	22
A319-100	632	0,89	30	32	36	42	31	34	37	39
	382		17	18	19	23	17	19	20	22
A319-100	690	1,07	35	36	40	46	37	40	42	45
	382		18	18	20	23	18	20	21	23
A319-100	744	1,38	39	40	45	50	44	46	49	51
	382		18	18	20	23	20	21	22	24
A320-100	667	1,21	35	36	40	46	38	41	43	45
	390		19	19	21	24	30	22	23	25
A320-200	725	1,03	37	39	44	50	40	43	45	48
	402		19	19	21	25	20	21	23	24
A320-200	744	1,14	39	40	45	51	42	45	48	50
	422		20	21	22	26	22	23	25	26
A320-200	759	1,44	41	42	47	53	46	49	51	53
	441		22	22	24	28	24	26	27	29
A320-200 (OPTIONAL BOGIE)	725	1,22	20	22	26	35	19	23	27	31
	402		10	10	11	15	9	10	12	14
A320-212 (OPTIONAL 4-WHEEL BOGIE)	764	1,22	21	23	28	38	21	24	29	33
	490		12	13	15	20	11	13	16	18
A321-100	769	1,28	42	44	49	55	47	50	52	54
	461		23	24	26	30	26	27	29	30
A321-100	818	1,36	45	48	53	59	51	54	57	59
	461		23	24	26	30	26	28	29	31
A321-200	877	1,46	49	52	58	63	56	59	62	64
	461		23	24	26	30	26	28	29	31
A330-200	2137	1,34	57	62	72	98	48	56	66	78
	1650		42	44	50	67	37	40	47	55



NÚMEROS DE CLASIFICACIÓN DE LA AERONAVE (ACN'S)

AERONAVE	CBR DE LA SUBRASANTE EN PAVIMENTOS FLEXIBLES						K DE LA SUBRASANTE EN PAVIMENTOS RÍGIDOS (MPA/M)			
	PESO MÁX/MÍN (KN)	PRESIÓN DE NEUMÁTICOS (MPA)	ALTO A 15	MEDIO B 10	BAJO C 6	ULTRA BAJO D 3	ALTO A 150	MEDIO B 80	BAJO C 40	ULTRA BAJO D 20
A330-200	2264	1,42	62	67	78	106	53	61	73	85
	1650		42	45	50	67	37	41	48	55
A330-300	2088	1,31	55	60	70	94	46	54	64	75
	1638		41	44	50	66	36	39	46	54
A330-300	2137	1,33	57	61	71	96	47	55	65	77
	1657		41	44	50	66	37	40	46	54
A330-300	2264	1,42	62	68	79	107	54	62	74	86
	1697		44	47	53	70	39	43	50	58
A340-200	2559	1,32	56	61	71	96	47	55	65	76
	1657		33	35	39	50	31	32	36	42
A340-200	2706	1,42	62	67	78	106	53	62	73	85
	1697		35	37	41	53	33	34	39	45
A340-300	2559	1,32	56	61	70	96	47	54	65	76
	1706		34	36	40	52	32	33	38	44
A340-300	2706	1,42	62	68	79	107	54	62	74	86
	1765		37	39	44	57	34	36	42	48
A340-500, 600	3590	1,42	70	76	90	121	60	70	83	97
	1750		29	31	34	42	29	28	32	37
A380-800 (6 WHEEL MAIN GEAR)	5514	1,47	71	79	99	136	53	61	76	94
	2758		29	31	35	48	25	26	29	34
A380-800 (6 WHEEL MAIN GEAR)	5514	1,47	62	68	80	108	55	64	76	88
	2758		27	28	31	39	25	26	30	35
ANTONOV AN- 24	207	0,42	6	8	11	13	8	9	11	11
	130		4	5	6	7	5	5	6	7
ANTONOV AN-124-100	3844	1,03	51	60	77	107	35	48	73	100
	2000		20	23	27	40	17	18	23	32
ANTONOV AN-225	5884	1,13	63	75	95	132	45	61	89	125
	4500		41	48	62	88	30	39	55	75
ATR 42 (AEROSPATIALE)	182	0,72	9	10	11	13	10	11	12	12
	110		5	5	6	7	6	6	7	7



**NÚMEROS DE CLASIFICACIÓN DE LA AERONAVE (ACN'S)**

AERONAVE	CBR DE LA SUBRASANTE EN PAVIMENTOS FLEXIBLES						K DE LA SUBRASANTE EN PAVIMENTOS RÍGIDOS (MPA/M)			
	PESO MÁX/MÍN (KN)	PRESIÓN DE NEUMÁTICOS (MPA)	ALTO A 15	MEDIO B 10	BAJO C 6	ULTRA BAJO D 3	ALTO A 150	MEDIO B 80	BAJO C 40	ULTRA BAJO D 20
ATR 72 (AEROSPATIALE)	211	0,79	11	12	14	15	13	14	14	15
	125		6	6	7	8	7	7	8	8
AURORA (CP-140) (P-3 ORION)	600	1,31	35	38	42	45	41	43	45	46
	275		14	14	16	18	16	17	18	19
B-52 (BOMBER)	2170	1,65	80	86	97	116	103	114	126	136
	1500		49	53	60	72	62	70	77	85
B1-B BOMBER (ROCKWELL)	2123	1,65	77	87	102	121	77	90	102	113
	1400		43	47	57	72	43	50	58	65
B707-120, 120B	1150	1,17	32	35	42	55	28	34	40	47
	700		17	18	21	27	16	17	20	24
B707-320, 320B, 320C, 420	1484	1,24	45	51	62	78	42	50	59	67
	800		20	22	25	33	19	21	25	29
B717-100, 200, 300	543	1,10	32	34	38	40	36	38	40	41
	310		16	17	19	22	18	20	21	21
B720, 720B	1045	1,01	28	30	37	49	24	29	35	41
	700		17	18	21	28	15	17	20	24
B727-100, 100C	756	1,14	41	43	49	54	45	48	51	53
	450		23	23	25	30	24	26	28	29
B727-200	770	1,15	42	44	50	55	47	50	52	54
	450		23	23	25	30	25	26	28	29
B727-200 (ADVANCED)	934	1,19	53	57	64	69	60	63	66	69
	450		23	23	26	30	25	26	28	30
B727-200F (ADVANCED)	907	1,15	52	54	61	66	57	60	63	66
	450		23	23	25	30	25	26	28	29
B737-100	445	1,02	23	23	26	30	25	26	28	29
	260		12	12	14	16	13	14	15	16
B737-200, 200C, ADVANCED	572	1,26	31	32	37	41	35	37	39	41
	300		15	15	16	19	17	18	19	20
B737-300	623	1,40	35	37	41	45	40	42	44	46



NÚMEROS DE CLASIFICACIÓN DE LA AERONAVE (ACN'S)

AERONAVE	CBR DE LA SUBRASANTE EN PAVIMENTOS FLEXIBLES						K DE LA SUBRASANTE EN PAVIMENTOS RÍGIDOS (MPA/M)			
	PESO MÁX/MÍN (KN)	PRESIÓN DE NEUMÁTICOS (MPA)	ALTO A 15	MEDIO B 10	BAJO C 6	ULTRA BAJO D 3	ALTO A 150	MEDIO B 80	BAJO C 40	ULTRA BAJO D 20
B737-400	325		16	17	18	21	19	20	21	22
	670	1,28	38	40	45	49	43	45	47	49
B737-500	350		18	18	20	23	20	21	22	23
	596	1,34	33	35	39	43	38	40	42	43
B737-600	320		16	16	18	21	18	19	20	21
	645	1,30	35	36	40	45	39	41	44	45
B737-700	357		18	18	19	22	20	21	22	23
	690	1,39	38	40	44	49	43	46	48	50
B737-800	370		18	19	20	23	21	22	23	24
	777	1,47	44	46	51	56	51	53	56	57
B737-900	406		21	21	23	26	24	25	26	27
	777	1,47	44	46	51	56	51	53	56	57
B747-100, 100B, 100SF	420		21	22	24	28	24	26	27	28
	3350	1,55	49	54	65	86	46	54	64	73
B747-100SR	1700		21	22	25	32	20	22	25	29
	2690	1,04	36	38	46	64	29	35	43	50
B747-200B, 200C, 200F, 200M	1600		19	20	22	29	16	18	21	25
	3720	1,38	55	62	76	98	51	61	72	82
B747-300, 300M, 300SR	1750		22	23	26	34	20	22	26	30
	3720	1,31	55	62	76	98	50	60	71	82
B747-400, 400F, 400M	1760		22	23	26	34	19	22	25	30
	3905	1,38	59	66	82	105	54	65	77	88
B747-400D (DOMESTIC)	1800		23	24	27	35	20	23	27	31
	2729	1,04	36	39	47	65	30	36	43	51
B747-SP	1782		22	23	26	34	18	20	24	29
	3127	1,26	45	50	61	81	40	48	58	67
B757-200 SERIES	1500		18	19	21	28	16	18	21	25
	1134	1,24	34	38	47	60	32	39	45	52
B757-300	570		14	15	17	23	13	15	18	20
	1200	1,24	36	41	51	64	35	42	49	56



NÚMEROS DE CLASIFICACIÓN DE LA AERONAVE (ACN'S)

AERONAVE	CBR DE LA SUBRASANTE EN PAVIMENTOS FLEXIBLES						K DE LA SUBRASANTE EN PAVIMENTOS RÍGIDOS (MPA/M)			
	PESO MÁX/MÍN (KN)	PRESIÓN DE NEUMÁTICOS (MPA)	ALTO A 15	MEDIO B 10	BAJO C 6	ULTRA BAJO D 3	ALTO A 150	MEDIO B 80	BAJO C 40	ULTRA BAJO D 20
B767-200	640		16	17	20	27	15	17	21	24
	1410	1,31	39	42	50	68	34	41	48	56
B767-200 ER	800		19	20	23	29	18	19	22	26
	1726	1,31	50	56	68	90	45	54	64	74
B767-300	830		20	21	24	31	18	20	24	27
	1566	1,38	44	49	59	79	40	48	57	65
B767-300 ER	860		21	22	25	33	19	22	25	29
	1784	1,38	53	59	72	94	48	57	68	78
B777-200	890		22	23	26	35	20	23	26	31
	2433	1,38	51	58	71	99	40	50	65	81
B777-200 ER	1400		25	27	31	43	23	23	28	35
	2822	1,38	63	71	90	121	53	69	89	108
B777-200 X	1425		25	27	32	44	23	25	31	39
	3278	1,38	78	90	114	148	61	80	104	126
B777-300	1600		29	32	38	53	27	27	34	43
	2945	1,48	68	76	97	129	54	69	89	109
B777-300 X	1600		30	32	38	53	27	28	35	43
	3190	1,48	76	86	110	143	61	79	101	122
BAC-111 SERIES 400	1600		30	32	38	53	27	28	35	43
	390	0,97	23	24	27	29	26	27	28	29
BAC-111 SERIES 475	220		11	12	13	15	13	14	14	15
	440	0,57	23	28	29	32	26	28	29	31
BAC-111 SERIES 500	230		9	11	13	16	11	13	14	14
	467	1,10	29	31	33	35	33	34	35	36
BAE-146-100	250		13	14	16	18	15	16	17	18
	376	0,84	18	20	23	26	21	22	24	25
BAE-146-200	230		10	11	12	15	11	12	13	14
	416	0,97	22	23	26	29	24	26	27	29
BAE-146-300	235		11	12	13	15	12	13	14	15
	436	1,10	24	25	28	31	27	28	30	31
BAE-ATP	245		12	12	14	16	13	14	15	16
	232	0,85	12	13	14	16	13	14	15	16



NÚMEROS DE CLASIFICACIÓN DE LA AERONAVE (ACN'S)

AERONAVE	CBR DE LA SUBRASANTE EN PAVIMENTOS FLEXIBLES						K DE LA SUBRASANTE EN PAVIMENTOS RÍGIDOS (MPA/M)			
	PESO MÁX/MÍN (KN)	PRESIÓN DE NEUMÁTICOS (MPA)	ALTO A 15	MEDIO B 10	BAJO C 6	ULTRA BAJO D 3	ALTO A 150	MEDIO B 80	BAJO C 40	ULTRA BAJO D 20
	140		6	7	8	9	7	8	8	9
BEECH 1900C, 1900D	76	0,67	3	4	4	5	4	5	5	5
	56		2	3	3	4	3	3	3	4
BEECH 2000 STARSHIP	65	0,54	2	3	4	4	3	4	4	4
	56		2	2	3	4	3	3	3	3
BEECH 35, 36 SERIES (BONANZA)	16	0,28	----	----	----	----	----	----	----	----
	10		----	----	----	----	----	----	----	----
BEECH 55, 56, 58 SERIES (BARON)	25	0,39	----	----	----	----	----	----	----	----
	16		----	----	----	----	----	----	----	----
BEECH JET 400, 400A	73	0,86	6	7	7	7	6	6	6	7
	56		5	5	5	5	5	5	5	5
BEECH KING AIR 100, 200 SERIES	56	0,73	2	3	3	4	3	3	4	4
	56		2	3	3	4	3	3	4	4
BEECH KING AIR 300, 300C, 350, 350C	67	0,73	3	3	4	4	4	4	4	4
	56		2	3	3	4	3	3	3	4
BEECH KING AIR 90 SERIES	49	0,38	----	----	----	----	----	----	----	----
	27		----	----	----	----	----	----	----	----
BEECH QUEEN AIR 65, 70, 80 SERIES	40	0,33	----	----	----	----	----	----	----	----
	25		----	----	----	----	----	----	----	----
BOMBARDIER BD-700 (GLOBAL EXPRESS)	432	1,21	26	28	30	32	30	31	32	33
	220		11	12	13	15	13	14	15	15
C-141B STARLIFTER (LOCKHEED)	1553	1,31	52	60	73	88	51	61	70	78
	600		15	16	18	24	14	16	19	22
C-17A (GLOBEMASTER III)	2602	0,95	54	61	73	94	54	49	57	71
	2000		38	42	50	65	41	38	40	48



NÚMEROS DE CLASIFICACIÓN DE LA AERONAVE (ACN'S)

AERONAVE	CBR DE LA SUBRASANTE EN PAVIMENTOS FLEXIBLES						K DE LA SUBRASANTE EN PAVIMENTOS RÍGIDOS (MPA/M)			
	PESO MÁX/MÍN (KN)	PRESIÓN DE NEUMÁTICOS (MPA)	ALTO A 15	MEDIO B 10	BAJO C 6	ULTRA BAJO D 3	ALTO A 150	MEDIO B 80	BAJO C 40	ULTRA BAJO D 20
C-5A GALAXY (LOCKHEED)	3421	0,73	27	30	35	46	25	28	33	39
	1500		10	11	12	15	10	11	12	13
C123K PROVIDER (FAIRCHILD/REPUBLIC)	267	0,69	20	22	24	25	21	21	22	22
	180		13	15	16	17	14	14	15	15
CANADAIR CL-215, 415	196	0,55	12	15	17	18	14	14	15	15
	130		8	10	11	12	9	10	10	10
CANADAIR CL-41A (CT-114 TUTOR)	49	0,37	---	---	---	---	---	---	---	---
	24		---	---	---	---	---	---	---	---
CANADAIR REGIONAL JET - 100, 200 SRS	236	1,12	13	14	16	17	16	16	17	18
	135		7	7	8	9	8	9	9	9
CANADAIR REGIONAL JET - 700 SERIES	335	1,24	18	19	21	24	21	22	23	24
	195		10	10	11	13	11	12	12	13
CANADAIR REGIONAL JET - 900, ER SRS	367	1,24	20	21	24	26	23	25	26	27
	215		11	11	12	14	12	13	14	14
CESSNA 114B (COMMANDER)	15	0,35	---	---	---	---	---	---	---	---
	10		---	---	---	---	---	---	---	---
CESSNA 152	8	0,20	---	---	---	---	---	---	---	---
	5		---	---	---	---	---	---	---	---
CESSNA 172 (SKYHAWK)	11	0,19	---	---	---	---	---	---	---	---
	7		---	---	---	---	---	---	---	---
CESSNA 180 (SKYWAGON)	13	0,21	---	---	---	---	---	---	---	---
	8		---	---	---	---	---	---	---	---
CESSNA 182 (SKYLANE)	14	0,25	---	---	---	---	---	---	---	---
	9		---	---	---	---	---	---	---	---



NÚMEROS DE CLASIFICACIÓN DE LA AERONAVE (ACN'S)

AERONAVE	CBR DE LA SUBRASANTE EN PAVIMENTOS FLEXIBLES						K DE LA SUBRASANTE EN PAVIMENTOS RÍGIDOS (MPA/M)			
	PESO MÁX/MÍN (KN)	PRESIÓN DE NEUMÁTICOS (MPA)	ALTO A 15	MEDIO B 10	BAJO C 6	ULTRA BAJO D 3	ALTO A 150	MEDIO B 80	BAJO C 40	ULTRA BAJO D 20
CESSNA 185 (SKYWAGON)	15	0,25	---	---	---	---	---	---	---	---
	8		---	---	---	---	---	---	---	---
CESSNA 208 (CARAVAN)	36	0,60	---	---	---	---	---	---	---	---
	18		---	---	---	---	---	---	---	---
CESSNA 210 (CENTURION)	18	0,38	---	---	---	---	---	---	---	---
	11		---	---	---	---	---	---	---	---
CESSNA 310	25	0,42	---	---	---	---	---	---	---	---
	16		---	---	---	---	---	---	---	---
CESSNA 337 (SKYMASTER)	21	0,38	---	---	---	---	---	---	---	---
	14		---	---	---	---	---	---	---	---
CESSNA 401	28	0,45	---	---	---	---	---	---	---	---
	20		---	---	---	---	---	---	---	---
CESSNA 402C, 414A (CHANCELLOR)	31	0,48	---	---	---	---	---	---	---	---
	19		---	---	---	---	---	---	---	---
CESSNA 421 (GOLDEN EAGLE)	34	0,55	---	---	---	---	---	---	---	---
	22		---	---	---	---	---	---	---	---
CESSNA 441 (CONQUEST II)	44	0,66	---	---	---	---	---	---	---	---
	26		---	---	---	---	---	---	---	---
CESSNA 501 (CITATION I - EAGLE)	56	0,69	4	5	5	5	5	5	5	5
	56		4	5	5	5	5	5	5	5
CESSNA 525 (CITATION JET)	47	0,68	---	---	---	---	---	---	---	---
	29		---	---	---	---	---	---	---	---
CESSNA 550 (CITATION II)	64	0,69	5	5	6	6	5	5	5	5
	56		4	5	5	5	5	5	5	5
CESSNA 550 (CITATION BRAVO)	67	0,69	5	6	6	6	5	6	6	6
	56		4	5	5	5	5	5	5	5



NÚMEROS DE CLASIFICACIÓN DE LA AERONAVE (ACN'S)

AERONAVE	PESO MÁX/MÍN (KN)	PRESIÓN DE NEUMÁTICOS (MPA)	CBR DE LA SUBRASANTE EN PAVIMENTOS FLEXIBLES				K DE LA SUBRASANTE EN PAVIMENTOS RÍGIDOS (MPA/M)			
			ALTO A 15	MEDIO B 10	BAJO C 6	ULTRA BAJO D 3	ALTO A 150	MEDIO B 80	BAJO C 40	ULTRA BAJO D 20
CESSNA 560 (CITATION V)	72	0,69	5	6	6	7	6	6	6	6
	56		4	5	5	5	5	5	5	5
CESSNA 561 XL (CITATION EXCEL)	90	1,05	8	8	8	9	8	8	8	8
	56		5	5	5	5	5	5	5	5
CESSNA 650 (CITATION III, VI)	99	1,02	6	6	7	7	7	7	7	7
	56		3	3	3	4	3	4	4	4
CESSNA 650 (CITATION VII)	104	1,16	6	7	7	8	7	8	8	8
	62		3	3	4	4	4	4	4	5
CESSNA 750 (CITATION X)	160	1,16	10	11	12	12	12	12	13	13
	96		5	6	6	7	6	7	7	7
CESSNA CONQUEST	45	0,59	----	----	----	----	----	----	----	----
	26		----	----	----	----	----	----	----	----
CESSNA T303 (CRUSADER)	23	0,40	----	----	----	----	----	----	----	----
	15		----	----	----	----	----	----	----	----
CF-18	249	1,38	21	20	20	20	21	21	21	21
	110		9	9	9	9	9	9	9	9
CHALLENGER CL 600, 601	192	0,90	10	11	13	14	12	13	13	14
	131		6	7	8	9	8	8	8	9
CHALLENGER CL 600, 601	192	1,50	11	12	13	14	14	14	14	15
	131		7	7	8	9	9	9	9	10
CHALLENGER CL 601-3R	201	1,42	12	12	14	14	14	15	15	15
	131		7	7	8	9	9	9	9	9
CHALLENGER CL 604	212	1,42	12	13	14	15	15	15	16	16
	140		7	8	9	10	9	10	10	10
CONCORDE	1824	1,29	65	72	81	97	60	71	81	91
	1000		28	31	37	44	27	30	35	41
CONVAIR 240	190	0,64	7	9	10	12	9	10	10	11



NÚMEROS DE CLASIFICACIÓN DE LA AERONAVE (ACN'S)

AERONAVE	PESO MÁX/MÍN (KN)	PRESIÓN DE NEUMÁTICOS (MPA)	CBR DE LA SUBRASANTE EN PAVIMENTOS FLEXIBLES				K DE LA SUBRASANTE EN PAVIMENTOS RÍGIDOS (MPA/M)			
			ALTO A 15	MEDIO B 10	BAJO C 6	ULTRA BAJO D 3	ALTO A 150	MEDIO B 80	BAJO C 40	ULTRA BAJO D 20
	125		5	5	6	7	5	6	6	7
CONVAIR 340, 440, 540	222	0,47	7	9	11	14	9	10	11	12
	140		4	5	6	8	5	6	7	7
CONVAIR 580	280	0,59	11	13	15	19	13	14	16	17
	150		5	6	7	9	6	7	8	8
CONVAIR 600	210	0,73	9	10	11	14	10	11	12	13
	140		5	6	7	8	6	7	8	8
CONVAIR 640	245	0,52	8	11	12	15	10	12	13	14
	140		4	5	6	8	5	6	7	7
CONVAIR 880	860	1,03	27	31	36	44	26	31	36	40
	400		10	10	12	16	9	11	13	14
CONVAIR 990	1135	1,28	40	46	53	64	41	47	54	60
	600		17	18	22	28	17	19	23	26
DASSAULT FALCON 10	84	0,93	5	5	6	6	6	6	6	6
	56		3	3	4	4	4	4	4	4
DASSAULT FALCON 20	128	0,92	8	9	9	10	10	10	10	10
	75		4	4	5	5	5	5	6	6
DASSAULT FALCON 50	173	0,93	9	10	12	13	11	12	12	13
	90		4	5	5	6	5	5	6	6
DASSAULT FALCON 900	202	1,30	11	12	14	15	14	14	15	15
	103		5	5	6	7	6	7	7	7
DC-10-10, 10CF, 15	2037	1,34	57	62	74	101	49	58	69	81
	1035		25	26	29	37	23	24	28	32
DC-10-20, 20CF, 30CF, 40CF	2485	1,14	60	67	81	110	49	59	72	85
	1640		36	38	44	61	30	34	41	48
DC-10-30, 30 ER, 40	2593	1,22	59	65	79	107	50	59	72	84
	1220		24	25	27	35	21	23	26	30
DC-3	147	0,31	7	7	10	12	8	8	9	9
	80		4	4	5	7	4	5	5	5



NÚMEROS DE CLASIFICACIÓN DE LA AERONAVE (ACN'S)

AERONAVE	CBR DE LA SUBRASANTE EN PAVIMENTOS FLEXIBLES						K DE LA SUBRASANTE EN PAVIMENTOS RÍGIDOS (MPA/M)			
	PESO MÁX/MÍN (KN)	PRESIÓN DE NEUMÁTICOS (MPA)	ALTO A 15	MEDIO B 10	BAJO C 6	ULTRA BAJO D 3	ALTO A 150	MEDIO B 80	BAJO C 40	ULTRA BAJO D 20
DC-4	335	0,53	12	15	17	21	14	16	17	19
	200		6	8	9	11	7	8	9	10
DC-6, 6B	480	0,73	20	23	25	30	22	24	26	28
	300		11	13	14	17	12	14	15	16
DC-7 (ALL MODELS)	640	0,89	34	36	42	46	37	40	42	44
	400		19	20	23	27	21	23	24	26
DC-8-10, 20 SERIES	1226	1,01	36	41	49	62	32	39	46	53
	600		15	15	18	23	14	15	17	20
DC-8-43, 55, 61, 71	1470	1,30	47	54	64	79	45	54	63	71
	800		21	23	27	35	20	23	27	31
DC-8-61F, 63F	1557	1,32	51	59	69	85	50	59	68	77
	1001		28	31	37	47	27	31	37	42
DC-8-62, 62F, 63, 72, 73	1593	1,35	52	59	70	87	50	59	69	77
	800		21	23	26	34	20	23	27	31
DC-9-10, 15	404	0,93	22	23	26	29	24	26	27	28
	300		15	16	18	21	17	18	19	20
DC-9-21	445	1,02	25	26	30	32	28	29	31	32
	300		15	16	18	21	17	18	20	20
DC-9-30, 32	485	1,05	27	29	33	35	31	32	34	35
	300		15	16	18	21	17	18	19	20
DC-9-41, 50, 51	543	1,17	31	33	37	40	35	37	39	40
	300		15	16	18	20	17	18	19	20
DHC1 CHIPMUNK	10	0,21	----	----	----	----	----	----	----	----
	7		----	----	----	----	----	----	----	----
DHC2 BEAVER	24	0,17	----	----	----	----	----	----	----	----
	14		----	----	----	----	----	----	----	----
DHC3 OTTER	36	0,20	----	----	----	----	----	----	----	----
	20		----	----	----	----	----	----	----	----
DHC4 CARIBOU	130	0,28	3	3	5	7	4	4	5	6
	90		2	2	3	4	2	3	3	4
DHC5 BUFFALO	187	0,41	6	8	10	12	8	9	10	11



NÚMEROS DE CLASIFICACIÓN DE LA AERONAVE (ACN'S)

AERONAVE	CBR DE LA SUBRASANTE EN PAVIMENTOS FLEXIBLES						K DE LA SUBRASANTE EN PAVIMENTOS RÍGIDOS (MPA/M)			
	PESO MÁX/MÍN (KN)	PRESIÓN DE NEUMÁTICOS (MPA)	ALTO A 15	MEDIO B 10	BAJO C 6	ULTRA BAJO D 3	ALTO A 150	MEDIO B 80	BAJO C 40	ULTRA BAJO D 20
	115		3	4	5	7	4	5	6	6
DHC6 TWIN OTTER SERIES 300	56	0,26	3	3	3	5	3	3	3	4
	56		3	3	3	5	3	3	3	4
DHC7 DASH 7	209	0,74	10	12	13	15	12	13	14	14
	120		5	6	7	8	6	7	7	8
DHC8 DASH 8	147	0,44	5	6	8	9	6	7	8	8
	90		3	3	4	5	3	4	4	5
DHC8 DASH 8 SERIES 100	154	0,90	8	8	9	11	9	10	10	11
	98		5	5	5	6	5	6	6	6
DHC8 DASH 8 SERIES 300	183	0,80	9	9	11	12	10	11	11	12
	110		5	5	6	7	5	6	6	7
DHC8 DASH 8 SERIES 400	279	0,90	15	16	18	20	17	18	19	20
	150		7	8	8	10	8	9	9	10
DHC8 DASH 8 SERIES 400	279	1,42	15	16	18	20	18	19	20	21
	150		8	8	8	10	9	9	10	10
DHS-2 CONAIR FIRECAT	116	0,62	8	10	10	11	9	9	10	10
	80		6	7	7	8	6	6	7	7
DORNIER 228 SERIES	63	0,90	5	6	6	6	6	6	6	6
	56		5	5	5	5	5	5	5	5
DORNIER 328 JET	155	1,13	8	8	10	11	10	10	11	11
	93		4	5	5	6	5	6	6	6
DORNIER 328-110 (TURBOPROP)	138	0,80	7	7	8	10	8	8	9	9
	90		4	4	5	6	5	5	5	6
DORNIER SA227, METRO MERLIN, EXPEDITER	74	0,73	3	4	4	5	4	5	5	5
	56		2	3	3	4	3	3	4	4
DOUGLAS A-26 INVADER	120	0,48	7	8	10	11	8	9	9	9



NÚMEROS DE CLASIFICACIÓN DE LA AERONAVE (ACN'S)

AERONAVE	CBR DE LA SUBRASANTE EN PAVIMENTOS FLEXIBLES						K DE LA SUBRASANTE EN PAVIMENTOS RÍGIDOS (MPA/M)			
	PESO MÁX/MÍN (KN)	PRESIÓN DE NEUMÁTICOS (MPA)	ALTO A 15	MEDIO B 10	BAJO C 6	ULTRA BAJO D 3	ALTO A 150	MEDIO B 80	BAJO C 40	ULTRA BAJO D 20
	90		5	6	7	8	6	6	7	7
DOUGLAS B-26 INVADER	156	0,48	9	11	13	14	10	11	11	12
	105		6	7	9	9	7	7	8	8
EMBRAER EMB-110 (BANDEIRANTE)	59	0,62	4	5	5	5	5	5	5	5
	56		4	5	5	5	4	4	5	5
EMBRAER EMB-120 (BRASILIA)	119	0,76	5	6	7	8	7	7	7	8
	71		3	3	4	4	4	4	4	4
EMBRAER ERJ-145	217	0,90	12	13	15	16	14	15	15	16
	110		5	6	6	7	6	7	7	7
FOKKER 100	452	0,94	25	27	31	33	28	30	32	33
	243		12	13	14	16	13	14	15	16
FOKKER 50	205	0,59	9	11	13	14	11	12	13	13
	125		5	6	7	8	6	7	7	8
FOKKER 60	226	0,62	10	13	14	16	13	14	14	15
	131		5	6	7	9	6	7	8	8
FOKKER 70	410	0,81	22	24	27	30	24	26	27	29
	225		10	11	13	15	12	13	13	14
FOKKER F27 FRIENDSHIP	205	0,57	9	11	13	14	11	12	13	13
	120		5	5	6	8	6	6	7	7
FOKKER F28 FELLOWSHIP	325	0,53	14	17	20	23	17	18	20	21
	175		6	8	9	11	8	9	9	10
GULFSTREAM II	294	1,04	17	18	20	22	20	21	21	22
	163		8	9	10	11	10	10	11	11
GULFSTREAM III	312	1,21	19	20	22	23	22	23	24	24
	170		9	9	10	12	11	11	12	12
GULFSTREAM IV	334	1,21	20	22	24	25	24	25	25	26
	189		10	11	12	13	12	13	13	14
GULFSTREAM V	405	1,37	26	28	30	31	31	32	33	33
	215		12	13	14	15	14	15	16	16



NÚMEROS DE CLASIFICACIÓN DE LA AERONAVE (ACN'S)

AERONAVE	CBR DE LA SUBRASANTE EN PAVIMENTOS FLEXIBLES						K DE LA SUBRASANTE EN PAVIMENTOS RÍGIDOS (MPA/M)			
	PESO MÁX/MÍN (KN)	PRESIÓN DE NEUMÁTICOS (MPA)	ALTO A 15	MEDIO B 10	BAJO C 6	ULTRA BAJO D 3	ALTO A 150	MEDIO B 80	BAJO C 40	ULTRA BAJO D 20
HERCULES C-130, 082, 182, 282, 382	778	0,67	29	34	37	43	33	36	39	42
	360		12	14	16	17	14	15	16	18
HERCULES L-100 (COMMERCIAL)	693	0,74	27	30	33	38	30	33	35	38
	340		12	14	15	16	14	15	16	17
HS/BAE 125 (ALL SERIES TO 600)	112	0,83	6	6	7	8	7	7	8	8
	61		3	3	3	4	3	4	4	4
HS/BAE 700	114	0,88	6	7	7	8	7	8	8	8
	62		3	3	3	4	4	4	4	4
HS/BAE 748	227	0,51	9	11	14	16	11	13	14	14
	120		4	5	6	7	5	6	6	7
ILYUSHIN IL-18	625	0,80	16	17	21	29	13	16	20	23
	350		7	8	9	12	6	7	9	11
ILYUSHIN IL-62, 62M	1648	1,65	52	58	68	83	51	59	68	77
	651		16	17	19	24	18	18	20	22
ILYUSHIN IL-76T	1677	0,64	24	27	34	45	29	33	30	34
	822		9	10	12	16	11	13	15	14
ILYUSHIN IL-76TD	1775	0,66	27	30	37	49	32	35	32	37
	920		11	12	14	19	13	15	18	16
ILYUSHIN IL-86	2054	0,88	34	36	43	61	26	31	38	46
	1089		15	16	18	23	13	14	16	19
JETSTREAM 31, 32 (BAE)	69	0,39	3	4	5	6	4	5	5	5
	56		3	3	4	5	4	4	4	4
JETSTREAM 41 (BAE)	107	0,83	5	5	6	7	6	6	7	7
	63		3	3	3	4	3	3	4	4
KC-10 (MCDONNELL DOUGLAS)	2593	1,22	59	65	79	107	50	59	72	84
	1800		38	40	46	64	32	36	43	51
KC-135 STRATOTANKER (BOEING)	1342	1,38	38	41	49	64	35	41	48	55



NÚMEROS DE CLASIFICACIÓN DE LA AERONAVE (ACN'S)

AERONAVE	PESO MÁX/MÍN (KN)	PRESIÓN DE NEUMÁTICOS (MPA)	CBR DE LA SUBRASANTE EN PAVIMENTOS FLEXIBLES				K DE LA SUBRASANTE EN PAVIMENTOS RÍGIDOS (MPA/M)			
			ALTO A 15	MEDIO B 10	BAJO C 6	ULTRA BAJO D 3	ALTO A 150	MEDIO B 80	BAJO C 40	ULTRA BAJO D 20
	800		20	21	24	31	19	21	24	28
L-1011-1 TRISTAR	1913	1,35	52	56	66	90	45	52	62	72
	1070		26	27	30	38	24	25	29	33
L-1011-100, 200 TRISTAR	2073	1,35	57	63	75	101	49	58	69	81
	1090		26	28	31	39	24	26	29	34
L-1011-250 TRISTAR	2269	1,35	64	71	86	114	56	66	79	91
	1108		27	28	31	40	25	26	30	35
L-1011-500 TRISTAR	2295	1,35	65	72	87	116	56	67	80	93
	1070		26	27	30	38	24	25	29	33
LEARJET 24F	62	0,79	3	3	4	4	4	4	4	4
	56		3	3	4	4	3	4	4	4
LEARJET 25D, 25F	69	0,79	3	4	4	5	4	5	5	5
	56		3	3	3	4	3	4	4	4
LEARJET 25G	75	0,79	4	4	5	5	5	5	5	5
	56		3	3	3	4	3	4	4	4
LEARJET 28, 29 (LONGHORN)	69	0,79	3	4	4	5	4	5	5	5
	56		3	3	3	4	3	4	4	4
LEARJET 31A, 35A, 36A	83	0,79	4	5	5	6	5	5	6	6
	56		3	3	3	4	3	3	4	4
LEARJET 45	91	0,79	5	5	6	7	6	6	6	7
	59		3	3	3	4	3	4	4	4
LEARJET 55B, 55C	97	1,24	6	6	7	7	7	7	7	8
	58		3	3	3	4	4	4	4	4
LEARJET 60	106	1,24	6	7	7	8	8	8	8	8
	62		3	3	4	4	4	4	4	5
LOCKHEED 188 ELECTRA	503	0,95	27	29	33	36	30	32	34	36
	255		12	13	14	17	13	14	15	16
MD-11	2805	1,38	67	74	90	119	58	69	83	96
	1200		24	25	27	34	22	23	26	30
MD-81	628	1,14	36	38	43	46	41	43	45	47



NÚMEROS DE CLASIFICACIÓN DE LA AERONAVE (ACN'S)

AERONAVE	CBR DE LA SUBRASANTE EN PAVIMENTOS FLEXIBLES						K DE LA SUBRASANTE EN PAVIMENTOS RÍGIDOS (MPA/M)			
	PESO MÁX/MÍN (KN)	PRESIÓN DE NEUMÁTICOS (MPA)	ALTO A 15	MEDIO B 10	BAJO C 6	ULTRA BAJO D 3	ALTO A 150	MEDIO B 80	BAJO C 40	ULTRA BAJO D 20
MD-82	350		18	19	21	24	20	21	23	24
	670	1,14	39	41	46	49	43	46	48	50
MD-83	350		18	18	20	24	20	21	22	24
	716	1,14	42	45	50	53	47	50	52	54
MD-87	355		18	19	21	24	20	22	23	24
	628	1,14	36	38	43	46	41	43	45	47
MD-88	335		17	18	20	23	19	20	22	23
	670	1,14	39	41	46	50	44	46	48	50
MD-90-30	350		18	19	21	24	20	21	23	24
	699	1,14	41	43	48	52	46	48	50	52
MD-90-30ER	392		20	21	24	27	23	24	26	27
	739	1,14	44	47	52	55	49	52	54	56
MD-90-50, 55	392		20	21	24	27	23	24	26	27
	772	1,14	46	50	54	57	52	54	57	58
MITSUBISHI MU-2 SRS	410		22	22	25	29	24	26	27	28
	52	0,48	----	----	----	----	----	----	----	----
PIPER AEROSTAR	32		----	----	----	----	----	----	----	----
	29	0,48	----	----	----	----	----	----	----	----
PIPER APACHE	20		----	----	----	----	----	----	----	----
	21	0,29	----	----	----	----	----	----	----	----
PIPER ARCHER II, III	13		----	----	----	----	----	----	----	----
	12	0,17	----	----	----	----	----	----	----	----
PIPER ARROW III, IV	7		----	----	----	----	----	----	----	----
	14	0,21	----	----	----	----	----	----	----	----
PIPER AZTEC	8		----	----	----	----	----	----	----	----
	30	0,42	----	----	----	----	----	----	----	----
PIPER CHEYENNE I, II	18		----	----	----	----	----	----	----	----
	41	0,55	----	----	----	----	----	----	----	----
	23		----	----	----	----	----	----	----	----



NÚMEROS DE CLASIFICACIÓN DE LA AERONAVE (ACN'S)

AERONAVE	CBR DE LA SUBRASANTE EN PAVIMENTOS FLEXIBLES						K DE LA SUBRASANTE EN PAVIMENTOS RÍGIDOS (MPA/M)			
	PESO MÁX/MÍN (KN)	PRESIÓN DE NEUMÁTICOS (MPA)	ALTO A 15	MEDIO B 10	BAJO C 6	ULTRA BAJO D 3	ALTO A 150	MEDIO B 80	BAJO C 40	ULTRA BAJO D 20
PIPER CHEYENNE III	50	0,69	---	---	---	---	---	---	---	---
	31		---	---	---	---	---	---	---	---
PIPER COMMANCHE	21	0,29	---	---	---	---	---	---	---	---
	13		---	---	---	---	---	---	---	---
PIPER CUB (& SUPER CUB)	8	0,13	---	---	---	---	---	---	---	---
	5		---	---	---	---	---	---	---	---
PIPER DAKOTA	14	0,17	---	---	---	---	---	---	---	---
	8		---	---	---	---	---	---	---	---
PIPER MALIBU, MIRAGE, MERIDIAN	21	0,35	---	---	---	---	---	---	---	---
	14		---	---	---	---	---	---	---	---
PIPER MOJAVE	33	0,42	---	---	---	---	---	---	---	---
	23		---	---	---	---	---	---	---	---
PIPER NAVAJO	29	0,42	---	---	---	---	---	---	---	---
	18		---	---	---	---	---	---	---	---
PIPER SARATOGA	16	0,38	---	---	---	---	---	---	---	---
	10		---	---	---	---	---	---	---	---
PIPER SARATOGA II	16	0,27	---	---	---	---	---	---	---	---
	11		---	---	---	---	---	---	---	---
PIPER SEMINOLE	17	0,25	---	---	---	---	---	---	---	---
	11		---	---	---	---	---	---	---	---
PIPER SENECA III, V	22	0,38	---	---	---	---	---	---	---	---
	14		---	---	---	---	---	---	---	---
PIPER WARRIOR II, III	11	0,17	---	---	---	---	---	---	---	---
	7		---	---	---	---	---	---	---	---
SAAB 2000	226	0,69	11	13	14	16	13	14	15	15
	136		6	7	7	9	7	8	8	9
SAAB 340 A, B	131	0,82	6	7	8	9	7	8	8	9
	81		4	4	4	5	4	5	5	5



NÚMEROS DE CLASIFICACIÓN DE LA AERONAVE (ACN'S)

AERONAVE	PESO MÁX/MÍN (KN)	PRESIÓN DE NEUMÁTICOS (MPA)	CBR DE LA SUBRASANTE EN PAVIMENTOS FLEXIBLES				K DE LA SUBRASANTE EN PAVIMENTOS RÍGIDOS (MPA/M)			
			ALTO A 15	MEDIO B 10	BAJO C 6	ULTRA BAJO D 3	ALTO A 150	MEDIO B 80	BAJO C 40	ULTRA BAJO D 20
SHORTS 330	102	0,55	6	8	9	9	7	8	8	8
	66		4	5	6	6	5	5	5	5
SHORTS 360	121	0,54	7	9	10	11	9	9	9	9
	77		5	6	7	7	6	6	6	6
SHORTS SHERPA	114	0,54	7	8	10	10	8	8	9	9
	80		5	6	7	7	6	6	6	6
SHORTS SKYVAN	67	0,28	3	3	4	6	4	4	4	4
	56		3	3	4	5	3	3	4	4
SWEARINGEN SJ30-2	60	1,07	3	3	3	4	4	4	4	4
	56		3	3	3	4	3	4	4	4
T-33 TRAINER (CT-133) (LOCKHEED)	54	0,42	----	----	----	----	----	----	----	----
	38		----	----	----	----	----	----	----	----
TRANSALL C-160	500	0,38	8	10	13	18	10	10	10	13
	285		4	5	6	8	5	6	6	6
TUPOLEV TU-134	463	0,59	10	12	15	20	9	11	14	17
	285		5	6	7	10	5	6	7	8
TUPOLEV TU-154	961	0,93	19	22	28	37	18	24	30	36
	525		9	9	11	16	7	9	12	15
TUPOLEV TU-204, 214, 224, 234	1096	1,38	31	33	40	53	29	34	40	46
	560		14	14	16	20	13	14	16	19
VC10 SERIES	1590	1,01	48	54	66	83	41	50	60	69
	785		19	21	24	31	18	19	22	26



## Factores que determinan el PCN

### Tipo de Pavimento

Tabla 29: Código de pavimento para reportar PCN. Fuente: AC 150/5335 5C, FAA.

TIPO DE PAVIMENTO	CÓDIGO DEL PAVIMENTO
FLEXIBLE	F
RÍGIDO	R

### Resistencia de la subrasante

Tabla 30: Código de categoría de resistencia de la subrasante para reportar PCN. Fuente: AC 150/5335 5C, FAA.

CÓDIGO DE CATEGORÍA DE SUBRASANTE	RESISTENCIA DE LA SUBRASANTE	PAVIMENTOS RÍGIDOS	PAVIMENTOS FLEXIBLES
A	Alta	$K > 120 \text{ MN/m}^3$ Tipo = 150 MN/m <sup>3</sup>	CBR > 13 Tipo = 15
B	Media	$60 < K < 120 \text{ MN/m}^3$ Tipo = 80 MN/m <sup>3</sup>	$8 < \text{CBR} < 13$ Tipo = 10
C	Baja	$25 < K < 60 \text{ MN/m}^3$ Tipo = 40 MN/m <sup>3</sup>	$4 < \text{CBR} < 8$ Tipo = 6
D	Ultra Baja	$K < 25 \text{ MN/m}^3$ Tipo = 20 MN/m <sup>3</sup>	CBR < 4 Tipo = 3

### Presión máxima en los neumáticos

Tabla 31: Código de presión máxima de neumáticos para reportar PCN. Fuente: AC 150/5335 5C, FAA.

CÓDIGO	CATEGORÍA	PRESIÓN
W	Alta	Sin límite de presión
X	Media	Presión limitada a 1,75 Mpa
Y	Baja	Presión limitada a 1,25 Mpa
Z	Muy Baja	Presión limitada a 0,5 Mpa

### Método de Evaluación

Tabla 32: Código de método de evaluación para reportar PCN. Fuente: AC 150/5335 5C, FAA.

CÓDIGO	MÉTODO
T	Evaluación Técnica
U	Experiencia