

Claro, D., González, A., González, M., Acuña, D., Toro, R., Ortiz, M., y Prieto, A.J. (2024). Innovación en gestión de infraestructura: Estudio de patrones de degradación de pavimentos asfálticos en aeródromos de Chile. En Herrera, R.F., Salazar, L.A., (Editores), *Actas del IX Congreso Iberoamericano de Gestión y tecnología de la Construcción (IX ELAGEC2024)*.

# INNOVACIÓN EN GESTIÓN DE INFRAESTRUCTURA: ESTUDIO DE PATRONES DE DEGRADACIÓN DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS EN AERÓDROMOS DE CHILE

**Diego Claro**<sup>1</sup> - [drclaro@uc.cl](mailto:drclaro@uc.cl)

**Álvaro González**<sup>1</sup> - [algonzav@uc.cl](mailto:algonzav@uc.cl)

**Marcelo González**<sup>1</sup> - [magonza7@uc.cl](mailto:magonza7@uc.cl)

**David Acuña**<sup>2</sup> - [david.acuna@uc.cl](mailto:david.acuna@uc.cl)

**Rodrigo Toro**<sup>3</sup> - [rntoro@uc.cl](mailto:rntoro@uc.cl)

**Mauricio Ortiz**<sup>4</sup> - [jose.ortiz.o@mop.gov.cl](mailto:jose.ortiz.o@mop.gov.cl)

**Andrés J. Prieto**<sup>1</sup> - [andres.prieto@uc.cl](mailto:andres.prieto@uc.cl)

<sup>1</sup>Departamento de Ingeniería y Gestión de la Construcción, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.

<sup>2</sup>Departamento de Ingeniería Mecánica y Metalúrgica, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.

<sup>3</sup> Departamento de Ciencia de la Computación, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.

<sup>4</sup> Dirección de Aeropuertos, Ministerio de Obras Públicas, Gobierno de Chile, Santiago, Chile.

## RESUMEN

Las redes de aeropuertos son de los sistemas más importantes en las sociedades industrializadas modernas, constituyendo una significativa inversión de fondos públicos. En este sentido, conocer los patrones de degradación de la infraestructura aeroportuaria es una situación esencial para establecer futuras intervenciones a corto-medio plazo. Este estudio considera un set de informes de auscultación de pavimentos proporcionados por la Dirección de Aeropuertos del Ministerio de Obras Públicas de Chile. Entre los datos recopilados de los cinco aeródromos destacan: (i) área afectada; (ii) tipo de deterioro; (iii) severidad de deterioro; (iv) año de construcción; (v) principal uso del aeródromo. A partir de los datos obtenidos, se pudo realizar una evaluación del estado de degradación de los pavimentos de asfalto en términos de (a) ocurrencias de degradación más frecuentes, (b) influencia de la ubicación en el sistema del aeródromo, (c) posibles recomendaciones de

mantenimiento y rehabilitación. Los resultados presentados en este trabajo muestran que el estado general de los pavimentos de asfalto es bueno, solamente un aeródromo presenta deterioro generalizados. Este artículo también muestra que, en la mayoría de las unidades de muestra analizadas, los tres principales deterioros detectados son: (i) desgaste por envejecimiento, (ii) fisura de bloque, y (iii) bacheos.

## **PALABRAS CLAVE**

Patrones de degradación; pavimentos; asfalto; aeródromos; Chile

## **INTRODUCCIÓN**

En el contexto del Plan Nacional de Infraestructura para la Movilidad 2020-2050, el Ministerio de Obras Públicas (MOP) de Chile junto con la Dirección de Aeropuertos (DAP) se han comprometido en desarrollar y avanzar en materias de infraestructura pública y en particular la gestión aeroportuaria, lo cual permita contribuir a mejorar la calidad de vida para todos los chilenos. Lo anterior se ve reflejado en una inversión total de 3.969 MMUS\$ lo que se traduce en un total de 1.072.483 m<sup>2</sup> para proyectos aeroportuarios contemplando construcción, ampliación y mejoramiento de un total de 19 aeropuertos y aeródromos (Ministerio de Obras Públicas, 2020). Por otro lado, la red está compuesta por 333 aeropuertos, donde 204 son privados, 11 municipales, 12 militares y 106 fiscales.

Además, el transporte aéreo en Chile ha vivido un alza considerable donde el número total de viajes-año por persona del país corresponde a menos de 1,1 viajes durante 2017, escenario que debiese cambiar para 2050 ya que se estima que el total de viajes-año por persona será cercano a 2,6, cifras que asemejan al escenario de 2024. Además, el total de entradas y salidas de pasajeros es de 32 millones en 2017, cifra que al proyectarse alcanza 109 millones en 2050. Es relevante recalcar que el número de pasajeros aéreos tendrá un aumento de 3,4 veces entre el 2017 hasta el 2050. Lo anterior conlleva a la necesidad de respuesta desde la infraestructura para convertirse en un medio fundamental para el desarrollo y conectividad del país, y al mismo tiempo como elemento generador de condiciones de equidad (Tobar Montecinos, 2020). Ya que ha tenido un rol principal para enfrentar catástrofes y emergencias en cuanto a operaciones de rescate y evacuación a población por desastres naturales. Por todo ello, a través del Balance de Gestión Integral de 2022 se dio a conocer que el Plan de Modernización de la Red Aeroportuaria contempla una inversión de 618 MUS\$ distribuida en 4 licitaciones y 7 proyectos. Dicha inversión representa al 6,7% del Presupuesto de la Nación.

Actualmente, la DAP continua con el Plan 2050, donde su principal foco son obras que pueden aumentar su capacidad de movilidad aérea, revisión y definición de proyectos de infraestructura de emergencia, plan de conservaciones regulares y mantención de la vida útil aeroportuaria (Plan Nacional de Infraestructura y Movilidad 2020-2050, 2020). Adicionalmente, las redes de aeropuerto pertenecen a una de las actividades económicas más importantes en sociedades industrializadas modernas que contribuyen de manera significativa en la inversión de fondos públicos. Esta inversión requiere ser sustentada a partir de grandes presupuestos y que mantengan dichas redes, infraestructura vertical y horizontal, en aptas condiciones de uso y operación. La gestión involucrada se ve afectada por restricciones de recursos sumado al continuo deterioro propio del paso del tiempo en

las estructuras de pavimento de asfalto y sumado a la exposición por factores ambientales. Esto lleva a la búsqueda de nuevos e innovadores procedimientos de análisis y diagnóstico sobre el estado de la infraestructura, sumado a una necesidad de mejora en las estrategias de mantenimiento y rehabilitación de la infraestructura involucrada.

Actualmente, los sistemas estandarizados conocidos como *Airports Pavements Management System* (APMS), basados en el indicador *Pavement Condition Index* (PCI) se ven involucrados con estrategias y metodologías de auscultación sujetas a subjetividad y posibles errores humanos. La investigación presentada en este documento tiene como objetivo obtener una visión general del estado de degradación de los pavimentos de asfalto en cinco aeródromos de Chile evaluando el efecto y la posible correlación entre factores específicos de deterioro, y reconociendo procesos patológicos similares. Con este propósito, se desarrolló una base de datos de deterioros en pavimentos para un conjunto de cinco aeródromos. La recopilación de datos sobre los elementos de construcción y los principales deterioros identificados en la infraestructura permitió realizar un análisis estadístico de los siguientes aspectos (Barbi et al., 2021; Prieto et al., 2023): (i) antigüedad de los pavimentos, (ii) sistema constructivo, (iii) zona de la infraestructura afectada, (iv) tipo de deterioro, (v) ubicación dentro de las áreas, (vi) causas, (vii) gravedad, (viii) extensión, (ix) mecanismos posibles de degradación, (x) condiciones ambientales y (xi) soluciones de rehabilitación recomendadas.

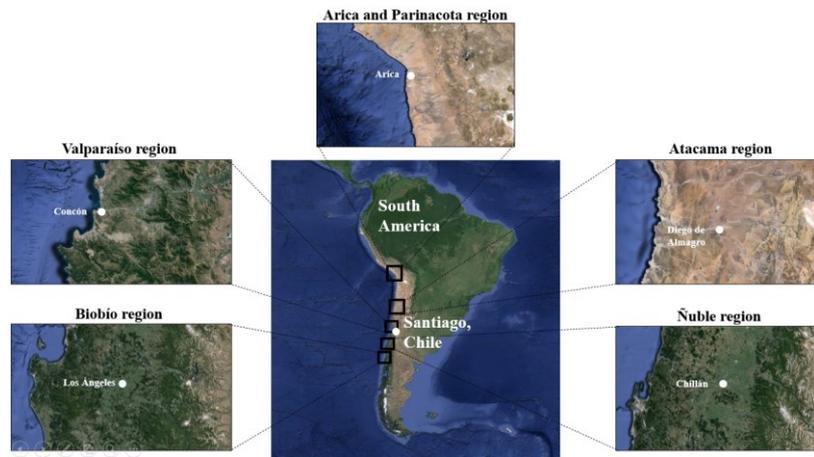
El modelo de base de datos desarrollado está estructurado de manera que puede adaptarse a estudios sobre futuros aeródromos con otras tipologías y ubicaciones. Está compuesto por varios archivos, uno para cada tipo de pavimento, con la información estructurada según tres temas principales: (i) caracterización, (ii) ubicación y (iii) anomalías. Junto con el modelo de base de datos, se busca desarrollar una guía para el usuario final con el fin de establecer algunas reglas básicas y aclarar conceptos y designaciones de los deterioros en las distintas unidades de muestra de los aeródromos.

### **Caracterización de los aeródromos casos de estudio**

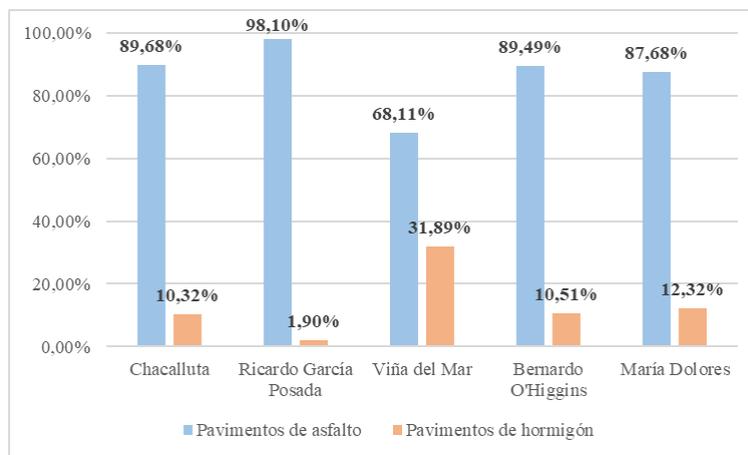
Para este estudio, se analizaron un conjunto de informes de auscultación realizados en 2021, de cinco aeródromos (ad.) en diferentes ciudades a lo largo de Chile: (i) ad. Chacalluta, (ii) ad. Ricardo García Posadas, (iii) ad. Concón, (iv) Bernardo O'Higgins, (v) María Dolores. Dichos informes muestran los valores de *Pavement Condition Index* (PCI), desarrollado por el U.S. Army Corps of Engineers, y el software MICRO PAVER, en donde se representa entre 0 y 100 la evaluación y calificación del estado del pavimento. Este indicador se encuentra estandarizado por normativa ASTM D5340 cuyo cálculo se realiza a partir de la observación de deterioros según tipo de material. Para ello se toma en consideración la división de la materialidad en unidades de muestra (UM) para la realización de la inspección y posterior diagnóstico. En el caso de superficies asfálticas se toma un área de alrededor de 450m<sup>2</sup>, procurando obtener similitud en unidades de una misma sección. Los casos de estudio se encuentran desde el extremo norte del país en la región de Arica y Parinacota, hasta la zona centro sur en la región del Biobío, y desde la zona costera, pasando por los valles centrales hasta llegar a la zona precordillerana. Lo anterior implica una diversidad de condiciones geográficas y climatológicas, por lo tanto, es necesario contextualizar las ciudades en las que se encuentra cada aeródromo (Fortney,

2021). Para complementar lo anterior, la Figura 1, muestra la ubicación de las ciudades en estudio, y la Tabla 1 describe la información general de cada aeródromo.

En relación al porcentaje del tipo de pavimentos existente por material en los cinco aeródromos analizados fue del 86,61% corresponden a pavimentos asfálticos, principalmente ubicaciones en pistas de aterrizaje y despegue y calles de rodaje, el restante 13,39% corresponde a pavimentos de hormigón, los cuales principalmente se ubican en las plataformas de estacionamiento de las aeronaves. En la Figura 2 se detalla la distribución de materiales por aeródromos.



**Figura 1.** Localización a lo largo de Chile de los cinco aeródromos analizados.



**Figura 2.** Porcentaje de materialidad de pavimentos según los ad. analizado.

**Tabla 1.** Caracterización de los cinco aeródromos considerados.

| Aeródromo / Aeropuerto | Ubicación                 | Coordenadas  | Fecha de construcción / intervenciones  | Superficie Pavimento Asfáltico (m <sup>2</sup> ) | Superficie Pavimento Hormigón (m <sup>2</sup> ) |
|------------------------|---------------------------|--|---|--|---|
| Chacalluta             | Arica, Arica y Parinacota | Latitud 18°20'55"S<br>Longitud 70°20'07"W<br>Altitud 57m   | Plataforma en 1985, demás secciones en 2005-06. Remodelaciones entre 2015-2019. | 173.785  | 20.000  |
| Ricardo García Posada  | Diego de Almagro, Atacama | Latitud 26°18'47"S<br>Longitud 69°45'07"W<br>Altitud 1597m | Sin información disponible.   | 87.175   | 1.688   |

|                       |                        |   |  |        |          |
|-----------------------|------------------------|---|--|--------|----------|
| Viña del Mar          | Concón,<br>Valparaíso  | Latitud<br>32°56'51"S<br>Longitud<br>71°28'56"W<br>Altitud 134m | Construcción 1988,<br>reconstrucción de rodaje<br>Juliet en 2018.  | 73.038 | 34.191   |
| Bernardo<br>O'Higgins | Chillán, Ñuble         | Latitud<br>36°35'15"S<br>Longitud<br>72°02'19"W<br>Altitud 151m | Entre 1994 y 1999,<br>reconstrucción de rodaje sur<br>en 2018 y construcción de<br>nuevo rodaje en 2013. | 61.506 | 7.220    |
| María Dolores         | Los Ángeles,<br>Biobío | Latitud<br>37°24'03"S<br>Longitud<br>72°25'25"W<br>Altitud 280m | Entre 1995 y 1998,<br>reconstrucción de Umbral<br>Norte en 2020.   | 73.724 | 10.362,9 |

## METODOLOGÍA

Con base a los informes de auscultación, se concibió una base de datos de los deterioros en pavimentos de asfalto, adecuada para el set de cinco aeródromos analizados. Su contenido se adecuó según su ubicación dentro de las calles de rodaje o las pistas de aterrizaje y despegue y además según unidades de muestra (UM). También se ha diseñado una base de datos mediante una lista detallada de los deterioros identificados en los informes de auscultación y con base a la normativa ASTM D5340 (Tabla 2).

El modelo de base de datos fue desarrollado para aplicarse a los diversos tipos de infraestructura horizontal (pavimentos de asfalto) y a futuros estudios sobre deterioros en pavimentos aeroportuarios; por lo tanto, debía ser flexible, legible y basado en parámetros estrictos para completar cada campo de datos. Cada archivo, correspondiente a un aeródromo determinado, se dividió en tres hojas de cálculo: (1) caracterización, (2) ubicación y (3) anomalías, e incluyó también hojas de cálculo auxiliares con información que debía ingresarse en las hojas de cálculo principales. Se prepararon los siguientes elementos: (a) una hoja de cálculo de unidades de muestra para identificar la ubicación del deterioro, (4) una lista de deterioros estandarizados por la normativa ASTM D5340 (Tabla 2), (5) una lista de posibles causas para describir el deterioro bajo análisis y (6) una lista de recomendaciones para resolver cada deterioro o set de UM deterioradas. Estas listas se consideraron una herramienta esencial para obtener una base de datos coherente y concisa.

**Tabla 2.** Identificación de deterioros de asfalto, causas y grado de severidad según ASTM D5340.

(B: Baja, M: Media, A: Alta, N: No tiene severidad).

| N° | ID  | Nombre Defecto                         | Causa | Grado de Severidad |
|----|-----|--|-------|--------------------|
| 1  | PDC | Piel de cocodrilo                      | Carga | B, M, A            |
| 2  | EXU | Exudación                              | Clima | N                  |
| 3  | FDB | Fisuras de bloque                      | Clima | B, M, A            |
| 4  | OND | Ondulación                             | Otro  | B, M, A            |
| 5  | DEP | Depresión                              | Otro  | B, M, A            |
| 6  | ECT | Erosión por chorro de turbina          | Otro  | N                  |
| 7  | RJ  | Reflexión de juntas PCC                | Clima | B, M, A            |
| 8  | FLT | Fisuras longitudinales y transversales | Clima | B, M, A            |
| 9  | DC  | Derrame de combustible                 | Otro  | N                  |
| 10 | BAC | Bacheos                                | Clima | B, M, A            |
| 11 | AP  | Agregado pulido                        | Carga | N                  |
| 12 | PEL | Peladura                               | Otro  | B, M, A            |
| 13 | AHU | Ahuellamiento                          | Carga | B, M, A            |

|    |     |                             |       |         |
|----|-----|-----------------------------|-------|---------|
| 14 | PEX | PCC expuesto                | Otro  | B, M, A |
| 15 | FPD | Fisura por deslizamiento    | Otro  | N       |
| 16 | HIN | Hinchamiento                | Clima | N       |
| 17 | DPE | Desgaste por envejecimiento | Clima | B, M, A |

La hoja de cálculo de deterioros se organizó en varios niveles de datos. El primer nivel distinguía entre los deterioros encontrados en pistas de aterrizaje y despegue o solamente en pistas de rodaje. El segundo nivel se especificaba el detalle de la ubicación de los deterioros del pavimento, zona central de la pista, áreas de *take-off* o *landing*, entre otros. En el tercer nivel, incluía el registro de cada deterioro; primero la identificación de la UM y posteriormente el deterioro en sí. Los registros de los deterioros más comunes incluyen una fotografía para ilustrar cada tipo de deterioro en particular. En relación a la cuantificación del área afectada del elemento de construcción (pavimento de asfalto), solo se consideraron dos opciones simples con respecto al deterioro: (i) localizada, o (ii) extendida. Cualquiera de los casos estaba directamente relacionado con la gravedad del deterioro, el cual aparece reflejado en todos los deterioros con excepción de (i) exudación, (ii) erosión por chorro de turbina, (iii) derrame de combustible, (iv) agregado de pulido, (v) fisura por deslizamiento, (vi) hinchamiento. La gravedad del deterioro (1–3, donde 1 es la menos grave o severidad baja y 3 la más grave o severidad alta) se definió en base a la información contenida en los informes de auscultación y el uso de la normativa ASTM D5340.

Las limitaciones de la investigación de este documento son: (i) cierta subjetividad asociada con la toma de datos y los registros desde de los informes de auscultación de los aeródromos; aunque y a pesar de que fueron realizadas por inspectores experimentados en el área, siempre existe un cierto nivel de incertidumbre asociado a la caracterización del grado de severidad sobre el deterioro identificado y la transcripción de la información; y (ii) la dificultad para determinar de manera inequívoca la causa de un deterioro determinado.

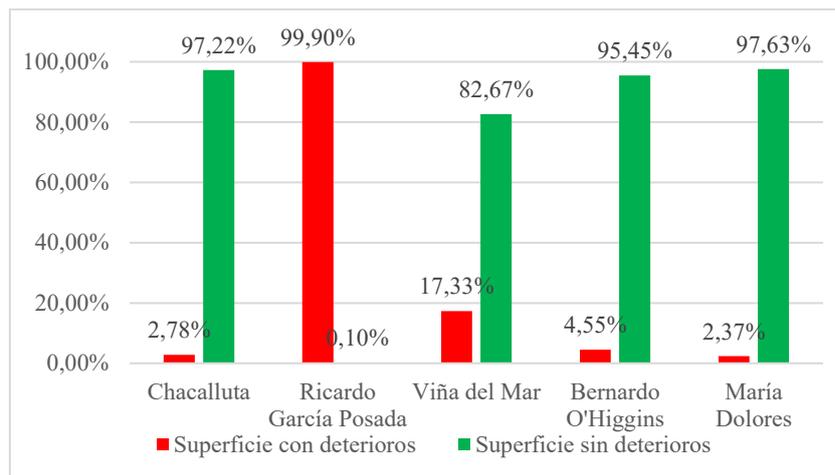
## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante el análisis de los pavimentos de asfalto en los cinco aeródromos, se registraron un total de 931 UM las cuáles presentaron distintas situaciones de deterioros. La Tabla 3 detalla las UM analizadas por cada aeródromo. Para generar un modelo óptimo, se priorizaron los deterioros que se presentan con un mayor número de identificación y afección en la vida útil de los pavimentos de asfalto según la norma ASTM D5340 e ISO15686.

**Tabla 3.** Cantidad de unidades de muestra (UM) en cada aeródromo y en total.

| <b>Aeródromo</b>      | <b>UM de asfalto</b> |
|-----------------------|----------------------|
| Chacalluta            | 359                  |
| Ricardo García Posada | 196                  |
| Viña del Mar          | 149                  |
| Bernardo O'Higgins    | 106                  |
| María Dolores         | 121                  |
| <b>Total</b>          | <b>931</b>           |

Para comenzar la caracterización, en primer lugar, se trabajó de forma separada con los informes de auscultación de cada aeródromo y mediante diferentes técnicas de manejo de datos, se logró obtener la cantidad de superficie afectada por cada tipo de deterioro en cada uno de los casos de estudio. La Figura 3 presenta el porcentaje total de superficie afectada por aeródromo y con base a los distintos deterioros documentados. El siguiente análisis permitió identificar la cantidad de superficie afectada según ramal, es decir, pista de aterrizaje y despegue, calles de rodaje y plataformas. La Tabla 4 presenta los metros cuadrados afectados y el porcentaje respecto al total de superficie deteriorada para cada aeródromo estudiado (Sadeghi et al., 2017).



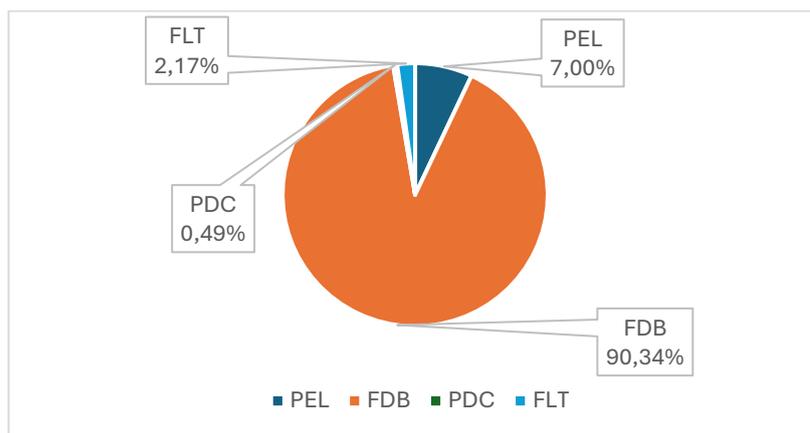
**Figura 3.** Porcentaje de superficie afectada en cada aeródromo.

**Tabla 4.** Metros cuadrados y porcentaje de área afectada por ramal de cada aeródromo y en total.

| Aeródromo             | Pista (m <sup>2</sup> ) | % Pista | Rodajes (m <sup>2</sup> ) | % Rodaje | Plataformas (m <sup>2</sup> ) | % Plataformas | Total (m <sup>2</sup> ) |
|-----------------------|-------------------------|---------|---------------------------|----------|-------------------------------|---------------|-------------------------|
| Chacalluta            | 63,07                   | 1,44%   | 71,9                      | 1,65%    | 4.231,49                      | 96,91%        | 4.366,46                |
| Ricardo García Posada | 69.798                  | 80,15%  | 10.559                    | 12,12%   | 6.729                         | 7,73%         | 87.086                  |
| Viña del Mar          | 1.215,62                | 9,60%   | 11.445,13                 | 90,40%   | 0                             | 0,00%         | 12.660,75               |
| Bernardo O'Higgins    | 2.800,02                | 99,94%  | 1,55                      | 0,06%    | 0                             | 0,00%         | 2.801,57                |
| María Dolores         | 1.264,5                 | 76,04%  | 289,96                    | 17,44%   | 108,51                        | 6,53%         | 1.662,97                |
| Total                 | 75.141,21               | 69,20%  | 22.367,54                 | 20,60%   | 11.069                        | 10,19%        | 108.577,75              |

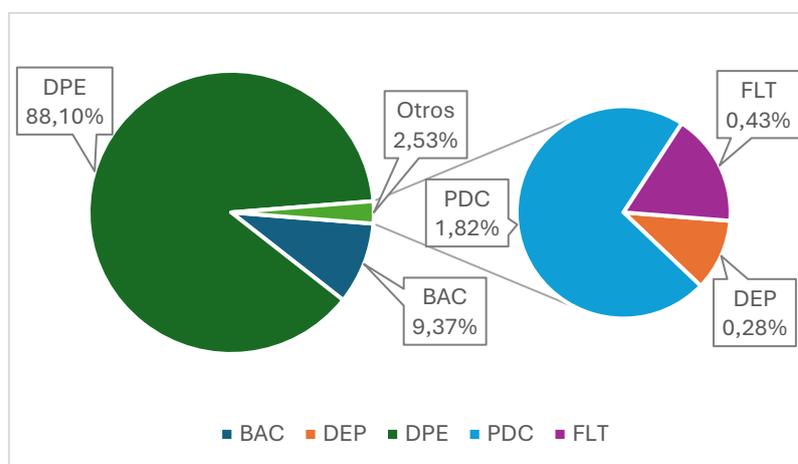
A continuación, se analizarán los distintos aeródromos de manera detallada, iniciando por el aeródromo de Chacalluta en Arica. En este caso de estudio se identificaron cuatro principales tipos de deterioro: (i) fisura de bloque, (ii) grietas longitudinales y transversales, (iii) peladura y (iv) piel de cocodrilo (Figura 4). En el aeródromo Ricardo García Posada, ubicado en Atacama, se produjo una situación muy particular debido al traslape de dos deterioros distintos (fisura de bloque y desgaste por envejecimiento), donde ambos variables afectan más del 99% de la superficie de pavimentos de asfalto. En el aeródromo de Concón (Viña del Mar) se presentan principalmente los siguientes

deterioros: (i) desgaste por envejecimiento (88,10%); (ii) bacheos con un 9,37%, y (iii) el restante 2,53% corresponde con piel de cocodrilo, fisuras longitudinales y transversales y depresiones, (Figura 5). En el Aeródromo Bernardo O’Higgins se presentan los mismos deterioros que en el ad. de Concón, teniendo una presencia del 97,70% el desgaste por envejecimiento y del 2,05% las fisuras longitudinales y transversales, el restante 0,25% corresponde para desgaste por envejecimiento y bacheos con un 0,18% y 0,07%, respectivamente (Figura 6). Finalmente, en el ad. María Dolores se documentaron desgaste por envejecimiento (51,35%), piel de cocodrilo (29,93%), exudación (9,02%), bacheos (6,43%) y fisura longitudinal y transversal con el restante 3,26% de la superficie de asfalto (Figura 7).

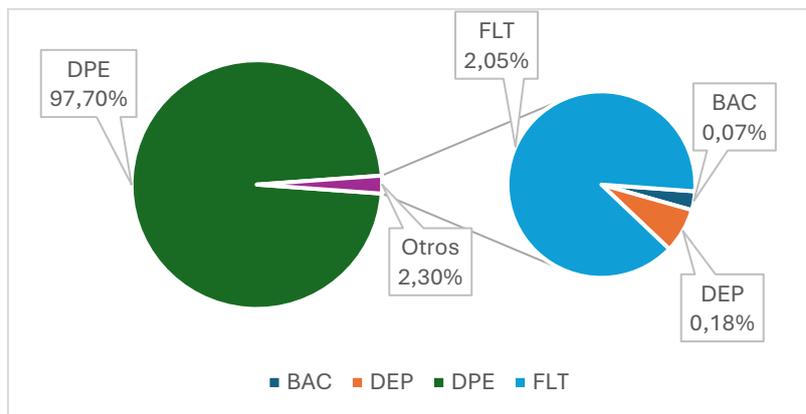


**Figura 4.** Porcentaje de presencia de cada deterioro respecto a la superficie afectada en el aeródromo de Chacalluta, Región de Arica y Parinacota.

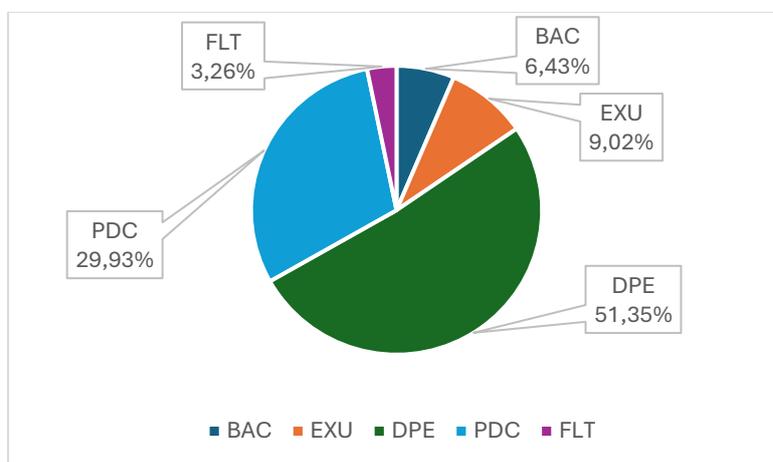
Después de realizar la caracterización y análisis de cada uno de los cinco aeródromos en estudio, se procedió a identificar los deterioros más y menos comunes presentes en el conjunto de la infraestructura estudiada. En total se documentaron nueve tipos de deterioro distintos, los cuales son: bacheos (BAC), depresiones (DEP), desgaste por envejecimiento (DPE), peladura (PEL), exudación (EXU), grietas de reflexión de juntas (RJ), fisura de bloque (FDB), fisuras longitudinales y transversales (FLT), y piel de cocodrilo (PDC). La Tabla 4 presenta y detalla la cantidad de superficie afectada por cada tipo deterioro documentado para cada uno de los aeródromos analizados.



**Figura 5.** Porcentaje de presencia de cada deterioro respecto a la superficie afectada en aeródromo de Concón, Región de Valparaíso.



**Figura 6.** Porcentaje de presencia de cada deterioro respecto a la superficie afectada en aeródromo Bernardo O’Higgins, Región Gral. Bernardo O’Higgins.

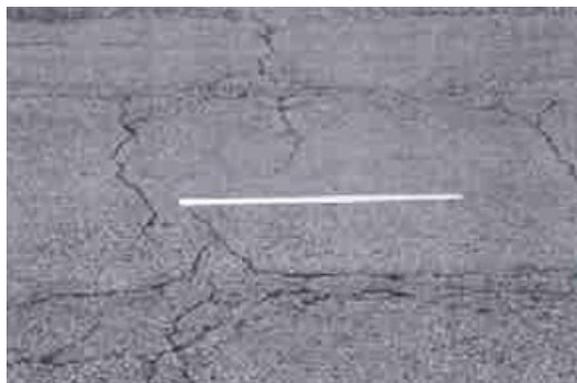


**Figura 7.** Porcentaje de presencia de cada deterioro respecto a la superficie afectada en aeródromo María Dolores, Región del Bio-Bío.

Por un lado, se puede apreciar que el deterioro con una menor afección en el conjunto de pavimentos de asfalto analizados corresponde con la reflexión de juntas, ese solo se presenta en el ad. Ricardo García Posadas y en una cantidad de  $2,7\text{m}^2$  representando tan solo el (0,001% del área afectada por deterioros) (Tabla 5). Por otro lado, los deterioros más comunes en pistas de aterrizaje y despegue y más calles de rodaje corresponden con: (i)  $101.832,2\text{ m}^2$  - desgaste por envejecimiento (Figura 8), siendo el 52,16% del total de la superficie afectada con deterioros, seguido de (ii)  $90.562,2\text{ m}^2$  - fisura de bloque (Figura 9) (46,40% de la superficie afectada), (iii) el área restante de ( $2.803\text{m}^2$ ) se reparte de la siguiente manera 0,66% de área afecta por bacheos (Figura 10), 0,38% de piel de cocodrilo (Figura 11), 0,16% de peladura (Figura 12), 0,13% fisuras longitudinal y transversal (Figura 13), 0,07% exudación (Figura 14), y finalmente  $40\text{m}^2$  afectado por depresión (Figura 15) corresponden al 0,02% del área afectada por deterioros (Tabla 5).

**Tabla 5.** Área afectada (m<sup>2</sup>) por cada tipo de deterioro en los casos de estudio.

| Tipo de deterioros                               | Ad. Chacalluta | Ad. Ricardo García | Ad. Concón | Ad. Bernardo O'Higgins | Ad. María Dolores | Área total |
|--|----------------|--------------------|------------|------------------------|-------------------|------------|
| Bacheos  | 0,0            | 0,0                | 1.186,0,   | 2,1                    | 107,0             | 1.295,1    |
| Depresión  | 0,0            | 0,0                | 35,0       | 5,0                    | 0,0               | 40,0       |
| Desgaste por envejecimiento                      | 0,0            | 87.086,0           | 11.154,0   | 2.737,0                | 854,0             | 101.832,2  |
| Peladura   | 304,0          | 0,0                | 0,0        | 0,0                    | 0,0               | 304,0      |
| Exudación  | 0,0            | 0,0                | 0,0        | 0,0                    | 150,0             | 150,0      |
| Reflexión de juntas                              | 0,0            | 2,7                | 0,0        | 0,0                    | 0,0               | 2,7        |
| Fisura de bloque Fis. longitudinal y transversal | 3.925,2        | 86.636,0           | 0,0        | 0,0                    | 0,0               | 90.562,2   |
| Piel de cocodrilo                                | 94,46          | 0,0                | 54,84      | 57,47                  | 54,2              | 260,9      |
| Superficie c/deterioros                          | 21,5           | 0,0                | 230,9      | 0,0                    | 497,8             | 750,2      |
| Superficie s/deterioros                          | 4.345,2        | 87.086,0           | 12.660,7   | 2.801,6                | 1.663,0           | 195.197,4  |
| Superficie total                                 | 152.121,8      | 89,8               | 60.378,1   | 58.704,8               | 68.420,2          | 389.099,6  |
| Superficie total                                 | 156.467,0      | 87.175,8           | 73.038,8   | 61.506,4               | 70.083,2          | 448.275,2  |

**Figura 8.** Deterioro desgaste por envejecimiento de alta severidad.**Figura 9.** Deterioro fisura de bloque de severidad media.



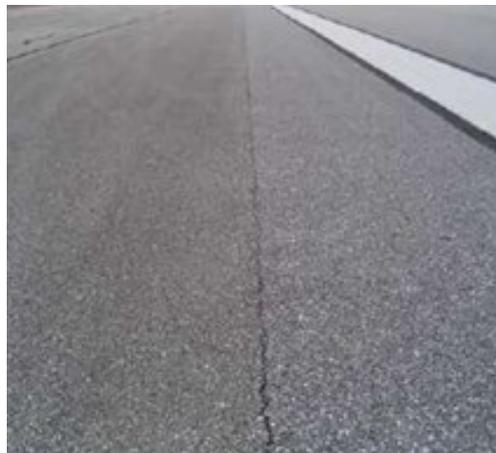
**Figura 10.** Deterioro bacheo de severidad media.



**Figura 11.** Deterioro piel de cocodrilo de alta severidad.



**Figura 12.** Deterioro peladura de baja severidad.



**Figura 13.** Deterioro fisura longitudinal de baja severidad.



**Figura 14.** Deterioro exudación de severidad media.



**Figura 15.** Deterioro depresión de alta severidad.

Finalmente, para cada deterioro, en la Tabla 6, se identificaron sus posibles causas y se recomendaron una o más soluciones. De estas, su aplicabilidad dependerá de la severidad del deterioro y el área afectada por el mismo. En general, la recomendación principal es el retiro del pavimento dañado y la reposición de la carpeta asfáltica cuando la gravedad del deterioro documentado es considerable. Sin embargo, es importante realizar inspecciones periódicas al pavimento, con el fin de identificar de forma oportuna los deterioros, es decir, que se encuentren en una etapa de baja severidad, y la rehabilitación de la infraestructura sea menos invasiva y menos costosa (Carvalho y Picado Santos, 2019).

**Tabla 6.** Causa y recomendaciones de rehabilitación por cada tipo de deterioro.

| Tipo de deterioro | Descripción o causa  | Tipo de rehabilitación   |
|-------------------|--|--|
| Piel de cocodrilo | Falla producida por fatiga a causa del tráfico, atribuida a una base o sub-base inadecuada.                                | Demolición de carpeta existente, excavación, reemplazo de material granular y reposición de carpeta asfáltica. |
| Exudación         | Falla producida por cantidades excesivas de cemento asfáltico, alquitranes en la mezcla o bajo porcentaje de poros vacíos. | Remoción y reemplazo de carpeta asfáltica.   |
| Fisura de bloque  | Grietas usualmente perpendiculares a la junta longitudinal, de gran longitud.  | Reparación mediante tratamientos superficiales en etapas tempranas.<br>Reconstrucción en etapas avanzadas.     |

**Tabla 6. (continuada).**

|  |   |   |
|--|---|---|
| Ondulación                             | Falla producida por una combinación entre tráfico y la inestabilidad producida en superficie o en base.   | Reparación mediante reemplazo de superficie en falla y, de ser necesario, mejoramiento de base.                                       |
| Depresión                              | Falla producida por asentamiento del suelo de fundación o producto de un mal proceso constructivo.  | Reparación mediante reemplazo de superficie en falla y, de ser necesario, mejoramiento de base o reconstrucción.                      |
| Erosión por chorro de turbina          | Erosión provocada por Jet Blast, se evidencia por áreas oscurecidas donde el aglomerante bituminoso se encuentra quemado o carbonizado.   | Aplicación de tratamiento superficial.  |
| Grietas de reflexión de juntas PCC     | Grietas provocadas por el movimiento de la sub-base producto del cambio de temperatura.   | Retiro y reparación de superficie en falla.   |
| Fisuras longitudinales y transversales | Grietas longitudinales son atribuidas a junta de pavimento mal construida, contracción de superficie producto de bajas temperaturas o grieta reflectante de capa inferior (sin considerar juntas constructivas). Grietas transversales son atribuidas a contracción de superficie producto de bajas temperaturas o grieta reflectante de capa inferior (sin considerar juntas constructivas). | Reparación mediante el sello de grietas. En caso de deterioros de alta severidad, se debe evaluar la reposición de carpeta asfáltica. |
| Derrame de combustible                 | Deterioro o ablandamiento de la superficie producto de derrames de aceite, combustibles u otros disolventes.  | Limpieza de área, aplicación de tratamiento antiderrame.  |
| Bacheos                                | Descomposición o desintegración total de la superficie del pavimento, formando un hoyo o cavidad redondeada. Constituyen daños estructurales que interrumpen la continuidad del pavimento.  | Retiro y reemplazo más la aplicación de tratamientos superficiales.   |
| Agregado pulido                        | Falla producto del tráfico y se visualiza cuando el agregado en el asfalto es muy pequeño, o no existen partículas de agregado ásperas o angulares que permitan una buena resistencia al deslizamiento.   | Aplicación de tratamiento superficial.  |
| Peladura                               | Disgregación superficial de la capa de rodadura debido a una pérdida gradual de agregados, haciendo la superficie más rugosa y exponiendo de manera progresiva los materiales a la acción del tránsito y los agentes climáticos.  | Aplicación de sellos superficiales. Recapado parcial.   |
| Ahuellamiento                          | Desplazamiento de material producido por la compactación por tráfico o material inestable. Por otro lado, fallas mayores pueden ser producidas por consolidación de base o sub-base, y se visualiza como patrón de ruedas.  | Reposición de carpeta asfáltica y, de ser necesario, mejoramiento de base y sub-base.   |
| PCC expuesto                           | Falla producto del alargamiento de extremos de losas de hormigón, empujando el pavimento más flexible provocando levantamiento de este último.  | Remoción y reemplazo de estructura de pavimento flexible.   |
| Fisura por deslizamiento               | Falla causada por frenado o rodaje de la aeronave, atribuida a una mala unión entre capa superficial y de base.   | Reparación de capa superficial en área afectada.  |
| Hinchamiento                           | Falla comúnmente producida por las bajas temperaturas o hinchamiento del suelo de fundación, también puede ser producida por explosión de losas bajo el asfalto. Se visualiza en áreas pequeñas o un hinchamiento largo y gradual, además puede ir acompañada por grietas.  | Retiro y reemplazo de zonas afectadas, pudiendo ser necesario la reconstrucción completa del paquete estructural.                     |
| Desgaste por envejecimiento            | Endurecimiento de capa superior y pérdida de su resistencia superficial.  | Aplicación de sellos asfálticos y, en caso de daños mayores, reposición de carpeta asfáltica.   |

## CONCLUSIONES

Este trabajo ha presentado una visión global del estado de degradación de los pavimentos de asfalto en cinco aeródromos de Chile, evaluando el efecto y la posible correlación entre factores específicos de deterioro, y reconociendo procesos patológicos similares. Con este propósito, se ha desarrollado una base de datos de deterioros en pavimentos para un conjunto de cinco aeródromos. La recopilación de datos sobre los elementos de construcción y los principales deterioros identificados en la infraestructura ha permitido realizar un análisis estadístico de los siguientes aspectos: (i) antigüedad de los pavimentos, (ii) sistema constructivo, (iii) zona de la infraestructura afectada, (iv) tipo de deterioro, (v) ubicación dentro de las áreas, (vi) causas, (vii) gravedad, (viii) extensión, (ix) mecanismos posibles de degradación, (x) condiciones ambientales y (xi) soluciones de rehabilitación recomendadas.

Después del análisis detallada de los distintos casos de estudio, generando una base de datos con la información sobre deterioros de cada uno de los aeródromos, ha sido posible elaborar estadísticas sobre las fallas recurrentes, las zonas del aeródromo más afectada y las principales causas. La metodología de la elaboración de la base de datos fueron principales para garantizar la fiabilidad de los resultados. Los conceptos utilizados debieron de ordenarse, estandarizarse y sistematizarse.

Se han identificado los principales deterioros del set de casos de estudio: bacheos (BAC), depresiones (DEP), desgaste por envejecimiento (DPE), peladura (PEL), exudación (EXU), grietas de reflexión de juntas (RJ), fisura de bloque (FDB), fisuras longitudinales y transversales (FLT), y piel de cocodrilo (PDC). Por un lado, los deterioros más comunes ubicados en pistas de aterrizaje y despegue, así como en calles de rodaje corresponden con: (i) 101.832,2 m<sup>2</sup> - desgaste por envejecimiento, siendo el 52,16% del total de la superficie afectada con deterioros, seguido de (ii) 90.562,2 m<sup>2</sup> - fisura de bloque (46,40% de la superficie afectada), (iii) el área restante de (2.803m<sup>2</sup>) se identifican el resto de deterioros en porcentajes menores al 0,70%. Por otro lado, se puede apreciar que el deterioro con una menor afección en el conjunto de pavimentos de asfalto analizados corresponde con la reflexión de juntas, ese solo se presenta en el ad. Ricardo García Posadas y en una cantidad de 2,7m<sup>2</sup> representando tan solo el (0,001% del área afectada por deterioros).

La situación del Aeródromo Ricardo García Posadas presenta claramente un outliers dentro del set de casos de estudio, ya que su situación muestra una clara falta de mantenimiento y de inversión para un correcto y adecuado uso de la infraestructura. Este caso ratifica la necesidad de generar planes de monitoreo y diagnóstico estandarizados para el conjunto de infraestructura aeroportuaria ubicada a lo largo de Chile, que ayude a un mejor reparto de los recursos.

En términos globales los aeródromos presentan un adecuado estado de conservación de sus pistas de aterrizaje y despegue, calles de rodaje y plataformas de estacionamiento, a excepción del Ad. Ricardo García Posadas, que presenta una situación completamente inaceptable en condiciones de usabilidad y estado de conservación, así como las condiciones climáticas y ambientales de la ubicación. Con el fin de mantener actualizada la información sobre el estado de mantenimiento de la infraestructura se sugiere una

revisión al menos anual de los sectores que mayor nivel de deterioros y además en relación al uso que presenten cada uno de los casos de estudio.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la contribución del Centro de Innovación del Hormigón UC (CIHUC) de la Pontificia Universidad Católica de Chile, el patrocinio de la Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo (ANID) de Chile a través del proyecto de investigación ANID FONDEF N° ID23I10156 y el aporte y participación de la Dirección de Aeropuertos del Ministerio de Obras Públicas de Chile.

## REFERENCIAS

Balance de Gestión General (2021). Dirección de Aeropuertos. Ministerio de Obras Públicas, Gobierno de Chile.

Barbi, P., Tavassoti, P., Tighe, S., & Baaj, H. (2021). Implications of climate variation in flexible airport pavement design and performance. In *Airfield and Highway Pavements 2021* (pp. 193-204).

Carvalho, A. F. C., & Picado Santos, L. G. D. (2019). Maintenance of airport pavements: the use of visual inspection and IRI in the definition of degradation trends. *International Journal of Pavement Engineering*, 20(4), 425-431.

Fortney, E. M. (2021). Improving airfield pavement degradation prediction skill with local climate and traffic. Theses and Dissertations. 5054. <https://scholar.afit.edu/etd/5054>.

Ministerio de Obras Públicas. (2020). Plan Mejores Obras para Chile 2050. [https://www.mop.gob.cl/archivos/2022/01/Plan Mejores Obras para Chile 2050.pdf](https://www.mop.gob.cl/archivos/2022/01/Plan_Mejores_Obras_para_Chile_2050.pdf)

Norma ASTM D5340. Índice de Condición de Pavimentos en Aeropuertos (PCI) (2004).

Plan Nacional de Infraestructura para la Movilidad 2020-2050 (2020). Visitado el 15 mayo 2024. Disponible online en: <https://planeamiento.mop.gob.cl>

Prieto, A. J., Guiñez, F., Ortiz, M., & González, M. (2022). Fuzzy inference system for predicting functional service life of concrete pavements in airports. *Infrastructures*, 7(12), 162.

Sadeghi, J., Najafabadi, E. R., & Kaboli, M. E. (2017). Development of degradation model for urban asphalt pavement. *International Journal of Pavement Engineering*, 18(8), 659-667.

Tobar Montecinos, G. (2020). Nuevo aeropuerto para Concón, V Región, Chile. Disponible en: <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/4455332>