
ACRP RESEARCH REPORT 203

**Guía para Recolectar, Aplicar y
Mantener Datos de Condición de los
Pavimentos en Aeropuertos**

Título Original:

Guidelines for Collecting, Applying, and Maintaining Pavement Condition Data at Airports

David Peshkin

Peter-Paul F. Dzwilewski

Kyle M. Potvin

Katherine Gauthier

Monty Wade

Applied Pavement Technology, Inc.

Urbana, IL

Eric Risner

Ryan Robinson

Chris Snyder

Marianne Cardwell

Woolpert,

Dayton, OH

Kieran Feighan

PMS ltd.

Dublín, Irlanda

Categorías de Suscripción

Aviación • Mantenimiento y Preservación

Investigación patrocinada por la Administración Federal de Aviación

*This is a translation of **Guidelines for Collecting, Applying, and Maintaining Pavement Condition Data at Airports: ACRP Research Report 203**, National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine; Transportation Research Board; Airport Cooperative Research Program; David Peshkin, Peter-Paul F. Dzwilewski, Kyle M. Potvin, Katherine Gauthier, Monty Wade (Applied Pavement Technology, Inc.); Eric Risner, Ryan Robinson, Chris Snyder, Marianne Cardwell (Woolpert, Inc.); Kieran Feighan (PMS Ltd.); © 2019 National Academy of Sciences. First published in English by National Academies Press. All rights reserved.*

INFORMACIÓN DE COPYRIGHT

Los autores del presente documento son responsables de la autenticidad del material y de la obtención de los permisos por escrito de los editores o de las personas que sean dueños de los derechos de autor de cualquier material previamente publicado o con derechos de autor que utilizan en este documento.

El Programa de Investigación Cooperativa (CRP) concede permiso para reproducir material de esta publicación para cursos y propósitos sin fines de lucro. Se da el permiso con el entendimiento de que ninguna parte del material será utilizado para implicar el respaldo de un producto, método o práctica específica por parte de TRB, AASHTO, FAA, FHWA, la FMCSA, FRA, FTA, la Oficina del Secretario Asistente de Investigación y Tecnología, PHMSA, o TDC. Se espera que aquellos que reproduzcan el material de este documento para fines educativos y sin fines de lucro hagan reconocimiento apropiado de la fuente de cualquier material reproducido. Para otros usos de este material, solicitar permiso a CRP.

Crédito de la foto de la portada: Applied Pavement Technology, Inc.

AVISO

El informe de investigación fue revisado por el panel técnico y aceptado para su publicación de acuerdo con los procedimientos establecidos y supervisados por la Junta de Investigación del Transporte y aprobados por la Academia Nacional de Ciencias, Ingeniería y Medicina.

Las opiniones y conclusiones expresadas o implícitas en este informe son las de los investigadores que realizaron la investigación y no son necesariamente las de la Junta de Investigación del Transporte; la Academia Nacional de Ciencias, Ingeniería y Medicina; o los patrocinadores del programa.

El Transportation Research Board; la Academia Nacional de Ciencias, Ingeniería y Medicina; y los patrocinadores del Programa de Investigación Cooperativa de Aeropuertos no promociona productos o fabricantes. Nombres comerciales o de fabricantes aparecen en este documento únicamente porque se consideran esenciales para el objeto del informe.

Los informes de investigación publicados por el PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN COOPERATIVA DE AEROPUERTOS

AIRPORT COOPERATIVE RESEARCH PROGRAM

están disponibles si se solicitan a:

Transportation Research Board
Business Office
500 Fifth Street, NW
Washington, DC 20001

y se pueden pedir a través de Internet visitando <http://www.national-academies.org>
y luego buscar TRB.

Original en Inglés Impreso en los Estados Unidos de América

EL PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN COOPERATIVA AEROPORTUARIA

AIRPORT COOPERATIVE RESEARCH PROGRAM

Los aeropuertos son recursos nacionales vitales. Sirven un papel clave en el transporte de personas y mercancías y en el comercio regional, nacional e internacional. Son donde el sistema de aviación de la nación se conecta con otros modos de transporte y donde la responsabilidad federal para administrar y regular las operaciones de tráfico aéreo se cruza con el papel de los gobiernos estatales y locales que poseen y operan la mayoría de los aeropuertos. La investigación es necesaria para resolver los problemas de funcionamiento comunes, a adaptar las nuevas tecnologías apropiadas de otras industrias, e introducir innovaciones en la industria aeroportuaria. El Programa de Investigación Cooperativa Aeropuerto (Airport Cooperative Research Program, ACRP) sirve como uno de los principales medios por los cuales la industria aeroportuaria puede desarrollar soluciones innovadoras a corto plazo para satisfacer las demandas que se le plantean.

La necesidad del ACRP fue identificada en el Informe Especial 272 TRB: *Necesidades de investigación en Aeropuerto: soluciones de cooperación en 2003*, basándose en un estudio auspiciado por la Administración Federal de Aviación (FAA). ACRP lleva a cabo investigación aplicada sobre problemas que son compartidos por agencias operadoras de aeropuertos y que no son abordados adecuadamente por los programas federales de investigación existente. ACRP es el modelo del exitoso del Programa Nacional Cooperativo de Investigación de Carreteras (NCHRP) y el Programa Cooperativo de Investigación de Tránsito (TCRP). ACRP lleva a cabo investigaciones y otras actividades técnicas en diversas áreas de aeropuertos, incluyendo diseño, construcción, jurídicos, mantenimiento, operaciones, seguridad, políticas, planificación, recursos humanos y administración. ACRP proporciona un foro en el que los operadores de aeropuertos pueden abordar de forma cooperativa problemas de funcionamiento.

ACRP fue autorizado en diciembre de 2003 como parte de la Visión 100- Siglo de la Ley de reautorización de Aviación. Los participantes principales en el ACRP son (1) una junta de gobierno independiente, el Comité de Supervisión de ACRP (AOC), designado por el Secretario del Departamento de Transporte de Estados Unidos con representación de las agencias de aeropuertos operativos, otras partes interesadas y organizaciones industriales relevantes tales como los Aeropuertos del Consejo Internacional de América del Norte (ACI-NA), la American Association of Airport Executives (AAAE), la Asociación Nacional de funcionarios de aviación del Estado (NASAO), las aerolíneas de América (A4A), y el Consejo de Consultores de Aeropuertos (ACC) como enlaces vitales para la comunidad aeroportuaria; (2) TRB como director del programa y de la secretaría de la junta de gobierno; y (3) la FAA como patrocinador del programa. En octubre de 2005 la FAA celebró un contrato con la Academia Nacional de Ciencias para iniciar formalmente el programa.

ACRP se beneficia de la cooperación y la participación de los profesionales de aeropuertos, compañías aéreas, transportistas, funcionarios del estado y del gobierno local, equipos y servicios proveedores, otros usuarios del aeropuerto, y organizaciones de investigación. Cada uno de estos participantes tiene diferentes intereses y responsabilidades, y cada uno es una parte integral de este esfuerzo de investigación cooperativa.

Periódicamente se solicitan Enunciados de Problemas de Investigación para ACRP, pero estos también pueden ser enviados a TRB por cualquier persona en cualquier momento. Es responsabilidad de la AOC formular el programa de investigación mediante la identificación de los proyectos de mayor prioridad y la definición de los niveles de financiación y productos esperados.

Una vez seleccionado, cada proyecto ACRP se asigna a un grupo de expertos designado por TRB. Los paneles incluyen profesionales con experiencia y especialistas en investigación; se hace hincapié en la inclusión de los profesionales de los aeropuertos, los destinatarios de los productos de investigación. Los paneles preparan los estados de proyectos (solicitudes de propuestas), selecciona los contratistas, y proporcionar orientación técnica y asesoramiento durante toda la vida del proyecto. El proceso de elaboración de enunciados de los problemas de investigación y selección de los organismos de investigación ha sido utilizado por TRB en la gestión de los programas de investigación cooperativa desde 1962. Al igual que en otras actividades TRB, los voluntarios que sirven en los paneles de proyectos ACRP lo hacen voluntariamente sin recibir compensación.

El énfasis principal está puesto en la difusión de los resultados ACRP a quienes serán los usuarios de la investigación: las agencias de vuelos, proveedores de servicios e instituciones académicas. ACRP produce una serie de informes de investigación para su uso por los operadores de aeropuertos, agencias locales, la FAA y otras partes interesadas; asociaciones industriales pueden organizar talleres, ayudas de formación, visitas de campo, seminarios y otras actividades para asegurar que los resultados son implementados por profesionales de la industria aeroportuaria.

INFORME DE INVESTIGACIÓN ACRP 203

Proyecto 09-17

ISSN 2572-3731 (impresa) ISSN 2572-374X (Online) ISBN 978-0-309-48059-8

Biblioteca del Congreso número de control 2019945914

© 2019 Academia Nacional de Ciencias. Todos los derechos reservados.

The National Academies of
SCIENCES • ENGINEERING • MEDICINE

La **Academia Nacional de Ciencias** fue establecida en 1863 por una ley del Congreso, firmado por el presidente Lincoln, como una institución gubernamental privada, no para asesorar a la nación en temas relacionados con la ciencia y la tecnología. Los miembros son elegidos por sus pares contribuciones excepcionales a la investigación. La Dra. Marcia McNutt es presidente.

La **Academia Nacional de Ingeniería** se estableció en 1964 bajo los estatutos de la Academia Nacional de Ciencias de llevar las prácticas de ingeniería para asesorar a la nación. Los miembros son elegidos por sus compañeros por sus contribuciones extraordinarias a la ingeniería. El Dr. John L. Anderson es presidente.

La **Academia Nacional de Medicina** (anteriormente el Instituto de Medicina) se estableció en 1970 bajo los estatutos de la Academia Nacional de Ciencias de asesorar a la nación en temas médicos y de salud. Los miembros son elegidos por sus compañeros para distinguidas contribuciones a la medicina y la salud. El Dr. Victor J. Dzau es presidente.

Las tres Academias trabajan juntas en la **Academia Nacional de Ciencias, Ingeniería y Medicina** para proporcionar, análisis y asesoría objetiva e independiente para la nación y llevar a cabo otras actividades para resolver problemas complejos y las decisiones sobre políticas públicas. La Academia Nacional también fomenta la educación y la investigación, reconoce las contribuciones sobresalientes al conocimiento, y aumenta la comprensión del público en materia de ciencia, ingeniería y medicina.

Más información sobre la Academia Nacional de Ciencias, Ingeniería y Medicina en www.national-academies.org.

El **Transportation Research Board** es uno de los siete programas principales de la Academia Nacional de Ciencias, Ingeniería y Medicina. La misión de la Junta de Investigación del Transporte es aumentar los beneficios que aporta a la sociedad de transporte, proporcionando liderazgo en la innovación y el progreso de transporte a través de la investigación y el intercambio de información, llevada a cabo dentro de un entorno que es objetiva, interdisciplinario y multimodal. diversas comisiones del Consejo, grupos de trabajo y paneles de participar anualmente alrededor de 7.000 ingenieros, científicos y otros investigadores de transporte y profesionales de los sectores y las instituciones académicas públicas y privadas, todos los cuales contribuyen con su experiencia en el interés público. El programa es apoyado por los departamentos de transporte estatales, agencias federales, incluyendo las administraciones que componen el Departamento de Transporte de Estados Unidos,

Más información sobre la Junta de Investigación del Transporte www.TRB.org.

Programas de Investigación Cooperativa

PERSONAL PARA INFORME DE INVESTIGACIÓN ACRP 203

Christopher J. Hedges, Director de Programas de Investigación Cooperativa

Lori L. Sundstrom, Director Adjunto de Programas de Investigación Cooperativa

Marci A. Greenberger, Gerente, Programa Cooperativo de Investigación Aeropuerto **Theresa H. Schatz**, Oficial Superior de Programas

Megan A. Chamberlain, Asistente Senior Program **Eileen P. Delaney**, Director de Publicaciones **Natalie Barnes**, Director Asociado de Publicaciones **Scott E. Hitchcock**, Editor en jefe

PANEL ACRP PROYECTO 09-17

Área de Mantenimiento

Casey W. Ries, Aeropuerto Internacional Gerald R. Ford, Grand Rapids, MI (Silla)

Alexander K. Bernier, Stantec, Hartford, CT

Angela R. Newland, CCI Servicios de Ingeniería, Fort Myers, FL

Owen K. Silbaugh, Jr., Massachusetts DOT, East Boston, MA

Dianne L. Walker, DW LLC, Detroit, MI

Kelvin CP Wang, Universidad del Estado de Oklahoma, Stillwater, OK

Gregory D. Cline, *FAA de Enlace*

Albert Larkin, *FAA de Enlace*

RECONOCIMIENTOS DE LOS AUTORES

La investigación presentada en este documento se realizó bajo ACRP Proyecto 09-17 por Applied Pavement Technology, Inc. (APTECH). Woolpert, Inc., y PMS Ltd. (Irlanda) sirven como subcontratistas en este estudio.

El Sr. David Peshkin, PE, De APTECH, fue el investigador principal y sus co-autores de APTECH incluyen a Peter-Paul Dzwilewski, PE; Kyle Potvin, PE; Katherine Gauthier, PE; y Monty Wade, PE. Desde Woolpert, co-autores incluyen a Eric Risner, PE; Ryan Robinson, PE; Chris Snyder, PE; y Marianne Cardwell. El PMS Ltd co-autor es el Dr. Kieran Feighan.

Los autores agradecen a todas las personas y organismos que se tomaron el tiempo para responder a las encuestas del proyecto. Los siguientes individuos de los aeropuertos que participan en los estudios de casos se esforzaron mucho para responder a las preguntas de los investigadores, proporcionar información adicional, y contribuir comentarios oportunos. Su aportación fue muy valiosa y sus contribuciones son muy apreciadas.

- Houston Airport System (Houston, Texas) - Sr. Vince Hamilton, PMP, GISP; El Sr. Dev Raj Pokhrel, PE; Sr. Scott B. Hill, PMP, SFP (todos de HAS)
- Departamento de Salt Lake City de Aeropuertos (Salt Lake City, Utah) - Nathan Mendenhall y Nathan Bolander
- El aeropuerto de Dublín (Irlanda) - Paul Cumiskey
- Autoridad del Aeropuerto Regional de Columbus (Columbus, Ohio) - Sr. David Gotschall
- Autoridad de Gerald R. Ford International Aeropuerto (Grand Rapids, Michigan) - Sr. Casey Ries
- Dakota del Norte (a nivel estatal) - Sr. Kyle Wanner, PE (NDDOT)
- Missouri (a nivel estatal) - Sr. Andrew Hanks (MoDOT), Sra. Amy Ludwig (MoDOT), Joe Pestka (Jviation), Cindy Kever (Jviation)

PREFACIO

Por Teresa H. Schatz

Staff Officer

Transportation Research Board

El Informe de Investigación ACRP 203: Guía para Recolectar, Aplicar y Mantener Datos de Condición de los Pavimento en Aeropuertos es una guía para los aeropuertos sobre las mejores prácticas en la recolección y uso de datos de estado del pavimento en campos de aviación. Como parte del proceso de gestión de pavimentos se utilizan los datos para determinar el Índice de Condición de Pavimentos (PCI), que a su vez se utiliza para informar y mejorar las operaciones, el mantenimiento y los programas de mejora de capital. La disponibilidad de orientación para ayudar a los aeropuertos a determinar los mejores métodos para recopilar, aplicar y mantener datos de las condiciones del pavimento no ha seguido el ritmo de los rápidos cambios en la tecnología asociada, y este informe fue desarrollado para hacer frente a la necesidad de orientación sobre las estrategias disponibles para pavimento recopilación de datos condición, uso y almacenamiento. Se utilizan herramientas para la toma de decisiones (árboles y matrices) para presentar las estrategias adecuadas.

Muchos aeropuertos ven este tema de manera diferente, y con las nuevas tecnologías desplegadas, seguirá habiendo una amplia gama de prácticas. Las directrices que se presentan ayudarán a las personas involucradas en los datos de condición del pavimento del aeropuerto a en la toma de decisiones relacionadas con esas prácticas.

Muchos aeropuertos han desarrollado programas de gestión de firmes; Sin embargo, hay desafíos relacionados con la recopilación y uso de datos de las condiciones del pavimento. Los datos están siendo recogidos de acuerdo con ATSM D5340, pero con un gran número de diferentes métodos y en diferentes niveles: a nivel de red, a nivel de proyecto, y mantenimiento y reparación. La recolección de datos sobre el estado del pavimento y el informe de PCI requieren mucho tiempo y son costosos. Obstáculos tales como las operaciones de aeronaves que limitan la capacidad de recopilar los datos que puedan resolverse con nuevas tecnologías en evolución. Los datos se utilizan en una serie de aplicaciones, incluyendo la determinación de la necesidad de mantenimiento y reparación; Sin embargo, la industria no se está dando cuenta del valor total de los datos recopilados. Además, los datos a menudo no se informan de una manera que sea fácilmente utilizable por los aeropuertos en sus planes de funcionamiento, mantenimiento y de capital.

La investigación para las directrices en el Proyecto ACRP 09-17 incluyó encuestas, entrevistas y estudios de casos. Applied Pavement Technology, Inc., dirigió la investigación en asociación con Woolpert, Inc. y PMS Ltd. Siete estudios de casos de utilización de los datos de condición del pavimento subrayan la gran variedad de enfoques que se utilizan, desde aeropuertos que son pequeños hubs a aquellos que son grandes hubs, así como por los organismos responsables de la gestión de varios aeropuertos.

Los estudios de casos, Apéndice B del informe, se pueden encontrar en la página web del informe en www.trb.org mediante la búsqueda de "ACRP Research Report 203."

CONTENIDO

1. Introducción.....	1
2. Importancia de los datos de Condición en la Gestión de Pavimentos.....	4
Recomendaciones de la FAA acerca de Condición del pavimento.....	4
Identificar las necesidades de mantenimiento del pavimento.....	6
Identificar pavimentos candidatos para preservación.....	7
Informe sobre el comportamiento del pavimento, rendimiento en el tiempo, y la tasa de variación.....	9
Preparar programas multianuales (CIP) y comunicar las necesidades.....	13
Resumen.....	15
3. Tipos de datos de condición y métodos de recolección.....	16
Tipos de Condición del Pavimento.....	16
Deterioro del pavimento.....	16
Perfil longitudinal.....	18
Características superficiales.....	19
Condición estructural.....	20
Métodos de Recolección de datos de Condición del Pavimento.....	22
Deterioro del pavimento.....	22
Perfil Longitudinal.....	32
Características Superficiales.....	32
Condición estructural.....	34
Resumen.....	36
4. Usos de Datos de Condición de Pavimento.....	37
El cumplimiento de las regulaciones de la FAA.....	37
Gestión a nivel de red.....	37
Inventario de pavimento.....	38
Condición del pavimento.....	38
Deflexiones del pavimento.....	40
Gestión a nivel estratégico.....	41
Planificación Estratégica Inicial.....	41
Finalización del Plan estratégico.....	45
Evaluación a nivel de proyecto.....	47
Condición del Pavimento / Mapeo de deterioros.....	47
Deflexión del pavimento.....	48
Planes de mantenimiento y reparación.....	50
Solución de problemas e Investigaciones Forenses.....	51
Comunicación a las partes interesadas de las condiciones y los planes.....	51

Resumen	52
5. Usos compartidos y Presentación de Datos de Condición	53
Categorías de usuarios de Datos de Condición	53
Mantenimiento	53
Operaciones	53
Ingeniería	54
Planificación y Gestión	54
Otras agencias y grupos	54
Datos de Condición a Nivel de Proyecto y Nivel de Red	55
Presentación de Datos Históricos y Resultados de Condición	55
Documentos de informes impresos	56
PMP Software y Bases de Datos	58
Presentación de Datos y Resultados del estado actual	59
Sitios web interactivos PMP	60
Futuros desarrollos	62
Cumplimiento de la Sección 508 de la Ley de Rehabilitación	62
Resumen	62
6. Almacenamiento, mantenimiento y acceso de datos	64
Almacenamiento de datos	64
Almacenamiento interno de datos	65
Almacenamiento externo de datos	66
Almacenamiento de datos en la nube	67
Software como servicio	68
El mantenimiento de la integridad de datos	68
Acceso a los datos	69
Sistemas de Información Geográfica	70
Normas de gobierno de datos	72
Resumen	73
7. Guía para Recolección de Datos	76
Árboles de Decisión	76
Factores Dentro de los Árboles de Decisión	78
Acerca de la Densidad de la Inspección	78
Toma de datos de Condición del Pavimento con Inspecciones que No son Manuales	78
Datos para cumplir con la FAA	79
Frecuencia de Recolección de Datos de Condición de Pavimentos	80
Datos para la gerencia	81
Datos para Ingeniería u otros departamentos técnicos	86
Otros usos	91
8. El Futuro de los Datos de Condición del Pavimento	93
Mejor cumplimiento (<i>compliance</i>)	93
Recolección y procesamiento de datos más rápido	94

Costos más Bajos	94
Mayor Precisión	95
Mejor Acceso a los Datos.....	95
Mejores Decisiones.....	95
Recomendaciones para investigación adicional.....	96
9. Referencias.....	98
10. Glosario	99

ANEXO A - Ejemplo de Árbol de Decisión

ANEXO B - Casos de Estudio

Introducción

“Datos de Condición del Pavimento” son datos que comunican diversos aspectos del desempeño de un pavimento. Tales datos incluyen las condiciones que se observan visualmente, así como también aquellos que se obtienen por medición mecánica u otros medios. Los deterioros observados visualmente en una superficie de pavimento (tales como agrietamiento, la formación de ahuellamiento o surcos, parches, y desprendimientos) son ampliamente utilizados y aceptados como indicadores de comportamiento del pavimento. Las respuestas estructurales de un pavimento, tales como las mediciones de deflexión obtenidos a partir de pruebas con un deflectómetro (FWD), ayudan a entender el comportamiento del pavimento. Los datos de FWD también se pueden utilizar para evaluar las propiedades de los materiales y la capacidad estructural general del sistema de pavimento y como inputs para generar Números de Clasificación de Pavimento (PCN), que los aeropuertos deben reportar como una forma de documentar las capacidades de transporte de carga de las instalaciones de aeropuertos designados. Las características del perfil longitudinal se pueden evaluar a la luz de las aeronaves que operan para determinar si se requieren cambios de perfil para las operaciones seguras de aeronaves, mientras que la fricción superficial del pavimento proporciona una indicación de si la aeronave puede aterrizar y llegar a detenerse de forma segura.

Aunque estos datos son muy diferentes, proporcionan la información necesaria sobre el desempeño del pavimento a los operadores de aeropuertos, ingenieros, planificadores, personal de mantenimiento, operaciones y las líneas aéreas. En resumen, los datos de condición del pavimento son insumos esenciales para el proceso de gestión de pavimentos de aeropuertos y garantizar la seguridad de las operaciones.

La tecnología disponible en la actualidad para recoger datos de condición del pavimento es considerablemente diferente a la disponible incluso hace 20 años, y nuevas tecnologías se están desarrollando y se introducen en la práctica a un ritmo rápido. Las nuevas tecnologías tienen la capacidad de proporcionar una multitud de beneficios, incluyendo los siguientes:

- Recolección más rápida de datos,
- Recolección de varios tipos de datos durante una única actividad,
- Generación de más datos y diferentes tipos de datos,
- Aumento de la precisión de los datos, y
- Operaciones de toma de datos más seguras, incluyendo en entornos de acceso limitado (por ejemplo, una sola pista, ambientes de 24 horas).

Sin embargo, hay inconvenientes asociados a tecnologías nuevas o mejores de recopilación de datos de pavimento. Estas tecnologías pueden llegar a costos más altos, por ejemplo, lo que plantea la cuestión de si los beneficios justifican el gasto. El ritmo de los cambios en el desarrollo e implementación de nuevas tecnologías en la práctica puede superar a la elaboración de normas y especificaciones aplicables, lo que requiere la consideración de si los datos recogidos son de hecho lo que se necesita para tomar decisiones. Por otra parte, no todos estos beneficios están asociados con cada nueva tecnología: la recolección más rápida no significa, por definición, mejores datos, y recoger más datos no significa que las decisiones resultarán mejores. Por último, algunas nuevas tecnologías no pueden proporcionar datos al mismo nivel de

detalle o resolución que las metodologías más tradicionales. Para datos que se analizan en series de tiempo, tales como las condiciones del pavimento, la adopción de nuevas tecnologías puede conducir a incompatibilidades entre nuevos o mayores conjuntos de datos, que hacen que sea difícil llevar a cabo este tipo de análisis.

Teniendo en cuenta los beneficios potenciales de la aplicación de las nuevas tecnologías de datos de condición de pavimentos en aeropuertos y los inconvenientes asociados, existe una clara necesidad de orientación sobre la recopilación, uso, mantenimiento, y la aplicación de datos de las condiciones del pavimento en los aeropuertos. Para hacer frente a esta necesidad, ACRP inició el Proyecto 09-17, “Recolectar, aplicar y mantener Datos de Condición del pavimento en los aeropuertos.” El propósito principal de este proyecto es desarrollar directrices para los aeropuertos que identifican las mejores prácticas basadas en la evidencia en la recopilación y utilizando los datos de estado del pavimento en campos de aviación. El resultado principal del estudio es este informe, Informe de Investigación ACRP 203, que tiene por objeto describir las mejores prácticas para la recopilación, uso, mantenimiento y aplicación de datos de las condiciones del pavimento en aeropuertos.

Los destinatarios principales de este informe son quienes participan en la recopilación, uso, mantenimiento y aplicación de datos de las condiciones del pavimento en los aeropuertos, que incluye tanto el personal del aeropuerto y sus consultores. Las responsabilidades de esta audiencia pueden incluir el diseño del pavimento, ingeniería, el mantenimiento, la planificación, el desarrollo de programas de capital, el desarrollo del presupuesto y otros aspectos de la gestión de los aeropuertos. Por otra parte, la atención se centra en la toma de datos de pavimentos en los aeropuertos llamados “Parte 139 FAA”, en los del Plan Nacional de Sistema Integrado de Aeropuerto (NPIAS), en aeropuertos de aviación general (GA) que cumplen con la subvención FAA Grant Assurances que no son aeropuertos Parte 139, y en departamentos de aeronáutica estatales involucrados en la gestión o el suministro de fondos para varios aeropuertos dentro del estado. Si bien este informe será de interés para los demás, se desarrolló en gran medida sobre la base de los aportes de este público objetivo descrito anteriormente.

Más allá de los requisitos de cumplimiento de la normativa, las necesidades de recolección de datos sobre el estado del pavimento de una agencia deben ser impulsadas por la forma en que tiene la intención de utilizar los datos. Por lo tanto, el propósito de este informe no es proporcionar instrucciones sobre cómo los datos del pavimento deben ser recolectados, usados, y gestionados, sino más bien es describir los posibles procedimientos relacionados con datos de pavimento que permitirá la implementación de un sistema de datos de pavimento que se adapte a las necesidades del usuario.

Este contenido fue desarrollado a partir de muchas fuentes diferentes. Se llevó a cabo una búsqueda de amplio alcance en la literatura, centrándose en publicaciones sobre el tema de los datos de Estado del pavimento del aeropuerto, sino por necesidad extendido a la aplicación de los datos de las condiciones del pavimento en las carreteras, donde muchas de las nuevas tecnologías se están desarrollando y ensayado. Las encuestas también se prepararon y distribuyeron a los consultores, aeropuertos, y los departamentos de aviación estatal; las respuestas de la encuesta llevaron a seguimiento mediante entrevistas telefónicas con representantes seleccionados de los aeropuertos que respondieron.

Una parte clave del estudio de antecedentes que condujeron a este informe fue el desarrollo de estudios de caso de siete aeropuertos o agencias de aeropuertos sobre sus experiencias con la recopilación de datos de pavimento, su uso y gestión. Las prácticas de cada organismo son variadas, lo que permitió que las mejores prácticas pudieran ser identificadas para cada tipo de aeropuerto. Estas siete organizaciones son las siguientes, y se proporcionan los estudios de caso en el Apéndice B, disponible para su descarga desde el sitio web TRB (trb.org) mediante la búsqueda de “ACRP Informe de Investigación 203”:

- Houston Airport System (Houston, Texas),
- Salt Lake City Departamento de Aeropuertos (Salt Lake City, Utah),
- Dublin International (Dublín, Irlanda),
- Autoridad Portuaria Regional de Columbus (Columbus, Ohio),
- Autoridad de Gerald R. Ford International Aeropuerto (Grand Rapids, Michigan),
- Dakota del Norte (a nivel estatal), y
- Missouri (a nivel estatal).

Además de este capítulo, este informe incluye las siguientes secciones:

Capítulo 2: Importancia de los datos de Condición de Pavimento en la gestión de pavimentos;

Capítulo 3: Tipos de datos de Condición y métodos de recolección;

Capítulo 4: Usos de los datos de Condición de Pavimentos;

Capítulo 5: Usos compartidos y Presentación del Estado de datos;

Capítulo 6: Almacenamiento de datos, mantenimiento y acceso;

Capítulo 7: Directrices de recopilación de datos;

Capítulo 8: Recolección de datos de próxima generación;

Apéndice A: Árbol de decisiones Ejemplo; y

Apéndice B: Estudio de casos.

Para muchos, el contenido principal de este informe se encuentra en el capítulo 7 sobre las directrices de recopilación de datos. Estas directrices son un recurso para aquellos que desean alinear las características y necesidades de su aeropuerto con los medios adecuados de recolección o toma de datos del estado del pavimento. Sin embargo, este documento también incluye contenido de fondo respecto a la importancia de los datos de condición pavimento (Capítulo 2), diferentes tipos de toma de datos (Capítulo 3), usos de los datos de condición pavimento (capítulo 4), la presentación de los datos (capítulo 5), y mantenimiento de datos (Capítulo 6).

En el último capítulo, el capítulo 8, se analizan las nuevas y cambiantes tecnologías de recopilación de datos. Varias de estas tecnologías se han probado, y algunas ya están en uso en los aeropuertos. El Capítulo 8 proporciona una visión hacia el futuro probable de la toma de datos del estado del pavimento en los aeropuertos.

Importancia de los datos de Condición en la Gestión de Pavimentos

Hay 382 aeropuertos principales y 2.950 aeropuertos no-primarios en el NPIAS (*National Plan of Integrated Airport Systems*) de Estados Unidos, incluyendo 530 aeropuertos que son "Parte 139". Tomados en conjunto, se estima que hay aproximadamente 460 millones de yardas cuadradas de superficies pavimentadas en campo de aviación en los aeropuertos NPIAS. La infraestructura pavimentada en muchos de estos aeropuertos tiene al menos varias décadas de edad, y las condiciones del pavimento varían considerablemente. La FAA tiene una meta de mantener el 93 por ciento de los pavimentos de pista en los aeropuertos NPIAS en condición excelente, buena o regular, y al año 2016 este valor se reportó como el 97,7 por ciento (FAA 2016, US DOT Bureau of Transportation Statistics 2017). Mantener los pavimentos de aeropuertos en un buen estado es crítico para la seguridad del público viajero y no es algo que ocurra por sí solo.

El proceso de gestión de estos pavimentos implica tomar decisiones apropiadas sobre su mantenimiento, conservación, rehabilitación y reconstrucción en un entorno limitado por financiación y por tiempo. Buenos datos de la condición del pavimento, junto a un análisis adecuado de estos datos, ayudan a los aeropuertos a tomar estas decisiones de manera oportuna y económica.

Más allá de la gestión de pavimentos, los datos de condición del pavimento son medidos y reportados para satisfacer muchas necesidades diferentes. En este capítulo se explora el uso de estos datos para lograr lo siguiente:

- Cumplir con los requisitos de la FAA;
- Determinar el tiempo, el tipo, y el costo de mantenimiento y reparación del pavimento;
- Identificar a los candidatos para la preservación del pavimento;
- Determinar la necesidad de mejorar las características de la superficie del pavimento;
- Informar sobre la capacidad estructural de los pavimentos;
- Informar sobre la ejecución del pavimento, de su rendimiento en el tiempo, la tasa a la cual cambia su condición, y la predicción de comportamiento futuro; y
- Preparar programas multianuales de mejora de capital (CIP) y comunicar las necesidades de diferentes grupos de interés.

Recomendaciones de la FAA acerca de Condición del pavimento

La FAA tiene varios requisitos y recomendaciones con respecto a la condición del pavimento. La Circular de Asesoramiento AC 150/5200-18C, "*Auto inspección de seguridad de Aeropuertos*", en relación a la gestión de un entorno de trabajo seguro para las aeronaves, establece cuatro componentes de un programa de seguridad de autoinspección; el componente de pavimento de cada inspección se describe como sigue:

- Inspecciones regularmente programadas: Como mínimo, una inspección diaria antes de comenzar las operaciones de vuelo debería verificar los bordes de pavimento (desnivel en el borde); determinar si hay cualquier grieta suficientemente amplia como para causar problemas de control de dirección; determinar si hay cualquier bache que podría causar problemas de dirección (diámetro de al menos 5 pulgadas y profundidad mayor a 3 pulgadas); buscar condiciones del pavimento que podrían producir objetos extraños (FOD); comprobar si hay crecimiento de la vegetación que impida el drenaje; y controlar e informar grietas, baches, variaciones, y vegetación que pueda causar pérdida de control direccional de la aeronave o daños al pavimento, incluyendo la posibilidad de acumulación de agua.
- Inspecciones de vigilancia continua: Estas inspecciones se producen cuando el personal de inspección está en el área de operaciones aéreas (AOA, *air operations area*) y se centran en la eliminación de objetos extraños (FOD).
- Inspección periódica de condición: Esta inspección es una verificación regular de la seguridad. Incluye la comprobación de la acumulación de caucho, pulido, y otros factores que afectan a la seguridad. La frecuencia puede ser semanal, mensual o trimestral, dependiendo de la actividad y de las instalaciones.
- Inspecciones especiales: Después de fenómenos meteorológicos o una queja por los usuarios, el pavimento debe ser revisado para encharcamiento, represamiento de borde, u otras condiciones que afectan la operación segura de la aeronave.

La FAA también requiere inspecciones de pavimento más detalladas, que cubren una gama más amplia de condiciones que la inspección de seguridad y proporcionan datos que se utilizan para otros fines. Estos requisitos están relacionados con el programa de mejora del aeropuerto (AIP), donde una agencia debe estar de acuerdo con las obligaciones con el fin de aceptar fondos. Una de estas obligaciones es el requisito de que los pavimentos aeroportuarios se mantendrán en un nivel seguro. La AC 150/5380-7B, *Programa de Gestión de Pavimentos de Aeropuerto (PMP, Pavement Management Program)*, afirma que en los aeropuertos obligados por el gobierno federal "personal capacitado debe realizar una inspección detallada de los pavimentos del aeropuerto al menos una vez al año", pero "si se dispone de antecedentes de deterioro registrado mediante una inspección del Índice de Condición del Pavimento (PCI) como se establece en la norma ASTM D5340, *Método de Evaluación Estándar para Inspecciones del Índice de Condición del Pavimento Aeropuerto*, la frecuencia de las inspecciones puede extenderse a 3 años".

Teniendo en cuenta todas estas regulaciones, los aeropuertos deben llevar a cabo ya sea un estudio anual del estado del pavimento, con poca orientación ofrecida respecto a lo que constituye una inspección aceptable, o bien completar una inspección PCI, que se describe con gran detalle en la norma ASTM y en otra parte. Debido a que una inspección anual puede ser algo costoso y perjudicial, la mayoría de los aeropuertos optan para satisfacer sus necesidades de PMP efectuando una inspección PCI al menos cada 3 años.

La fricción superficial es otra medida de la condición del pavimento atendida por la FAA mediante la AC 150/5320-12C, *Medición, Construcción y Mantenimiento de Superficies Aeroportuarias Resistentes al Deslizamiento*, que proporciona una guía de la FAA en la medición de fricción de la superficie. Aunque la AC 150 / 5320-12D está disponible actualmente en fase de proyecto, pronto se va a reemplazar el estándar existente. Esta AC también se ocupa de las dimensiones de ranurado del pavimento.

Referencias adicionales pertinentes en la medición de la fricción superficial incluir la norma ASTM E-274, *Método de Ensayo Estándar para la Resistencia al Deslizamiento de Superficies Pavimentadas por Medio de Neumáticos a Escala Real*, y Cir 329 AN / 191 de la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), *Evaluación, Análisis y Reporte del Estado de la Superficie de Pista* (borrador). Es importante tener en cuenta que la fricción, la textura superficial, y la demarcación en el pavimento se monitorean por separado de la gestión de pavimentos, y cuando éstas alcanzan niveles inaceptables, se gatillan medidas correctivas apropiadas, las que no son actividades de mantenimiento y la rehabilitación del pavimento (M & R).

Identificar las necesidades de mantenimiento del pavimento

Un uso importante de los datos de las condiciones del pavimento es para activar la aplicación de diversos tratamientos, o incluso para la determinación de que en el momento no se necesite ningún tratamiento. Una categoría de tratamientos de pavimentos es el mantenimiento, y la identificación de las necesidades de mantenimiento del pavimento es importante tanto desde el punto de vista de seguridad y como un componente del proceso de gestión de pavimentos. La circular de asesoramiento AC 150/5380-6C, *Directrices y Procedimientos para el Mantenimiento de Pavimentos de Aeropuertos*, señala que:

La detección y reparación temprana de los defectos del pavimento es el procedimiento de mantenimiento preventivo más importante. Si no se realiza el mantenimiento de rutina durante las primeras etapas de deterioro con el tiempo resultará en defectos graves en el pavimento que requieren reparaciones que serán costosas en términos de dólares y de horas de cierre. Primero se debe determinar la causa de los deterioros en el pavimento para que un aeropuerto pueda seleccionar un método de reparación que no sólo corrija los daños presentes, sino también logre prevenir o retardar su progresión.

Esta AC describe los componentes de una inspección de drenaje, evaluación de la fricción, y ensayos no destructivos (como se describe en la AC 150/5370-11, *Uso de Medios de Análisis No Destructivos en la Evaluación de Pavimentos Aeroportuarios*) e introduce el concepto de un programa de gestión de pavimentos, que se discutirá más adelante en este capítulo. Mientras que los programas de gestión de pavimentos, fricción y ensayos no destructivos se presentan todos en la AC 150/5380-6C de la FAA, que se discuten en mayor detalle en la propia AC.

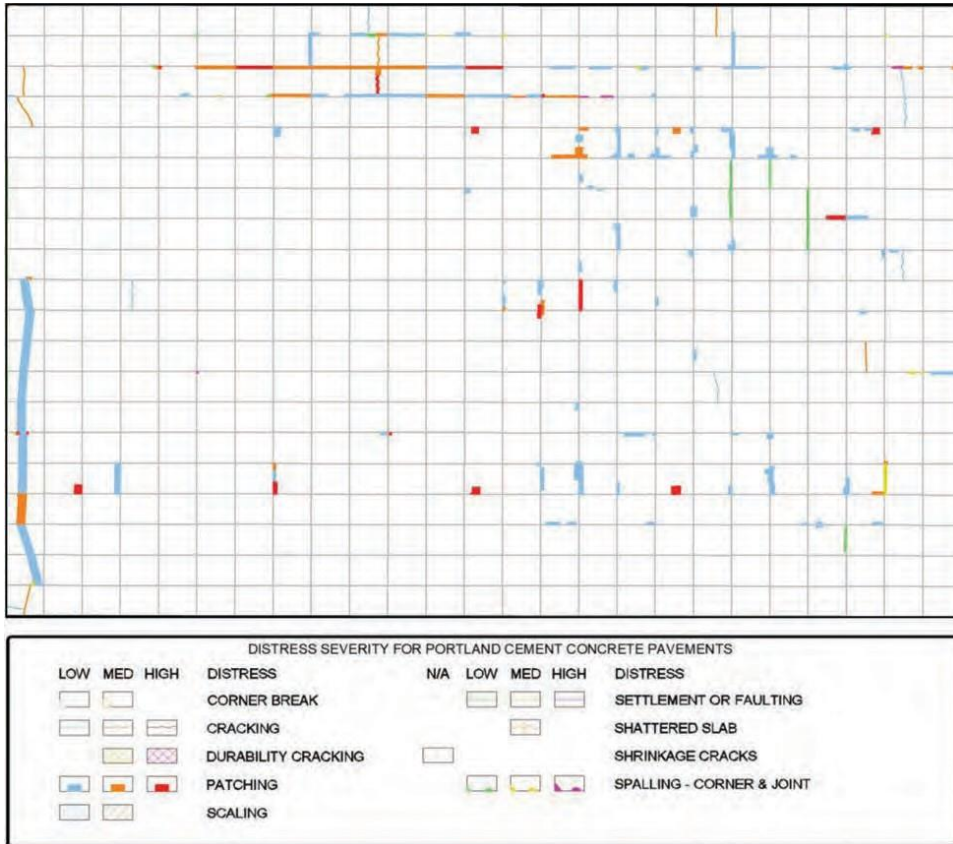
La identificación, clasificación, y la determinación de la cantidad de deterioro del pavimento es un componente central de la evaluación de pavimentos. En la AC 150 / 5380-6C, se identifican los deterioros de acuerdo con el tipo de pavimento: los deterioros en pavimentos flexibles se clasifican como deterioros de agrietamiento, la desintegración, la distorsión y la pérdida de resistencia al deslizamiento, mientras que los deterioros en pavimento rígidos incluyen agrietamiento, daños al sello de juntas, la desintegración, la distorsión, y la pérdida de resistencia al deslizamiento. El valor de la inspección de mantenimiento pavimento puede resumirse como sigue (AC 150 / 5380-6C):

Las inspecciones de mantenimiento revelan, en forma temprana, dónde existe un problema y proporcionan advertencia y tiempo suficiente para llevar a cabo una acción correctiva. El aplazar un mantenimiento menor puede convertirse en reparaciones mayores al pavimento. Evidencia visible de la solicitación excesiva y/o deterioros causados por el medio ambiente en los sistemas de pavimento puede incluir grietas, agujeros, depresiones, y otros tipos de fallas. La formación de deterioros en pavimentos de aeropuertos puede afectar gravemente a la integridad estructural, calidad de rodadura, y la seguridad. Para paliar los efectos de deterioros y para mejorar la serviciabilidad del pavimento aeroportuario, los aeropuertos deberían adoptar un programa eficaz y oportuno de inspección y mantenimiento y los procedimientos de reparación adecuadas.

Un valor adicional de estas inspecciones se encuentra en los enlaces que se establecen entre los deterioros identificados para cada uno de los tipos de pavimento y los tratamientos de mantenimiento apropiados. Si bien no se identifica ningún proceso específico de evaluación del estado del pavimento, se sugiere revisar una guía adicional que se encuentra en la AC de la FAA respecto a PMP, la cual discute el procedimiento PCI.

Para fines de mantenimiento del pavimento, en particular, el seguimiento de los deterioros individuales ofrece más valor que un índice o una calificación general como *buena, regular o mala*. Por ejemplo, parches y sellado de grietas son las actividades de mantenimiento comunes, y cuando se hace uso de los datos de condición del pavimento para reparar o sellar las grietas, es útil conocer la cantidad de los deterioros que requieren esas acciones de mantenimiento específicos. Si se utiliza el procedimiento de PCI para evaluar las condiciones del pavimento, en pavimentos flexibles el sello de grietas podría estar asociado a las grietas de longitudinales y transversales (L & T) de media severidad, y los parches en pavimentos rígidos podrían estar asociado con astillamiento (desconche) de juntas de media y alta severidad y astillas de esquina.

Conocer los pies lineales (LF) de agrietamiento y el número de desconches (“spalls”) facilita la planificación de las actividades de mantenimiento adecuados. Una mejora útil, en muchos casos, es el uso de un mapa de deterioros tal como la mostrada en la Figura 1 en que se presenta no sólo el tipo de deterioro y la severidad, sino también la ubicación de las fallas. Si se asignan los deterioros inicialmente, se trata de un simple esfuerzo para asociar la combinación tipo-severidad del deterioro con el mantenimiento adecuado o técnica de reparación. Sin embargo, mapas precisos de las necesidades de mantenimiento se desarrollan a partir de una inspección del 100 por ciento y no a partir de las inspecciones por muestreo que se realizan a menudo con fines de planificación estratégicos o tácticos.



© 2018 Applied Pavement Technology

Figura 1. Presentación de deterioros por losa en pavimento rígido.

Identificar pavimentos candidatos para preservación

La AC 150 / 5380-7B describe la preservación pavimento como la práctica de atender los pavimentos mientras que todavía están en buenas condiciones. Esto se ilustra en las curvas de la condición del pavimento en el tiempo en la Figura 2, donde se muestran los tratamientos de conservación disparadores mientras que el pavimento todavía está bien y en múltiples aplicaciones de preservación pueden preceder el primer tratamiento de rehabilitación. La FAA no parece tener una definición formal de “bueno”, “regular” y “pobre”, un enfoque que se utiliza para aplicar los términos descriptivos para rangos de PCI se muestra en la Figura 3 (véase la columna General de Calificaciones). ASTM D5340 (2012) presenta un gráfico similar en el que los rangos PCI se asocian con las siguientes categorías genéricas de las acciones del pavimento:

- PCI desde 100 a 70 - Preservación
- PCI desde 70 a 40 - Rehabilitación
- PCI desde 40 a 0 - Reconstrucción

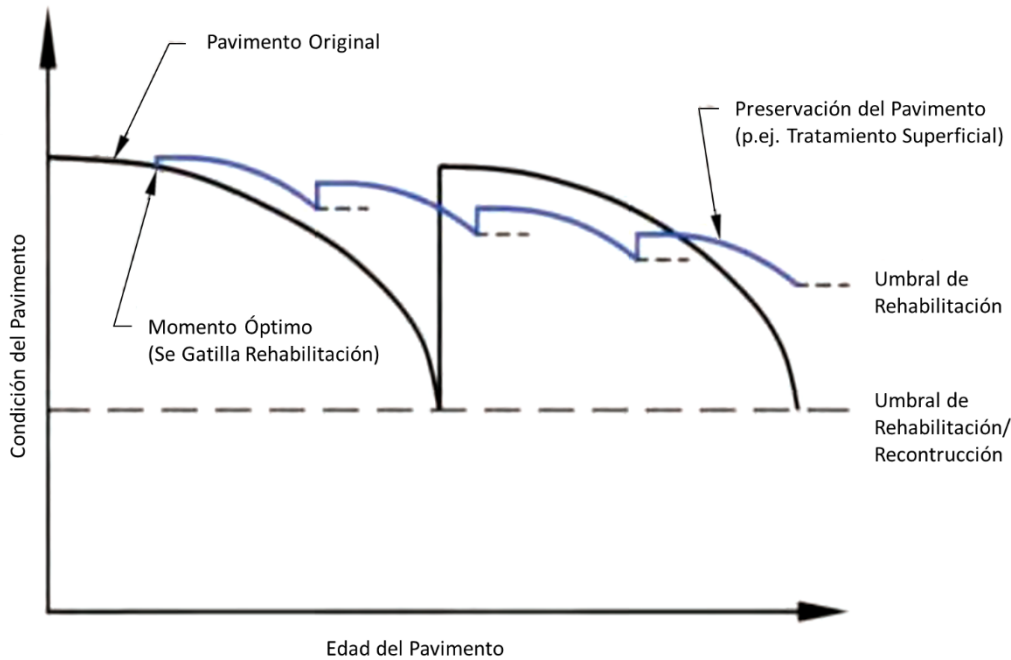


Figura 2. Tiempo relativo de preservación del pavimento y la rehabilitación del pavimento sobre la base de la condición del pavimento (AC 150 / 5380-7B).

La preservación de Pavimentos cada vez más está siendo reconocida como una estrategia valiosa para ayudar a gestionar una red pavimento de una manera rentable. Hay varios tipos diferentes de datos de estado del pavimento que ayudan a identificar a los candidatos adecuados para la conservación de pavimento. Un índice general sobre todas las condiciones del pavimento se utiliza a menudo para categorizar el comportamiento del pavimento y como un enlace a las estrategias recomendadas. La Figura 3 ilustra este concepto, en el que al PCI de un pavimento se asigna una calificación cualitativa y categorías de tratamientos probables se indican. La preservación se identifica como una estrategia adecuada para pavimentos de aeropuertos con un PCI de 70 o mayor.

Los deterioros individuales también se utilizan para activar la preservación del pavimento, ya sea solo o en combinación con una calificación general como la PCI. Tabla 6-1 en la AC 150/5380-6C se puede utilizar para que coincida con “problemas” (es decir, deterioros individuales) con tratamientos de conservación apropiados basados en la causa probable de la condición. La Tabla 1 sugiere estrategias de conservación apropiadas para deterioros en ambas superficies de pavimentos, flexibles y rígidos.

Si la presencia de un peligro o deterioros indica un pavimento se beneficiará de conservación, información de inventario adicional en el PMP se puede utilizar para desarrollar los costos de esa actividad.

Al usar de datos de la condición para identificar candidatos para la preservación del pavimento, puede que también sea importante confirmar que el pavimento no tiene una deficiencia estructural que todavía no ha aparecido como un deterioro del pavimento. Es decir, un pavimento puede tener un PCI mayor que 70 y no mostrar deterioros indicativos de una deficiencia estructural, pero aún así ser un mal candidato para preservación debido a la insuficiente capacidad estructural a largo plazo. Esto puede ser evaluado determinando la capacidad estructural del pavimento con las pruebas FWD.

Del mismo modo, un pavimento puede tener un PCI de menos de 70 y no tener problemas estructurales identificados y por lo tanto sería un buen candidato para la conservación de pavimento. La capacidad estructural de la mayoría de los pavimentos de aeropuertos se determina utilizando un FWD pesado, a veces referido como un deflectómetro pesado (HWD), debido a su capacidad para simular las cargas de engranajes de aeronaves de gran tamaño utilizando los pavimentos. Todas las referencias en este documento a FWD pueden interpretarse como que significa o bien un FWD o un HWD, el que sea apropiado.

PCI	Calificación General	Estrategia de Tratamiento
100	Bueno	Preservación
85	Satisfactorio	
70	Regular	Rehabilitación
55	Malo	
40	Muy Malo	Reconstrucción
25	Serio	
10	Fallado	
0		

Figura 3. Relación entre los valores de PCI, clasificaciones de pavimento, y las estrategias de tratamiento (basado en la AC 150 / 5380-7B).

Tabla 1. Estrategias de Preservación apropiadas para deterioros pavimento (modificado de AC 150 / 5380-6C).

Pavimento flexible		Pavimento rígido	
Deterioro	Tratamiento de conservación	Deterioro	Tratamiento de conservación
Meteorización / oxidación	Tratamiento de superficie	Daño en el sello de las juntas	Volver a sellar
Agrietamiento	Sello / resellado	Agrietamiento	Sello / resellado
Irregularidad de superficie	Cepillado, fresado	Desconche de junta	Reparación de profundidad parcial
Pérdida de resistencia al deslizamiento	Tratamiento de superficies	Pérdida de resistencia al deslizamiento	Cepillado con diamante
Mal drenaje	Nivelar márgenes (Si hay césped), limpiar drenaje	Mal drenaje	Nivelar márgenes (Si hay césped), limpiar drenaje

Informe sobre el comportamiento del pavimento, rendimiento en el tiempo, y la tasa de variación

Previamente se presentaron los requisitos de la FAA para los programas de gestión de pavimentos y los requisitos asociados para la toma de datos sobre el estado del pavimento. El PMP sirve para múltiples propósitos, como se describe por la FAA AC 150 / 5380-7B como:

...un procedimiento coherente, objetivo y sistemático para establecer políticas de la instalación, el establecimiento de prioridades y horarios, asignación de recursos, y el presupuesto para el mantenimiento y la rehabilitación del pavimento. También se puede cuantificar la información y proporcionar recomendaciones específicas para acciones necesarias para mantener una red de pavimento en un nivel aceptable de servicio y reducir al mínimo el coste de mantenimiento y rehabilitación. Un PMP no sólo evalúa la condición actual de un pavimento, sino que también predice su condición futura a través del uso de indicadores de condición del pavimento. Mediante la proyección de la tasa de deterioro, se puede hacer un análisis de costos en el ciclo de vida para obtener distintas alternativas y determinar el momento óptimo para aplicar la mejor alternativa de M&R y evitar mayores costos de M & R en el futuro.

Los datos de estado del pavimento son una parte clave de un PMP eficaz y los siguientes componentes se refieren específicamente a la condición del pavimento:

- Un medio sistemático para recoger y almacenar la información relativa a la estructura del pavimento y la condición del pavimento existente,
- Un sistema objetivo y reproducible para evaluar la condición del pavimento,
- Procedimientos para predecir el estado futuro del pavimento,
- Procedimientos para la interpretación de las condiciones pasadas y las modelaciones futuras del pavimento,
- Capacidad de predecir y, posteriormente, evaluar el efecto sobre la condición del pavimento de los trabajos de reparación y mantenimiento, y
- La capacidad de analizar varios presupuestos para determinar el impacto sobre la condición del pavimento de las secciones individuales y de la red de pavimento en su conjunto.

La condición frecuentemente se reporta ya sea en forma tabular o gráfica para comunicar los resultados de una inspección del estado del pavimento. La Tabla 2 es una presentación tabular de los datos PCI a partir de una inspección a nivel de red, mientras que la Figura 4 muestra las condiciones en un mapa de las instalaciones pavimentadas de un aeropuerto. El mapa es una forma particularmente útil para comunicar tanto la calificación del pavimento como las condiciones relativas de un pavimento a otro.

Mientras que cualquier medida de la condición del pavimento puede ser informado de esta manera, el uso del PCI es una práctica estándar en toda la comunidad aeroportuaria de Estados Unidos. El fundamento de la calificación PCI es la identificación y medición del tipo, severidad y extensión de los deterioros observados para pavimentos flexibles y rígidos. Las mediciones resultantes se resumen en un solo valor numérico en una escala de 0 a 100 para representar la condición de un pavimento, pero el análisis adicional de los deterioros puede indicar los probables factores que contribuyen al deterioro (considerando la relación entre el tipo de deterioro y su causa), la probabilidad de FOD, y el desempeño estructural del pavimento.

El valor de reportar las condiciones del pavimento actual radica en la capacidad de utilizar esa información para tomar decisiones informadas acerca de la necesidad actual de mantenimiento del pavimento y la rehabilitación. Cuando la información de estado del pavimento se informa a través del tiempo, los datos pueden ser utilizados para modelar o predecir las condiciones futuras. La Figura 5 ilustra las condiciones del pavimento en el tiempo, así como el modelo que mejor se ajusta a partir de dichos datos (que se muestra como la línea verde). Utilizando cualquiera gráfico de condición con el tiempo o la ecuación asociada del modelo de mejor ajuste, los resultados pueden ser usados para predecir cuándo un pavimento se deteriorará hasta el punto donde es necesario rehabilitación o alguna otra intervención. Cabe señalar que los deterioros incorporados en el PCI no cubren todos los factores que podrían dar lugar a un tratamiento de pavimento, porque el PCI no incluye resultados de fricción, calidad de rodadura (irregularidad) o respuesta estructural.

El uso de un procedimiento de medición consistente, tal como el PCI, a través de múltiples ciclos también permite una determinar la tasa de cambio en la condición. Se espera una pequeña caída anual en el PCI en un pavimento que está en buenas condiciones, mientras que un cambio anual mayor sugiere que el pavimento está entrando en una fase en la que puede ser necesaria la intervención. Por ejemplo, en la Figura 6 la curva "*Calculated Modelo Data*" es representativa de un modelo de comportamiento con una caída inicial empinada del PCI seguido de un período de estabilización y luego una disminución posterior. Dado un modelo de estas características, la intervención podría ser planificada durante el período de estabilización para extender la vida del pavimento.

Tabla 2. Presentación tabular de los datos PCI.

ID de rama	ID de Sección	Tipo de pavimento	Área, pies ²	PCI
A01PB	10	Asfalto	45,000	55
AFUELPB	10	Hormigón	2,000	98
RW826PB	10	Asfalto	39,9750	71
TH01PB	10	Asfalto	22,559	74
	20	Asfalto	21,760	69
	30	Hormigón	30,180	93
	40	Hormigón	765	88
TWA1PB	10	Asfalto	65,925	67
TWA2PB	10	Asfalto	16,320	65
TWA3PB	10	Asfalto	14,185	63
TWB1PB	10	Asfalto	7,710	72
TWFUELPB	10	Asfalto	17,815	66

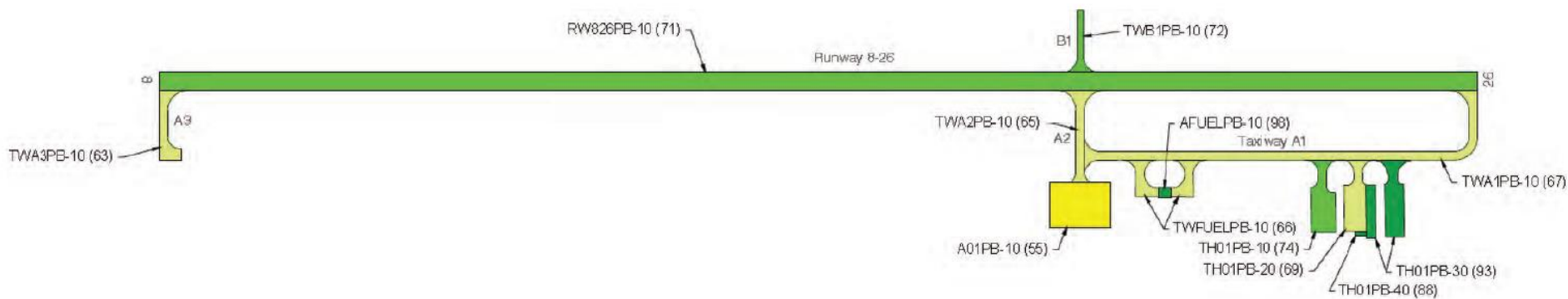


Figura 4. Presentación gráfica de datos PCI (el valor PCI se muestra entre paréntesis).

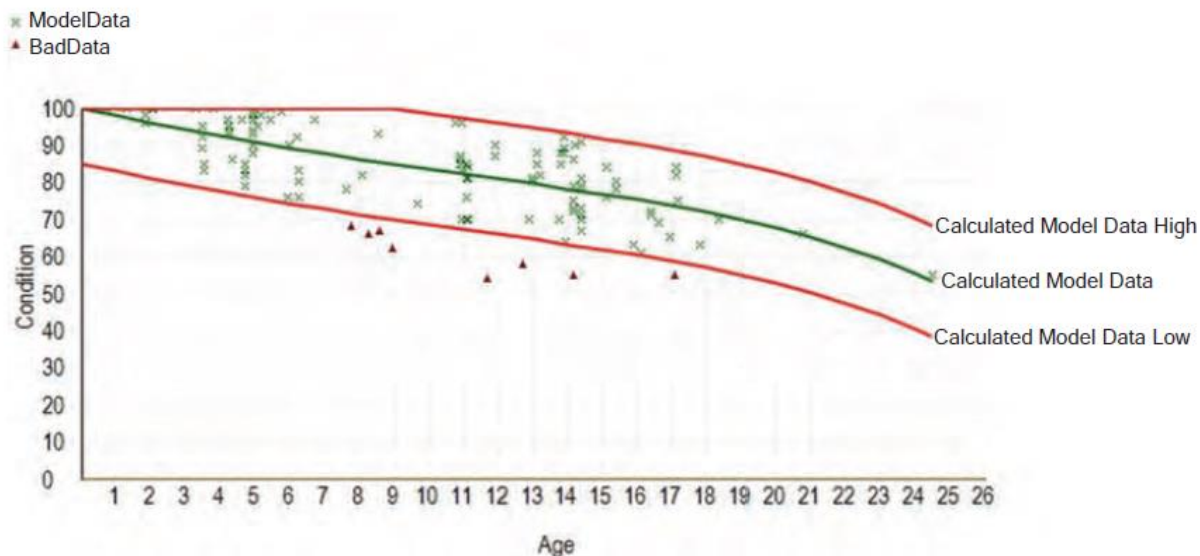


Figura 5. Ejemplo de gráfico con la condición de un pavimento flexible versus edad.

Preparar programas multianuales (CIP) y comunicar las necesidades

Cuando los datos de condición del pavimento se generan, analizan y almacenan como parte de un PMP¹ (*Pavement Management Program*, o Programa de Gestión de Pavimentos), la información necesaria está disponible para desarrollar programas multianuales CIP (*Capital Improvement Program*, o Programa de Mejora de Capital). En contraste con un plan de mantenimiento o de conservación, que por lo general está vinculado a las acciones requeridas en un año dado o como máximo a un año más, un CIP es una herramienta de planificación en el que se utilizan las proyecciones de las futuras condiciones del pavimento para indicar cuándo serán necesario ejecutar un proyecto de capital como por ejemplo una capa de refuerzo estructural o una reconstrucción. Los costos de varias actividades pueden agruparse para desarrollar presupuestos en cada año.

El PCI y los modelos que predicen las condiciones futuras son el punto de partida para generar CIP multianuales. Esta información se puede combinar de muchas maneras diferentes para comunicar diferentes opciones para los tomadores de decisiones, e incluso a los que no tienen una amplia experiencia técnica en datos de las condiciones del pavimento. El PCI y los valores futuros del PCI también pueden ser utilizados para comparar las condiciones actuales y las necesidades previstas respecto a programas CIP previamente generados y a los proyectos previstos. Al mismo tiempo, se reconoce que otros factores afectan los programas de capital, incluyendo planes maestros del aeropuerto y la capacidad y las limitaciones operativas existentes.

¹ Nota de traducción. Siglas como PMP y CIP se han mantenido, pero su definición y traducción se indican la primera vez que aparecen.

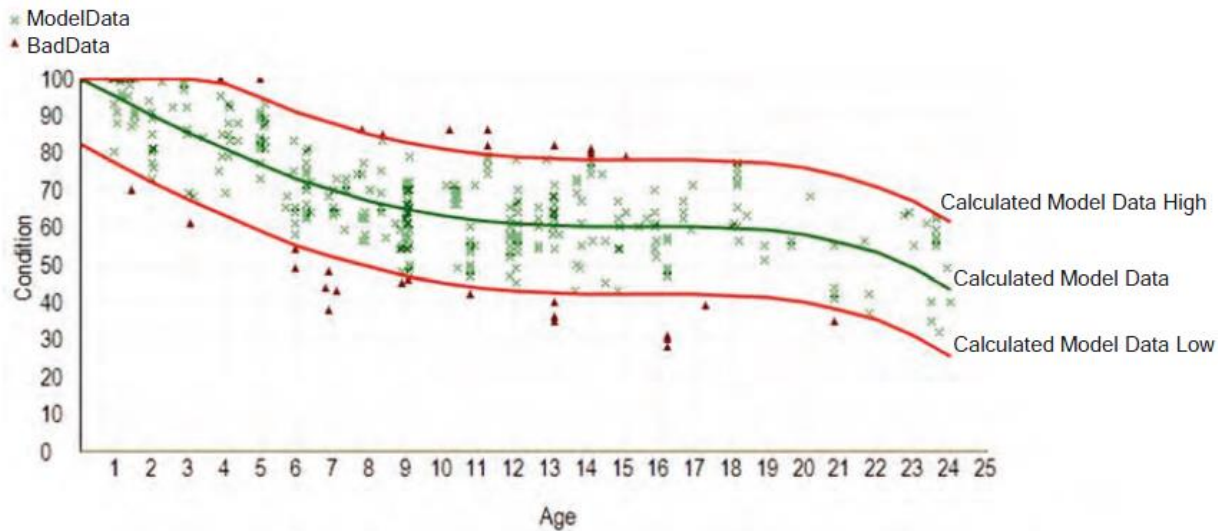


Figura 6. Ejemplo de gráfico de condición de una capa de asfalto sobre pavimento de hormigón versus edad, que muestra una disminución inicial comparativamente rápida.

Tabla 3. Ejemplo de proyecto de capital.

Año	ID de Rama	ID de Sección	Área, pies ²	PCI Antes de Proyectos de Inversión	Costo
2018	OR1331	01	200.000	56	\$ 289,000
		02	200.000	50	\$ 289,000
	RW1331	02	193.200	76	\$ 295.000
		03	6540	58	\$ 10.000
		06	14.800	59	\$ 21.000
2018 total					\$ 904.000
2019	TWM	01	78850	37	\$ 2,850,000
		02	103.100	44	\$ 3.722.000
2019 total					\$ 6.572.000
2020	OR1836	01	199.600	48	\$ 587.000
		02	201.000	50	\$ 591.000
	RW1331	09	99.200	43	\$ 292.000
		03	250,100	55	\$ 735,000
		04	420600	54	\$ 1.237.000
2020 total					\$ 3.442.000
2018-2020 total					\$ 10.918.000

Un programa CIP puede comenzar con una tabla de proyectos de capital que se desencadenan en los próximos años y los costos asociados, como se muestra en la Tabla 3.

Con los modelos basados en PCI, una amplia gama de escenarios alternativos puede ser analizada, tal como los siguientes:

- No hay presupuesto: condiciones pronosticadas en 5 años si no se construyen proyectos de capital.
- Opción con presupuesto fijo: la condición prevista en 5 años si el presupuesto de capital se fija en una cantidad dada.
- Mantener PCI actual: presupuesto necesario durante los próximos 5 años para mantener el PCI de la red en los niveles actuales.

- Lograr un PCI específico: presupuesto necesario durante los próximos 5 años para aumentar el PCI de red a un nivel objetivo.
- Eliminar la acumulación: presupuesto necesario para atender plenamente la acumulación de necesidades retrasadas de capital durante un período de tiempo determinado.
- Presupuesto ilimitado: fondos necesarios para hacer frente a todas las necesidades de capital.

Los costos del proyecto se utilizan para la planificación y programación a este nivel son por lo general los costos de tratamiento con algunos, pero no todos, los costos adicionales (tales como la ingeniería, lo que permite, planificación, diseño, supervisión de la construcción, y la movilización). Debido a que estos números se utilizan principalmente para fines de planificación, una consideración importante es el uso de un enfoque coherente en la presentación de informes.

Resumen

Los datos de condición son parte integral del proceso de gestión de pavimentos de aeropuertos. Todos los datos de condición representan el comportamiento de un pavimento en un momento dado, y estos datos a lo largo del tiempo se utilizan para modelar el comportamiento futuro. Tanto la condición actual como la condición futura proyectada pueden ser considerados en la determinación de si una actividad de mantenimiento, conservación, rehabilitación o reconstrucción es apropiado para una sección de pavimento dado. La proyección de la condición del pavimento a varios años en el futuro se utiliza para desarrollar programas CIP que sean realistas y lógicos. La presentación de los datos de condición en gráficos, tablas y mapas ayuda a comunicar conceptos importantes de ingeniería de pavimentos a todo tipo de grupos de interés.

A través de las circulares guías o de asesoramiento (*AC, Advisory Circulars*) correspondientes, la FAA proporciona orientación sobre la toma de datos del estado del pavimento, pero tiene muy pocos requisitos fijos. Uno de los requisitos que la FAA impone es el uso de un PMP para aquellos aeropuertos que reciben fondos federales para los trabajos de pavimentos. Sin embargo, existe cierta libertad con los datos de condición de pavimento que se introducen en el PMP. Se anima a los aeropuertos indirectamente a utilizar el procedimiento PCI de la norma ASTM D5340 permitiendo que dichas inspecciones se realicen en un ciclo de 3 años; de lo contrario, una evaluación anual debe ser realizada. Cuando se refiere a la seguridad, varios tipos diferentes de inspecciones de pavimento se especifican, pero no se requiere ningún método único para llevar a cabo tales inspecciones. Hay un énfasis en la frecuencia de estas inspecciones para controlar y asegurar la existencia de condiciones de seguridad en el funcionamiento de las aeronaves.

Hay una guía general que conecta las clasificaciones del estado del pavimento con categorías de acciones de tratamiento, tales como mantenimiento, conservación, rehabilitación y reconstrucción. Sin embargo, definir un programa CIP es mucho más complejo y debe tener en cuenta no sólo las condiciones del pavimento, sino que los costos de los tratamientos, los fondos disponibles, hacer agrupaciones lógicas de proyectos, y otros factores.

Tipos de datos de condición y métodos de recolección

Este capítulo examina los diferentes tipos de datos de condición o de comportamiento de pavimentos aeroportuarios que se utilizan comúnmente para controlar el desempeño de los pavimentos en aeropuertos y tomar decisiones acerca de las necesidades de dichos pavimentos. También examina las diferentes formas en las que se recogen datos sobre el estado del pavimento.

Tipos de Condición del Pavimento

Deterioro del pavimento

El término “condición del pavimento” es a menudo considerado como sinónimo de deterioro del pavimento, aunque es más exacto pensar en los deterioros como una de varias medidas de la condición del pavimento. Para los fines de este proyecto, el deterioro del pavimento se refiere a aquellos indicadores de desempeño del pavimento que son visibles o medibles en la superficie del pavimento. Aparte de las condiciones específicas detalladas en la AC 150/5200-18C que afectan a las operaciones seguras de las aeronaves, se describen medidas aceptadas de la condición visual del pavimento en la norma ASTM D5340. Este estándar “cubre la determinación de la condición de pavimentos de aeropuerto a través de inspecciones visuales de la superficie del pavimento, incluidas las capas porosas de fricción, y pavimentos de hormigón de cemento Portland con juntas con o sin refuerzo, utilizando el método de PCI para la cuantificación de la condición del pavimento.”

El estándar ASTM para PCI identifica y define cada deterioro y describe cómo se clasifica y se mide. La Tabla 4 resume esta información clave para pavimentos flexibles y rígidos. El contenido adicional en esta norma describe cómo llevar a cabo un estudio del estado del pavimento y cómo convertir la medición de los niveles de severidad y las cantidades de un pavimento en su valor PCI.

Hay varios sistemas diferentes para evaluar la condición del pavimento [ver, por ejemplo, el documento FHWA 2014, la norma ASTM para vías y estacionamiento (ASTM D6433), los protocolos AASHTO de deterioros, y los muchos procedimientos específicos de cada organismo]. En la comunidad de ingeniería aeroportuaria, la norma ASTM del PCI destaca como el procedimiento preferido. Se ha utilizado para evaluar pavimentos de aeropuertos en los Estados Unidos desde finales de 1970, y cuando se sigue el procedimiento de PCI, los resultados se aceptan como precisos y repetibles. Los valores PCI pueden ser rastreados en el tiempo o usados para comparar un aeropuerto con otro con confianza sabiendo que las tendencias observadas y las comparaciones son reales y significativos.

Existe un procedimiento alternativo para calificar pavimentos, sin embargo, es de uso bastante limitado. La AC150/5320-17ª de la FAA, “Manuales de Calificación y Evaluación de Superficie de Pavimentos de Aeropuertos” describe el proceso PASER (*Pavement Surface Evaluation and Rating*). Este proceso produce una clasificación visual de la superficie del pavimento en una escala de excelente a fallado, pero como se ha señalado en la AC, no está destinado a ser utilizado como parte de un PMP o para determinar la necesidad o la oportunidad de la rehabilitación del pavimento. Por el contrario, la

calificación PASER puede proporcionar información utilizada en el programa de datos de seguridad del aeropuerto y debe ser llevado a cabo anualmente.

Tabla 4. Deterioros, niveles de severidad, y unidades de medición para PCI en la norma ASTM.

Deterioros en pavimentos flexibles			Deterioros en pavimentos rígidos		
Deterioro	Severidad ^a	Medida ^b	Deterioro	Severidad ^a	Medida ^b
Agrietamiento piel de cocodrilo Alligator cracking	B, M, A	m ²	Blowup Blowup	B, M, A	Losa
Exudación Bleeding	N / A	m ²	Grietas de esquina Corner break	B, M, A	Losa
Grietas de Bloque Block cracking	B, M, A	m ²	Grietas longitudinales, transversales y diagonales Longit., transv., and diagonal crack	B, M, A	Losa
Corrugación Corrugation	B, M, A	m ²	< Durability cracking	B, M, A	Losa
Depresión Depression	B, M, A	m ²	Daño al sello de juntas Joint seal damage	B, M, A	Muestra
Erosión por jet blast Jet blast erosion	N / A	m ²	Parches pequeños Small patching	B, M, A	Losa
Grietas de reflexión de junta Joint reflection cracking	B, M, A	M	Parches grandes y servicios Large patching and utility cuts	B, M, A	Losa
Agrietamiento longitudinal y transv. Longitudinal and transverse cracking	B, M, A	M	Desprendimiento de áridos Popouts	B, M, A	Losa
Derrame de petróleo Oil spillage	N / A	m ²	Bombeo Pumping	B, M, A	Losa
Parches y parches corte utilidad Patching and utility cut patching	B, M, A	m ²	Escamaduras Scaling	B, M, A	Losa
Agregado pulido Polished aggregate	N / A	m ²	Escalonamiento o asentamiento Settlement or faulting	B, M, A	Losa
Raveling o Desprendimiento de áridos Raveling	B, M, A	m ²	Losas destrozadas Shattered slabs/intersecting cracks	B, M, A	Losa
Ahuellamiento Rutting	B, M, A	m ²	Agrietamiento de retracción Shrinkage cracking	N / A	Losa
Desplazamiento Shoving	B, M, A	m ²	Desconche o saltadura (junta) Spalling (joint)	B, M, A	Losa
Agrietamiento por deslizamiento Slippage cracking	N / A	m ²	Desconche o astillamiento (esquina) Spalling (corner)	B, M, A	Losa
Hinchazón Swell	B, M, A	m ²	Reacción álcali-sílica Alkali-silica reaction	B, M, A	Losa
Meteorización Weathering	B, M, A	m ²			

^a La severidad se clasifica como baja (B), media (M), o alta (A), o como no aplicable (N/A) si no se define nivel de gravedad.

^b Las mediciones en pavimentos flexibles son en m o m².

^c Los deterioros en pavimento rígidos se asignan ya sea a una losa o a una unidad de muestra.

² Nota de traducción. En lugar de m o m², el texto original en inglés indica pies lineales (LF) y pies cuadrados (SF)

Como se discutió en el capítulo 2, para documentar las condiciones del pavimento la FAA requiere el cumplimiento de la AC 150/5380-7B para proyectos financiados por el AIP (Airport Improvement Program) y por ingresos provenientes de cargos a los pasajeros por las instalaciones (PFC, *Passenger Facility Charge*). Esta AC requiere llevar a cabo inspecciones anuales detalladas, así como inspecciones diarias, semanales y mensuales menos exigentes. La intención de este requisito es garantizar que las agencias aeroportuarias están controlando cuidadosamente las condiciones de sus pavimentos. Cuando el personal a cargo de la gestión del aeropuerto, de ingeniería y de mantenimiento tienen un profundo conocimiento de las condiciones del pavimento, son más capaces de gestionar su red de pavimento de una manera segura y eficiente. Si una inspección de estado se lleva a cabo de acuerdo con la norma ASTM D5340, las inspecciones detalladas se pueden hacer en intervalos de 3 años. Hay poca orientación sobre qué procedimientos deben seguirse durante las inspecciones anuales detalladas, de manera que muchos aeropuertos optan por realizar inspecciones PCI cada 3 años.

En general, si las condiciones del pavimento no están cambiando rápidamente, el tiempo entre las inspecciones PCI se puede extender y todavía cumplir con los requisitos de la FAA. Un método para lograr esto sería llevar a cabo inspecciones PCI cada cinco años, con inspecciones anuales detalladas durante los años intermedios. Sin embargo, el abandono de las inspecciones PCI en su totalidad no es recomendable, ya que el procedimiento PCI entrega un valor discreto que cuantifica las condiciones del pavimento y el valor PCI se requiere a menudo para justificar la rehabilitación de una sección de pavimento.

Perfil longitudinal

El perfil longitudinal de un pavimento es una medida de las desviaciones en la elevación de la superficie del pavimento. Si bien lo que se mide es el perfil, los resultados se interpretan para ser reportados ya sea como rugosidad o suavidad del pavimento, y estos términos pueden ser considerados más o menos sinónimo. Una diferencia es que, durante la construcción, el énfasis está en la medición de la suavidad ("*smoothness*") como control de calidad y garantía de calidad, y se define como las desviaciones en el perfil de superficie medido por un perfilógrafo y se expresa como Índice de Perfil, y también mediante mediciones discretas con una regla de 12 pies. Como parte del programa de supervisión de la construcción se mide tanto perfiles transversales como perfiles longitudinales, pero debido al lugar en donde se toman las mediciones, éstas son únicamente un reflejo de la calidad de la construcción. Se supone que el cumplimiento de las especificaciones de construcción de la FAA para la suavidad produce un perfil de pavimento longitudinal aceptable.

Para pavimentos de aeropuertos en servicio, la rugosidad es un término más apropiado (como se indica en la FAA AC 150/5380-9, Directrices y Procedimientos para la Medición de Rugosidad de Pavimentos en Aeropuertos). No se puede esperar que todo pavimento será suave, parejo y uniforme en todas partes, pero en el contexto aeropuerto, la superficie pavimentada debe estar "libre de irregularidades de la superficie que pueden afectar las operaciones seguras, causar daño, o aumentar la fatiga estructural de un avión" (FAA AC 150/5380-9).

Vale la pena señalar que, en el contexto de pavimentos de carreteras, la atención se centra en la rugosidad y su efecto en la comodidad y seguridad que experimenta el conductor o el pasajero, mientras que en el contexto de aeropuerto, la atención se centra en la respuesta de la aeronave a las irregularidades en el perfil de la superficie, y la comodidad del pasajero es una preocupación menor. El objetivo principal es limitar la rugosidad del pavimento de los aeropuertos a un nivel en el que no perjudique las operaciones seguras o pueda causar daños o aumentar la fatiga estructural de la aeronave.

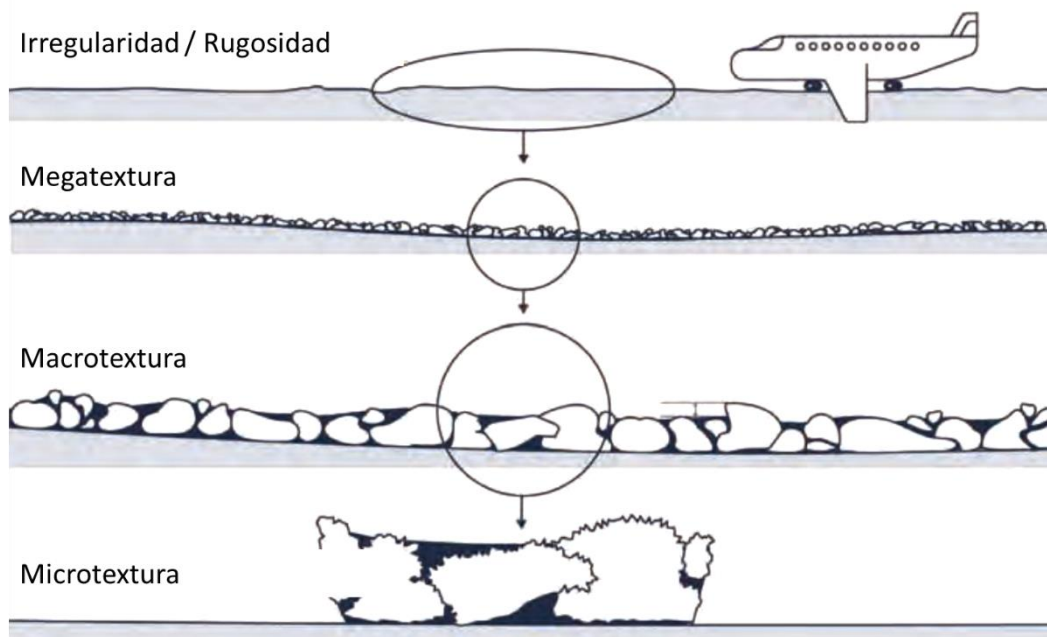
Para documentar el perfil longitudinal, la FAA exige el cumplimiento de la AC 150/5380-9 para los proyectos financiados a través de la AIP y con ingresos por PFC. Esta AC establece los procedimientos para evaluar el perfil longitudinal de una pista de aterrizaje para resaltos individuales (en una ubicación) a través del procedimiento Boeing Bump, y la FAA ofrece la herramienta PROFAA para ayudar a los profesionales a analizar los datos del perfil y generar informes estándar. No hay una frecuencia especificada en la cual se deba tomar datos de perfil longitudinal. Las pistas deberían ser examinadas si la rugosidad es algo que los pilotos mencionan, porque el método Boeing Bump se desarrolló a partir de la retroalimentación de los pilotos, o bien si se observan cambios en el perfil.

La rugosidad del perfil (rugosidad en longitudes de onda largas) no se evalúa por medio de procedimientos de la FAA, pero debe tenerse en cuenta durante el diseño. La irregularidad en el perfil puede llevar a la fatiga en diversos componentes del avión. No se espera que la rugosidad del perfil de la pista cambie con el tiempo, a no ser que sea como resultado de alguna obra o por asentamientos variables significativos.

Características superficiales

Las características de la superficie de la pista pueden ser documentadas mediante los valores de fricción, mediciones de la geometría del ranurado, y mediciones de la textura. Mientras que el perfil longitudinal se puede considerar como una medida de las irregularidades en el perfil en longitudes de onda largas (también denominado megatextura), que son interpretados por las aeronaves y vehículos como rugosidad, las características de la superficie son irregularidades de longitud de onda muy cortas. Los términos comunes que describen las características de la superficie son microtextura, o las irregularidades o la textura en la superficie de los agregados en una superficie de pavimento flexible o rígido, y macrotextura, que es la irregularidad de la superficie causada por la texturización, ranurado, y similares. Juntas, la microtextura y la macrotextura son importantes porque contribuyen a la resistencia al deslizamiento.

Un caso especial de las características superficiales de pavimentos de aeropuertos es el ranurado. Al ranurar pistas y calles de rodaje de alta velocidad, los mismos surcos (ranuras o "grooves") contribuyen a la macrotextura general del pavimento. La construcción de ranuras de pavimento se aborda en la AC 150/5370-10. Para proyectos financiados por el AIP y con ingresos de PFC, la FAA requiere que durante la construcción se cumpla con la profundidad de la ranura, la anchura, y el espaciamiento indicado en AC 150/5320-12C. Si las ranuras están construidas según las especificaciones, no hay una necesidad de evaluar las dimensiones de la ranura con frecuencia.



© 2018 Applied Pavement Technology

Figura 7. Microtextura, macrotextura, megatextura, y perfiles de superficie de longitud de onda más largas.

El monitoreo de las ranuras se discute en la AC 150/5320-12C y -12D (en borrador), en la sección 3-5. La AC establece la supervisión periódica de las dimensiones de la ranura, con las medidas correctivas necesarias cuando "40 por ciento de las ranuras en la pista son de una profundidad y/o ancho igual o menor a 1/8 de pulgada para una distancia de 1.500 pies...". No ofrece información sobre dónde medir las ranuras lateralmente o la forma de medirlas. Además de las mediciones manuales, ya sea de una muestra estadísticamente representativa o de todas las ranuras, se han utilizado

otras técnicas basadas en el escaneo láser de la superficie del pavimento para proporcionar una medición rápida de las dimensiones de las ranuras, y su uso sería apropiado para recoger un gran número de las mediciones de ranura para el análisis (Li et al. 2018).

La FAA no requiere el cumplimiento de la AC 150/5320-12D (en borrador) para las pruebas de fricción características; Sin embargo, hay pautas recomendadas. La frecuencia recomendada de medición depende del número de aterrizajes diarios de aeronaves jet por cada extremo de la pista como se muestra en la Tabla 5. Cada extremo de una pista de aterrizaje debe ser evaluado por separado para tener en cuenta los diferentes niveles de depósitos de caucho. Si el mix de tráfico por un extremo de la pista tiene 20 por ciento o más aviones de fuselaje ancho, la FAA recomienda el uso de la frecuencia indicada para el siguiente nivel superior, es decir, una fila más abajo en la tabla. Después de que se ha recogido suficientes datos en un extremo de pista, la frecuencia de las mediciones se puede ajustar en consecuencia. Las mediciones de fricción deben ser lo suficientemente frecuentes para detectar valores de fricción marginales pero no tan frecuentes como para desperdiciar recursos.

Tabla 5. Frecuencia recomendada para mediciones de fricción (modificado de la FAA AC 150/5320-12D [en borrador]).

Mínimo diario de aterrizajes Turbojet por extremo de pista	Frecuencia mínima de medición de fricción
≤ 15	1 Año
16–30	6 Meses
31– 90	3 Meses
91–150	1 Mes
151–210	2 Semanas
> 210	1 Semana

En la mayoría de los casos, la causa de los bajos valores de fricción será el exceso de depósitos de caucho. Aunque no se requieren medidas de textura a una frecuencia especificada, si los valores de fricción apropiados no se cumplen y la razón de los bajos valores de fricción no son claras, será necesario hacer medidas de textura. Las mediciones de textura pueden llevarse a cabo siguiendo los procedimientos en ASTM E 965-15 o en ASTM E 2157-15.

Condición estructural

La condición estructural de un pavimento es la medida de la capacidad del pavimento para soportar las cargas a las que está sometido. Esas cargas son normalmente las aeronaves que operan en el pavimento, pero en ocasiones otros vehículos pesados (como los camiones del abastecimiento de combustible, vehículos de rescate de aeronaves y de bomberos, vehículos de mantenimiento, etcétera), que operan en un pavimento diseñado para aviones más ligeros, puede tener mayor efecto que los aviones sobre la condición estructural de un pavimento de aviación.

La condición estructural o de comportamiento estructural de un pavimento de aeropuerto se evalúa tanto directa como indirectamente. Una medida indirecta ampliamente utilizada de la condición estructural es la medición de los deterioros relacionados con la carga. Este es el subconjunto de los deterioros de la norma ASTM D5340 que son causados directamente por la carga en el pavimento, que se muestran en la Tabla 6. Estos se utilizan para calcular un Índice de Condición de la Estructura o SCI (*Structural Condition Index*), que es el PCI calculado únicamente con los valores de deducción asociados con deterioros relacionados con la carga.

Otra evaluación ampliamente aplicada de la condición estructural de un pavimento es la medición de la deflexión del pavimento causado por una carga de impulso de magnitud y duración similar que la que resulta de una aeronave en

movimiento. La deflexión máxima registrada en la superficie del pavimento indica la resistencia relativa de la estructura del pavimento y distingue entre pavimentos fuertes y débiles.

Las deflexiones también se utilizan como valores de entrada en los procedimientos que producen estimaciones de condición estructural. Ejemplos de estos se muestran en la Figura 8.

Una evaluación directa de la estructura de un pavimento se logra muestreando el pavimento y luego haciendo la medición de sus propiedades, y en particular su resistencia, a través de pruebas destructivas.

Para la presentación de informes de números PCN (*Pavement Classification Number*), en proyectos financiados a través de la AIP y con unos ingresos de PFC, la FAA exige el cumplimiento de la AC 150/5335-5C en pavimentos con capacidad portante de 12.500 libras o más. Pistas pavimentadas de uso público (aquellos que son de la Parte 139 del 14 CFR) también deben reportar el valor PCN. Además, cuando los nuevos proyectos se completan con fondos AIP o PFC, el PCN y el peso bruto permisible deben ser reportados. No hay un período de tiempo determinado durante el cual un PCN seguirá siendo válido, pero si el pavimento se ha considerado estructuralmente firme, no han aparecido indicaciones visuales de deficiencias estructurales, y la mezcla de tráfico permanece igual, no es necesario hacer un análisis estructural adicional.

Aunque no es un requisito de la FAA, en la mayoría de los casos la capacidad estructural de un pavimento particular debe ser examinada superficialmente al menos cada 10 años para garantizar las condiciones de la obra y que el tráfico no ha llevado a cambios significativos en la condición estructural del pavimento desde la última evaluación. Además, los métodos utilizados para evaluar la capacidad estructural de una sección de pavimento cambian periódicamente. Para propósitos de comparación, se sugiere que todos los pavimentos dentro de una agencia deberían ser evaluados usando los mismos procedimientos en condiciones generales similares (tales como las temperaturas y la saturación de base / subrasante).

Tabla 6. Deterioros en ASTM D5340 relacionados con la carga.

Pavimentos flexibles	Pavimentos rígidos
Agrietamiento piel de cocodrilo	Grietas de esquina
Grietas de reflexión de junta*	Grietas longitudinales, transversales y diagonales
Ahuellamiento	Bombeo
	Escalonamiento o asentamiento
	Losas destrozadas
	Desconche o saltadura (junta)*
	Desconche o astillamiento (esquina)*

* El deterioro puede estar relacionado con la carga o atribuirse a otras causas no relacionadas con la carga.



© 2018 Applied Pavement Technology

Figura 8. Relación entre los datos de deflexión y usos (BAKFEE, FAARFIELD y COMFAA son programas de diseño de aeropuertos).

Métodos de Recolección de datos de Condición del Pavimento

Las tecnologías disponibles para recopilar datos sobre el estado del pavimento se están expandiendo y haciéndose cada vez más complejas. Donde hace 40 años las técnicas más utilizadas involucraban evaluaciones visuales y mediciones destructivas, hoy la recolección de datos de condición del pavimento es cada vez más impulsada por la tecnología y es no destructiva. El impacto positivo de estos cambios es la generación de una mayor cantidad de datos que son más precisos y, en muchos casos, están disponibles más rápidamente y dentro de mayores limitaciones operativas. Cada vez más, los datos de condición del pavimento son georreferenciados de modo que su ubicación se puede evaluar en relación con muchos de los factores que pueden afectar las condiciones. En muchos casos, los avances en la tecnología también contribuyen a las operaciones de toma de datos más seguras. Sin embargo, para algunas medidas de condición existen tecnologías competidoras, y aún no se ha establecido qué tecnología es la más precisa o rentable.

Deterioro del pavimento

La norma ASTM D5340 es la guía definitiva para la definición de deterioros del pavimento. Se describe un estándar en el que los deterioros se identifican, se miden, y se mapean recorriendo el pavimento y usando una rueda de medición, regla o línea, y escala, como se muestra en la Figura 9. A lo largo de esta norma, es obvio que este procedimiento ha sido desarrollado para ser aplicado como una inspección manual y visual. La información visual (es decir, el tipo de deterioro, la severidad y su extensión) se recoge ya sea en un formulario de papel o un dispositivo electrónico de mano tal como un laptop o tablet.

Mientras que el PCI fue desarrollada para ser realizada como un procedimiento de inspección visual y el procedimiento describe la recolección manual de deterioros PCI, la tecnología está disponible hoy para recoger e incluso muchos de los procesos del PCI se conducen de manera automatizada o semi-automatizada.



© 2018 Applied Pavement Technology

Figura 9. Inspección manual de condición visual utilizando rueda de medición para registrar las dimensiones de los deterioros.

Inspección Aérea de Condición

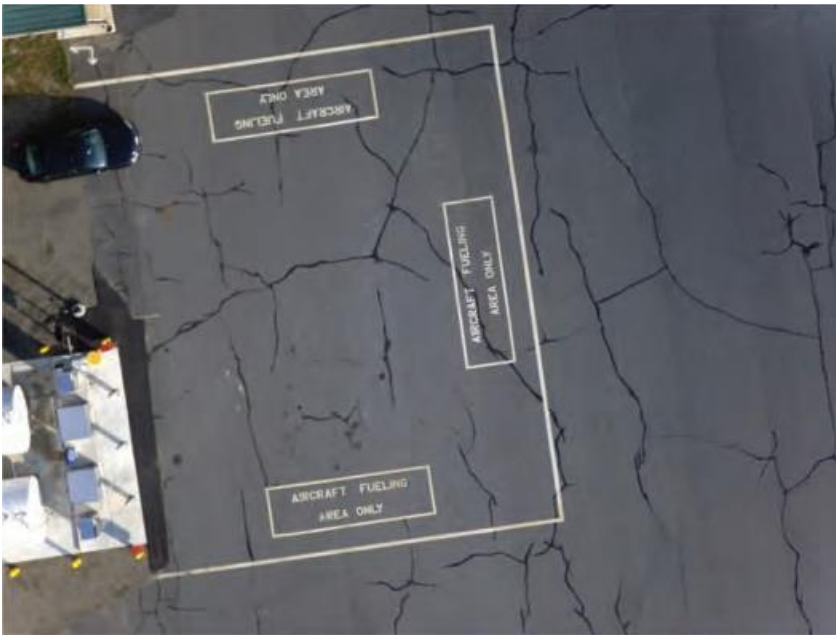
La capacidad de montar una cámara mirando hacia abajo en un avión u otro vehículo en el aire y la captura de imágenes

digitales de las condiciones del pavimento ha estado disponible desde hace mucho tiempo. El producto resultante es 2D, de dos dimensiones, por lo que la mayoría de los deterioros con una profundidad o componente “z” (por ejemplo, el ahuellamiento, corrimientos, depresiones, escalonamiento) puede no ser fácilmente identificados. La utilidad de esta tecnología también se ve limitada por la resolución de la imagen, que es una función de la cámara, las condiciones de iluminación, y la velocidad y la altura a la que se recoge la imagen.

Un desarrollo relativamente reciente es el uso de sistemas aéreos no tripulados (UAS, *unmanned aerial systems*), o UAS pequeños (sUAS, *small UAS*), o aviones no tripulados, equipados con cámaras, para llevar a cabo la obtención de fotos y de videos de inspección del pavimento. Una discusión de los problemas asociados con la operación de UAS en el espacio aéreo controlado está más allá del alcance de este documento. Sin embargo, incluso con las restricciones regulatorias que actualmente existen, los UAS ya se están desarrollando para evaluar las condiciones del pavimento. Estos dispositivos pueden ser programados para volar una ruta de vuelo autónomo y puede inspeccionar una pista típica de aeropuerto comercial de 8.000 pies de largo en menos de 1 hora (en una inspección PCI similar, realizar manualmente la inspección completa podría tardar hasta 16 horas con un equipo de dos personas, dependiendo de la condición del pavimento). Como parte del Proyecto ACRP 03-42, “Aeropuertos y UAS”, en agosto de 2017, se llevó a cabo una demostración en el Aeropuerto de Front Range en Colorado en el uso de UAS dentro de espacios aéreos controlados. Las imágenes digitales de la condición del pavimento fueron tomadas con un dron y se comparan con los deterioros del pavimento obtenidos por métodos manuales.

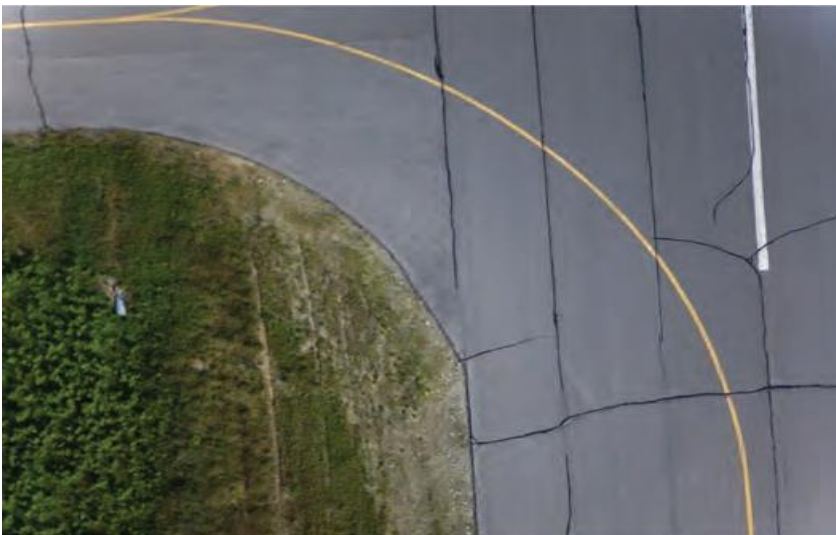
Se sabe de varias empresas realizando estudios de prueba de concepto en el uso de UAS en aeropuertos, independientemente de los esfuerzos ACRP. En marzo de 2017, una empresa de consultoría con sede en los Estados Unidos utilizó un Topcon Falcon 8 para recoger 630 fotos en 20 minutos a lo largo de 3,000 pies en la pista 9L/27R en el aeropuerto Hartfield- Jackson de Atlanta. Las imágenes fueron post-procesadas para planificar rehabilitaciones el futuras de pavimentos (UAS Magazine 2017). Las imágenes mostradas en las Figuras 10 y 11 se registraron en un aeropuerto de AG en Maine, con un con un sUAS con los permisos adecuados.

Las Cámaras disponibles hoy en día proporcionan una imagen de muy alta resolución (1 pixel = 0,1 pulgadas), haciendo factible la identificación manual y la medición de muchos deterioros del pavimento y sus niveles de severidad. Sin embargo, al igual que con las otras tecnologías de imágenes, los principales avances tecnológicos se encuentran en la capacidad de interpretar los tipos de deterioro y la severidad a través de algoritmos de software basadas en una interpretación de los píxeles.



© 2017 HTA

Figura 10. Área de plataforma capturada por un sUAS.

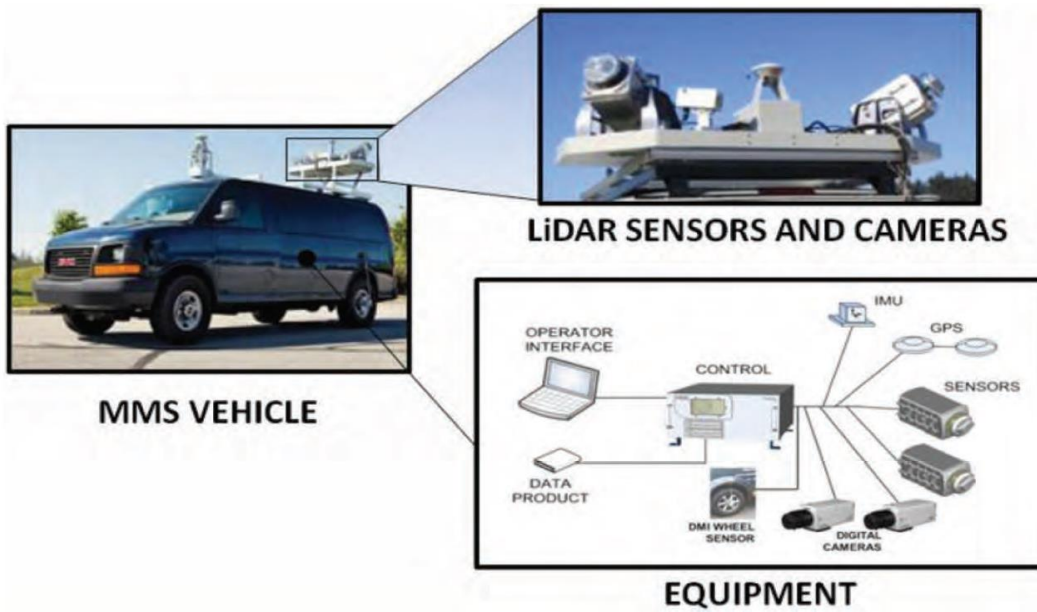


© 2017 HTA

Figura 11. Condición de calle de rodaje vista desde un sUAS.

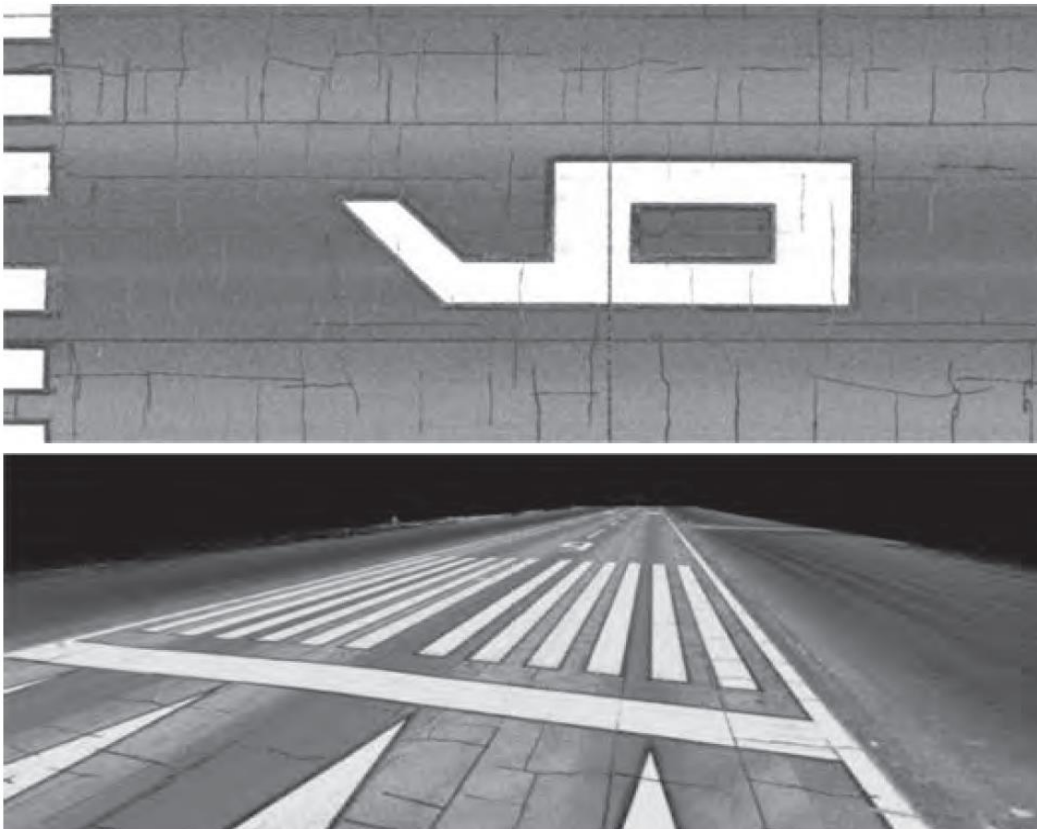
LiDAR (Light Detection and Ranging)

Sensores LiDAR equipados en vehículos terrestres, con el apoyo de sistemas de localización en referencia, generan una imagen de nube de puntos de la superficie del pavimento. La Figura 12 muestra una típica furgoneta equipada con LiDAR, con cámaras adicionales digitales, equipos de medición de distancia, y GPS. La Figura 13 muestra dos imágenes de nubes de puntos (no fotografías) de una superficie de la pista. La nube de puntos puede ser analizada como se muestra en la figura 14 para extraer cantidades de deterioros así como muchas otras características del aeropuerto que se pueden identificar a partir de los datos.



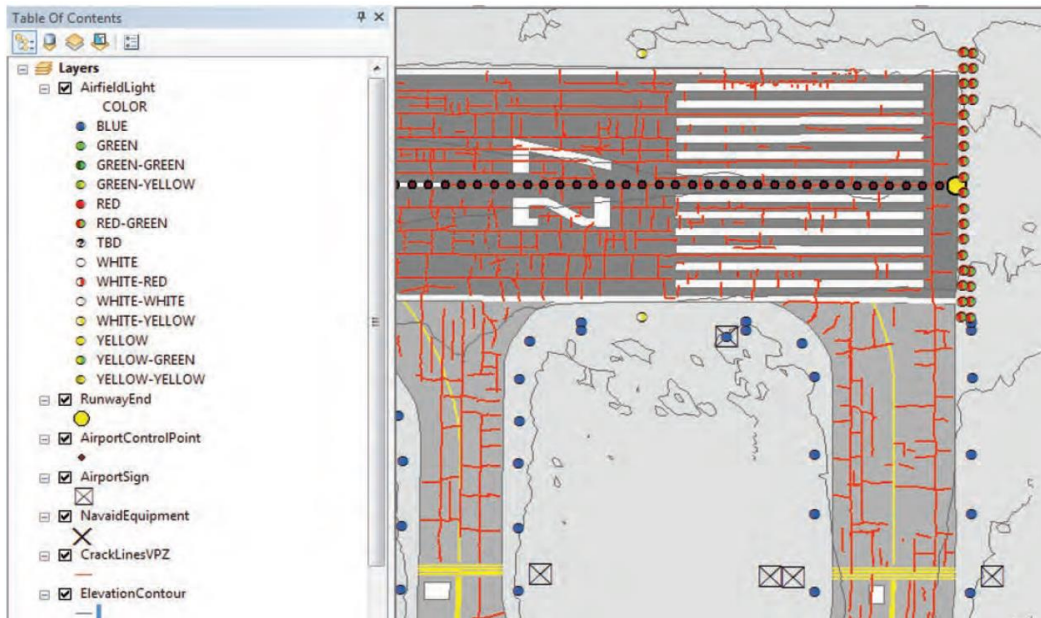
Images © 2014 Woolpert

Figura 12. Vehículo equipado con LiDAR que muestra los sensores LiDAR y un esquema de hardware asociado (MMS=Sistema de Cartografía Móvil).



© 2018 Woolpert

Figura 13. imágenes LiDAR de superficie de la pista.



© 2018 Woolpert

Figura 14. Interpretación de los datos LiDAR para identificar la condición del pavimento y otros activos.

Imágenes Láser en 3D

Las imágenes en 3D con láser es una tecnología ampliamente utilizada para recoger y analizar datos de pavimento de deterioros en carreteras, pero actualmente se utiliza con mucha menos frecuencia en pavimentos de aeropuertos. Esta tecnología montada en vehículo utiliza múltiples scan (exploraciones) de líneas láser para generar una imagen en 3D de la superficie del pavimento que puede ser capturado a velocidades de tráfico y bajo cualquier condición de iluminación, aunque no puede funcionar cuando la superficie del pavimento está mojada. Mientras que las versiones anteriores de esta tecnología proporcionan una imagen 2D que hace que sea difícil identificar y evaluar algunos deterioros del pavimento, las versiones 3D actuales incluyen la capacidad para resolver condiciones de la superficie a aproximadamente 0,039 pulgadas, por lo que es posible identificar problemas como el raveling (pérdida de agregados) y distinguir entre niveles de severidad.

La Figura 15 es un gráfico de una furgoneta equipada con tecnología de imagen 3D-láser y la Figura 16 es una comparación de una imagen de pavimento capturado con imágenes láser 3D (lado izquierdo) y de imágenes láser 2D (lado derecho). En la imagen 3D es posible identificar y diferenciar niveles de severidad, así como características de la superficie, mientras que esto no es tan fácil de lograr en la imagen 2D.

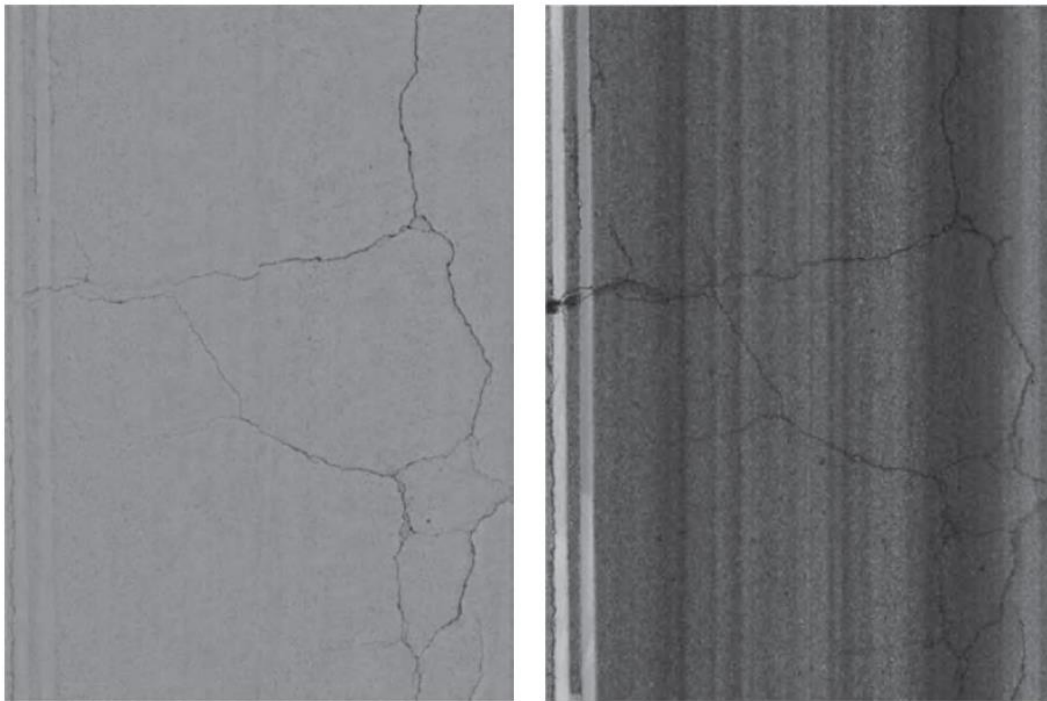
Inspecciones con cámaras instaladas en un vehículo

Los mismos tipos de cámaras que se utilizan en estudios aéreos se pueden montar en vehículos terrestres y se utilizan para recoger datos de las condiciones del pavimento. Una de las ventajas de montar estas épocas ñas en un vehículo es que estar más cerca del suelo proporciona imágenes de mayor resolución. Una desventaja mary pri- es su limitada capacidad para capturar todas las deterioros del pavimento, o para distinguir entre los niveles de gravedad. A menudo, diferentes tipos de cámaras están montadas en los vehículos de toma de datos para complementar la información recopilada mediante LIDAR o imágenes en 3D con láser. Estas cámaras, cuando se señaló más allá del pavimento, pueden proporcionar información útil sobre otros elementos de la infraestructura del aeropuerto.



© 2018 Applied Pavement Technology

Figura 15. Vehículo equipado con imágenes en 3D-láser y otros sensores.



© 2018 PMS

Figura 16. Comparación de una imagen de pavimento 3D (izquierda) e imagen 2D (derecha).

Discusión de Tecnologías para Deterioros del Pavimento

La aplicabilidad de las diversas tecnologías disponibles para completar inspecciones de deterioros del pavimento es uno de los temas más polémicos entre los que participan en el suministro y uso de la información recogida. Cada uno de los enfoques analizados anteriormente tiene ventajas y desventajas, entre las que están el grado variable en que cada uno

cumple con las normas de la FAA. Además de la cuestión del cumplimiento, sin embargo, están las consideraciones importantes en relación con el costo de los diferentes enfoques, la utilidad de los resultados, la velocidad con la que la información puede ser recogida y analizada, el impacto en las operaciones de toma de datos, y la exactitud de la información.

La inspección visual de la condición es el único método de completar una encuesta estado del pavimento que cumple estrictamente con la metodología ASTM D5340. Esto es en parte una función de cómo el estándar ASTM está escrito, los deterioros incluidos, y la manera en la que se identifican los niveles de severidad. Mientras que la inspección visual de condición ofrece el más alto nivel de precisión, es un trabajo intensivo y toma potencialmente mucho tiempo, pueden tener el mayor impacto adverso en las operaciones del aeródromo (dependiendo de la frecuencia de las inspecciones), y puede ser más costoso que otras técnicas de recolección de datos. Se lleva a cabo ya sea de día o con iluminación artificial.

Un aspecto de la aplicación de estas tecnologías es el supuesto de repetibilidad (sin ni siquiera hacer frente a su exactitud). Si las condiciones climáticas son adecuadas para la recolección de datos, áreas específicas de pavimento pueden compararse directamente y ser evaluados a través de múltiples inspecciones. En contraste, la inspección visual de condición basado en la norma ASTM D5340 tiene un conjunto bien definido de reglas que se pueden aplicar de manera algo diferente, ya sea por el mismo evaluador en diferentes momentos o por diferentes evaluadores. Una variedad de factores (por ejemplo, la interpretación de de la ASTM D5340, las condiciones climáticas, la iluminación, los factores humanos, etc.) puede tener un impacto en la repetibilidad de una inspección visual de condición. Para aumentar la capacidad de repetición de las inspecciones visuales, se sugiere que los inspectores tengan amplias fotografías y tomen notas para complementar los datos recogidos.

Los estudios aéreos por sUAS aún no son capaces de proporcionar toda la información sobre los deterioros del pavimento que se pueden obtener mediante una inspección visual o manual, pero permiten la obtención de imágenes del pavimento en una fracción del tiempo necesario para realizar una inspección manual. Estos métodos son útiles para inspecciones frecuentes, donde es difícil de inspeccionar rápidamente la totalidad de la superficie de un pavimento. El resultado de un reconocimiento aéreo es también particularmente útil para el mapeo de las necesidades de mantenimiento del sellado de grietas y parches. De hecho, a menos que una inspección PCI cubra el 100 por ciento de la superficie del pavimento e incluya el mapeo de los deterioros, los resultados no se prestan bien para la elaboración de cantidades y ubicaciones precisas de mantenimiento y reparación, mientras que un reconocimiento aéreo es ideal para ese propósito.

Es bastante fácil y barato implementar los equipos necesarios para completar una inspección de pavimento con sUAS. Las desventajas incluyen las barreras planteadas por los permisos y la operación de sUAS en el espacio aéreo restringido, la incapacidad de la tecnología para resolver todos los deterioros de los pavimentos, y la dificultad en la evaluación de las condiciones del pavimento debajo de obstáculos tales como aeronaves estacionadas, mangas de acceso a aeronaves, y similares. Además, puesto que las imágenes recogidas no caracterizan todos los deterioros de acuerdo con la norma ASTM, no va a proporcionar un PCI verdadero. Esto afecta tanto a la precisión del valor del PCI como a la capacidad de comparar un PCI obtenido de esta manera contra los PCI obtenidos siguiendo la norma ASTM.

Los equipos LIDAR montados en vehículos tiene la capacidad de generar un gran volumen de información de la condición del pavimento viajando a velocidades de funcionamiento seguro. Si bien no es posible llevar a cabo un estudio completo PCI con LIDAR, se ha utilizado en conjunto con las inspecciones de terreno (medición física de lo que fue grabado por otras tecnologías) para evaluar las condiciones. Los datos LiDAR requieren capacidades de almacenamiento informático extensas, y este aspecto debe ser considerado por quien será “el dueño” de los datos. Se utiliza LiDAR más eficazmente cuando se necesita también para otro propósito, como para capturar los datos de topografía u otros activos. Los equipos LIDAR no funcionan bien en la presencia de niebla, lluvia, nieve, humo / polvo, etc.

Imágenes 3D-láser, cuando se combina con sensores sin contacto para grabar el perfil transversal, es lo que más se acerca a ser capaz de captar los deterioros de acuerdo con las definiciones de ASTM D5340. Sus capacidades contrastan con las imágenes 2D-láser, que sólo miden la intensidad y no profundidad. Los deterioros que son problemáticos para identificar con imágenes 2D-láser son los que tienen una tercera dimensión (vertical), tal como el raveling (desprendimiento de áridos) y el weathering (intemperización), escalonamiento, ahuellamiento y depresiones. Tal vez más importante que ser capaz de capturar la información, es el trabajo realizado por los investigadores y proveedores para desarrollar software que sea capaz de leer las imágenes e interpretar correctamente los resultados como deterioros PCI. Este es un proceso

continuo y en desarrollo, con investigadores ya que dicen ser capaces de utilizar visión artificial para interpretar entre el 50 y el 100 por ciento de los deterioros definidos en ASTM.

Una ventaja de los métodos automatizados de recopilación de datos (por ejemplo, sUAS, LiDAR e imágenes en 3D) es que pueden usarse para recopilar datos en el 100 por ciento de la superficie del pavimento, ya sea que esos datos se usen o no. También proporcionan un registro permanente de condiciones en un momento dado que puede revisarse para verificación u otros fines. Los datos también se pueden georreferenciar para que las ubicaciones coincidan con las condiciones observadas. Con datos codificados digitalmente, los resultados se pueden interpretar utilizando herramientas de software especialmente desarrolladas. Esta capacidad promete hacer que la recopilación y el análisis de los datos de condición del pavimento para PMP sean un proceso parcialmente automatizado que se puede completar en una fracción del tiempo en comparación con lo que se necesita actualmente para realizar dichos estudios. Finalmente, y especialmente con las imágenes LiDAR y 3D, existe la capacidad de capturar información sobre otros elementos de infraestructura al mismo tiempo que se evalúa la condición del pavimento, incluidos el drenaje, la iluminación, la señalización y la demarcación del pavimento.

Al mismo tiempo, un inconveniente general que puede llegar a ser cada vez más importante es la dificultad de cambiar entre diversas tecnologías de toma de deterioros. No hay una base ampliamente aceptada para la comparación entre las tecnologías y es poco probable que las diferentes tecnologías aplicadas al mismo pavimento obtendrán los mismos resultados de condición. Incluso el despliegue de diferentes “generaciones” de un mismo equipo puede dar resultados inconsistentes. Si hay inconsistencias en la capacidad de identificar y resolver los deterioros del pavimento, entonces también habrá inconsistencias en los resultados analizados, los cuales, a su vez, podría dar lugar a inconsistencias en las decisiones que se toman a partir de esos resultados. Cada tecnología también se asocia con diferentes habilidades para resolver ciertos problemas. Una resolución comúnmente citada es el ancho de la grieta: una tecnología se dice que es capaz de identificar grietas hasta una anchura de 0,039 pulgadas o menos. Con los cambios constantes en estas capacidades, el usuario debe entender las limitaciones de las tecnologías actualmente disponibles y determinar qué capacidades son necesarias.

Las tablas 7 y 8 identifican los deterioros que generalmente se pueden capturar mediante diversos métodos de recopilación de datos para pavimento con superficie de asfalto y concreto, respectivamente, y cumplen con los criterios de deterioros de ASTM D5340. Las limitaciones específicas del sitio en algunos casos pueden afectar la utilidad o aplicabilidad de cada método de recolección de datos. Además, algunas tecnologías pueden identificar la presencia de un deterioro, pero no su nivel de severidad.

Un tema para estudio adicional que está más allá del alcance de estas pautas es si se debe revisar la norma ASTM D5340, si se debe desarrollar un nuevo estándar ASTM que describa un procedimiento para usar tecnología de detección remota, o si los requisitos de AC 150/5380-7A y las definiciones en AC 150/5380-6C deben ser alteradas para alinearse con la información de condición que es recolectada por la tecnología de teledetección. Como se discutió en el Capítulo 8, el resultado podría ser un PCI digital, en el que se entienden los deterioros y se calculó un PCI utilizando métodos alternativos. Por el lado de la carretera, ya existen estándares AASHTO para deterioros medidos mediante la recopilación automática de datos en pavimentos con superficie de asfalto (AASHTO R85; AASHTO R87). Por ejemplo, AASHTO R 85-18 aborda la identificación de grietas en el pavimento de asfalto, mientras que AASHTO R 87-18 proporciona pautas para calcular la profundidad del ahuellamiento a partir de un perfil transversal.

Tabla 7. Capacidad de diferentes métodos de recolección de datos para identificar los deterioros en pavimentos de asfalto de acuerdo con el estándar ASTM D5340.

Deterioro	Manual	Imágenes Láser	LiDAR	Imágenes UAS
	Severidad			
Agrietamiento piel de cocodrilo Alligator cracking	<input checked="" type="checkbox"/> Baja <input checked="" type="checkbox"/> Media <input checked="" type="checkbox"/> Alta	<input checked="" type="checkbox"/> Baja ¹ <input checked="" type="checkbox"/> Media <input checked="" type="checkbox"/> Alta	<input checked="" type="checkbox"/> Baja ² <input checked="" type="checkbox"/> Media <input checked="" type="checkbox"/> Alta	<input checked="" type="checkbox"/> Baja ² <input checked="" type="checkbox"/> Media <input checked="" type="checkbox"/> Alta
Exudación Bleeding	<input checked="" type="checkbox"/> N/A	<input checked="" type="checkbox"/> N/A	<input type="checkbox"/> N/A	<input checked="" type="checkbox"/> N/A ³
Grietas de Bloque Block cracking	<input checked="" type="checkbox"/> Baja <input checked="" type="checkbox"/> Media <input checked="" type="checkbox"/> Alta	<input checked="" type="checkbox"/> Baja ⁴ <input checked="" type="checkbox"/> Media ⁴ <input checked="" type="checkbox"/> Alta ⁴	<input checked="" type="checkbox"/> Baja <input checked="" type="checkbox"/> Media <input checked="" type="checkbox"/> Alta	<input checked="" type="checkbox"/> Baja ² <input checked="" type="checkbox"/> Media <input checked="" type="checkbox"/> Alta
Corrugación Corrugation	<input checked="" type="checkbox"/> Baja <input checked="" type="checkbox"/> Media <input checked="" type="checkbox"/> Alta	<input type="checkbox"/> Baja <input type="checkbox"/> Media <input type="checkbox"/> Alta	<input checked="" type="checkbox"/> Baja <input checked="" type="checkbox"/> Media <input checked="" type="checkbox"/> Alta	<input type="checkbox"/> Baja <input type="checkbox"/> Media <input type="checkbox"/> Alta
Depresión Depression	<input checked="" type="checkbox"/> Baja <input checked="" type="checkbox"/> Media <input checked="" type="checkbox"/> Alta	<input type="checkbox"/> Baja <input type="checkbox"/> Media <input type="checkbox"/> Alta	<input checked="" type="checkbox"/> Baja <input checked="" type="checkbox"/> Media <input checked="" type="checkbox"/> Alta	<input type="checkbox"/> Baja <input type="checkbox"/> Media <input type="checkbox"/> Alta
Erosión por jet blast Jet blast erosion	<input checked="" type="checkbox"/> N/A	<input type="checkbox"/> N/A	<input type="checkbox"/> N/A	<input type="checkbox"/> N/A
Grietas de reflexión de junta Joint reflection cracking	<input checked="" type="checkbox"/> Baja <input checked="" type="checkbox"/> Media <input checked="" type="checkbox"/> Alta	<input checked="" type="checkbox"/> Baja <input checked="" type="checkbox"/> Media <input checked="" type="checkbox"/> Alta	<input checked="" type="checkbox"/> Baja ² <input checked="" type="checkbox"/> Media <input checked="" type="checkbox"/> Alta	<input checked="" type="checkbox"/> Baja ² <input checked="" type="checkbox"/> Media <input checked="" type="checkbox"/> Alta
Agrietamiento longitudinal y transv. Longitudinal and transverse cracking	<input checked="" type="checkbox"/> Baja <input checked="" type="checkbox"/> Media <input checked="" type="checkbox"/> Alta	<input checked="" type="checkbox"/> Baja <input checked="" type="checkbox"/> Media <input checked="" type="checkbox"/> Alta	<input checked="" type="checkbox"/> Baja ² <input checked="" type="checkbox"/> Media <input checked="" type="checkbox"/> Alta	<input checked="" type="checkbox"/> Baja ² <input checked="" type="checkbox"/> Media <input checked="" type="checkbox"/> Alta
Derrame de petróleo Oil spillage	<input checked="" type="checkbox"/> N/A	<input type="checkbox"/> N/A	<input type="checkbox"/> N/A	<input type="checkbox"/> N/A
Parches y parches corte utilidad Patching and utility cut patching	<input checked="" type="checkbox"/> Baja <input checked="" type="checkbox"/> Media <input checked="" type="checkbox"/> Alta	<input checked="" type="checkbox"/> Baja <input checked="" type="checkbox"/> Media <input checked="" type="checkbox"/> Alta	<input type="checkbox"/> Baja <input type="checkbox"/> Media <input checked="" type="checkbox"/> Alta	<input checked="" type="checkbox"/> Baja ⁵ <input checked="" type="checkbox"/> Media ⁵ <input checked="" type="checkbox"/> Alta
Agregado pulido Polished aggregate	<input checked="" type="checkbox"/> N/A	<input type="checkbox"/> N/A	<input type="checkbox"/> N/A	<input type="checkbox"/> N/A
Raveling o Desprendimiento de áridos Raveling	<input checked="" type="checkbox"/> Baja <input checked="" type="checkbox"/> Media <input checked="" type="checkbox"/> Alta	<input type="checkbox"/> Baja <input checked="" type="checkbox"/> Media <input checked="" type="checkbox"/> Alta	<input type="checkbox"/> Baja <input checked="" type="checkbox"/> Media <input checked="" type="checkbox"/> Alta	<input type="checkbox"/> Baja <input type="checkbox"/> Media <input checked="" type="checkbox"/> Alta
Ahuellamiento Rutting	<input checked="" type="checkbox"/> Baja <input checked="" type="checkbox"/> Media <input checked="" type="checkbox"/> Alta	<input checked="" type="checkbox"/> Baja <input checked="" type="checkbox"/> Media <input checked="" type="checkbox"/> Alta	<input checked="" type="checkbox"/> Baja <input checked="" type="checkbox"/> Media <input checked="" type="checkbox"/> Alta	<input type="checkbox"/> Baja <input type="checkbox"/> Media <input type="checkbox"/> Alta
Desplazamiento Shoving	<input checked="" type="checkbox"/> Baja <input checked="" type="checkbox"/> Media <input checked="" type="checkbox"/> Alta	<input checked="" type="checkbox"/> Baja <input checked="" type="checkbox"/> Media <input checked="" type="checkbox"/> Alta	<input checked="" type="checkbox"/> Baja <input checked="" type="checkbox"/> Media <input checked="" type="checkbox"/> Alta	<input type="checkbox"/> Baja <input checked="" type="checkbox"/> Media <input checked="" type="checkbox"/> Alta
Agrietamiento por deslizamiento Slippage cracking	<input checked="" type="checkbox"/> N/A	<input checked="" type="checkbox"/> N/A	<input checked="" type="checkbox"/> N/A	<input checked="" type="checkbox"/> N/A
Hinchazón Swell	<input checked="" type="checkbox"/> Baja <input checked="" type="checkbox"/> Media <input checked="" type="checkbox"/> Alta	<input type="checkbox"/> Baja <input type="checkbox"/> Media <input type="checkbox"/> Alta	<input checked="" type="checkbox"/> Baja <input checked="" type="checkbox"/> Media <input checked="" type="checkbox"/> Alta	<input type="checkbox"/> Baja <input checked="" type="checkbox"/> Media <input checked="" type="checkbox"/> Alta
Meteorización Weathering	<input checked="" type="checkbox"/> Baja <input checked="" type="checkbox"/> Media <input checked="" type="checkbox"/> Alta	<input type="checkbox"/> Baja <input type="checkbox"/> Media <input type="checkbox"/> Alta	<input type="checkbox"/> Baja <input type="checkbox"/> Media <input type="checkbox"/> Alta	<input type="checkbox"/> Baja <input type="checkbox"/> Media <input type="checkbox"/> Alta

¹ Aplicable como método de recopilación de datos si se conoce la ubicación de la huella de la rueda.

² Aplicable como método de recolección de datos si las grietas se han sellado.

³ Aplicable como método de recolección de datos aplicable si la exudación no está dispersa y ni distribuida uniformemente.

⁴ La extensión total del agrietamiento de bloques puede ser difícil de documentar sin recurrir a la unión de imágenes (“stitching”).

⁵ Aplicable como método de recolección de datos donde hay diferencias de color entre el material del parche y el asfalto original.

Tabla 8. Capacidad de diferentes métodos de recolección de datos para identificar los deterioros en pavimentos de concreto de acuerdo con el estándar ASTM D5340.

Deterioro	Manual	Imágenes Láser	LiDAR	Imágenes UAS
	Severidad			
Blowup	<input checked="" type="checkbox"/> Baja	<input checked="" type="checkbox"/> Baja	<input checked="" type="checkbox"/> Baja	<input checked="" type="checkbox"/> Baja
	<input checked="" type="checkbox"/> Media	<input checked="" type="checkbox"/> Media	<input checked="" type="checkbox"/> Media	<input checked="" type="checkbox"/> Media
Blowup	<input checked="" type="checkbox"/> Alta	<input checked="" type="checkbox"/> Alta	<input checked="" type="checkbox"/> Alta	<input checked="" type="checkbox"/> Alta
Grietas de esquina	<input checked="" type="checkbox"/> Baja	<input checked="" type="checkbox"/> Baja	<input checked="" type="checkbox"/> Baja ¹	<input checked="" type="checkbox"/> Baja ¹
	<input checked="" type="checkbox"/> Media	<input checked="" type="checkbox"/> Media	<input checked="" type="checkbox"/> Media	<input checked="" type="checkbox"/> Media ¹
Corner break	<input checked="" type="checkbox"/> Alta	<input checked="" type="checkbox"/> Alta	<input checked="" type="checkbox"/> Alta	<input checked="" type="checkbox"/> Alta
Grietas longitudinales, transversales y diagonales	<input checked="" type="checkbox"/> Baja	<input checked="" type="checkbox"/> Baja	<input checked="" type="checkbox"/> Baja ¹	<input checked="" type="checkbox"/> Baja ¹
	<input checked="" type="checkbox"/> Media	<input checked="" type="checkbox"/> Media	<input checked="" type="checkbox"/> Media	<input checked="" type="checkbox"/> Media ¹
Longit., transv., and diagonal crack	<input checked="" type="checkbox"/> Alta	<input checked="" type="checkbox"/> Alta	<input type="checkbox"/> Alta	<input checked="" type="checkbox"/> Alta
Agrietamiento de durabilidad	<input checked="" type="checkbox"/> Baja	<input type="checkbox"/> Baja	<input type="checkbox"/> Baja	<input type="checkbox"/> Baja
	<input checked="" type="checkbox"/> Media	<input checked="" type="checkbox"/> Media	<input type="checkbox"/> Media	<input type="checkbox"/> Media
Durability cracking	<input checked="" type="checkbox"/> Alta	<input checked="" type="checkbox"/> Alta	<input checked="" type="checkbox"/> Alta	<input type="checkbox"/> Alta
Daño al sello de juntas	<input checked="" type="checkbox"/> Baja	<input checked="" type="checkbox"/> Baja ²	<input checked="" type="checkbox"/> Baja ²	<input checked="" type="checkbox"/> Baja ²
	<input checked="" type="checkbox"/> Media	<input checked="" type="checkbox"/> Media ²	<input checked="" type="checkbox"/> Media ²	<input checked="" type="checkbox"/> Media ²
Joint seal damage	<input checked="" type="checkbox"/> Alta	<input checked="" type="checkbox"/> Alta ²	<input checked="" type="checkbox"/> Alta ²	<input checked="" type="checkbox"/> Alta ²
Parches	<input checked="" type="checkbox"/> Baja	<input checked="" type="checkbox"/> Baja	<input type="checkbox"/> Baja	<input checked="" type="checkbox"/> Baja ³
	<input checked="" type="checkbox"/> Media	<input checked="" type="checkbox"/> Media	<input type="checkbox"/> Media	<input checked="" type="checkbox"/> Media ³
Patching	<input checked="" type="checkbox"/> Alta	<input checked="" type="checkbox"/> Alta	<input checked="" type="checkbox"/> Alta	<input checked="" type="checkbox"/> Alta ³
Desprendimiento de áridos	<input checked="" type="checkbox"/> N/A	<input checked="" type="checkbox"/> N/A	<input checked="" type="checkbox"/> N/A	<input checked="" type="checkbox"/> N/A
Popouts				
Bombeo	<input checked="" type="checkbox"/> N/A	<input checked="" type="checkbox"/> N/A ⁴	<input checked="" type="checkbox"/> N/A ⁴	<input checked="" type="checkbox"/> N/A ⁴
Pumping				
Escamaduras	<input checked="" type="checkbox"/> Baja	<input type="checkbox"/> Baja	<input type="checkbox"/> Baja	<input type="checkbox"/> Baja
	<input checked="" type="checkbox"/> Media	<input checked="" type="checkbox"/> Media	<input type="checkbox"/> Media	<input type="checkbox"/> Media
Scaling	<input checked="" type="checkbox"/> Alta	<input checked="" type="checkbox"/> Alta	<input checked="" type="checkbox"/> Alta	<input checked="" type="checkbox"/> Alta
Escalonamiento o asentamiento	<input checked="" type="checkbox"/> Baja	<input checked="" type="checkbox"/> Baja	<input type="checkbox"/> Baja	<input type="checkbox"/> Baja
	<input checked="" type="checkbox"/> Media	<input checked="" type="checkbox"/> Media	<input type="checkbox"/> Media	<input type="checkbox"/> Media
Settlement or faulting	<input checked="" type="checkbox"/> Alta	<input checked="" type="checkbox"/> Alta	<input checked="" type="checkbox"/> Alta	<input checked="" type="checkbox"/> Alta
Losas destrozadas	<input checked="" type="checkbox"/> Baja	<input checked="" type="checkbox"/> Baja	<input checked="" type="checkbox"/> Baja	<input checked="" type="checkbox"/> Baja ¹
	<input checked="" type="checkbox"/> Media	<input checked="" type="checkbox"/> Media	<input checked="" type="checkbox"/> Media	<input checked="" type="checkbox"/> Media ¹
Shattered slabs/intersecting cracks	<input checked="" type="checkbox"/> Alta	<input checked="" type="checkbox"/> Alta	<input checked="" type="checkbox"/> Alta	<input checked="" type="checkbox"/> Alta
Agrietamiento de retracción	<input checked="" type="checkbox"/> N/A	<input checked="" type="checkbox"/> N/A ⁵	<input type="checkbox"/> N/A	<input type="checkbox"/> N/A
Shrinkage cracking				
Desconche	<input checked="" type="checkbox"/> Baja	<input checked="" type="checkbox"/> Baja	<input checked="" type="checkbox"/> Baja ¹	<input checked="" type="checkbox"/> Baja ¹
	<input checked="" type="checkbox"/> Media	<input checked="" type="checkbox"/> Media	<input checked="" type="checkbox"/> Media	<input checked="" type="checkbox"/> Media ¹
Spalling	<input checked="" type="checkbox"/> Alta	<input checked="" type="checkbox"/> Alta	<input checked="" type="checkbox"/> Alta	<input checked="" type="checkbox"/> Alta
Reacción álcali-silica	<input checked="" type="checkbox"/> Baja	<input type="checkbox"/> Baja	<input type="checkbox"/> Baja	<input type="checkbox"/> Baja
	<input checked="" type="checkbox"/> Media	<input checked="" type="checkbox"/> Media	<input type="checkbox"/> Media	<input type="checkbox"/> Media
Alkali-silica reaction	<input checked="" type="checkbox"/> Alta	<input checked="" type="checkbox"/> Alta	<input checked="" type="checkbox"/> Alta	<input checked="" type="checkbox"/> Alta

¹ Aplicable como método de recolección de datos si las grietas se han sellado.

² Aplicable como método de recolección de datos si el daño es por extrusión, crecimiento de vegetación o desconches.

³ Aplicable como método de recolección de datos según las diferencias de color que haya entre el material del parche y el hormigón original.

⁴ Puede ser aplicable como método de recolección de datos dependiendo de la extensión del bombeo.

⁵ Puede ser aplicable como método de recolección de datos dependiendo de las características del agrietamiento por retracción.

Perfil Longitudinal

Hay muchas formas diferentes de medir el perfil longitudinal, y el propósito de la medición a menudo está alineado con el uso de equipos especializados o herramientas analíticas. Por ejemplo, los contornos del pavimento se han generado tradicionalmente con mira y un nivel como parte de un diseño de rehabilitación o para comprender mejor las pendientes transversales y los patrones de drenaje. También se puede usar un perfilómetro rodante (*walking profiler*) para generar una elevación precisa del perfil a lo largo de una ruta establecida.

Los perfilómetros inerciales que cumplen con los requisitos de ASTM E950 Clase 1 son los equipos típicos utilizados hoy en día para proporcionar una medida de la rugosidad del pavimento o para calcular un Boeing Bump o el Boeing Bump Index. El parámetro Boeing Bump considera las alturas y longitudes de los resaltos, ya que generalmente afectan la operación y el rendimiento de la aeronave. En la AC 150/5380-9 se encuentra una explicación más detallada de esta medida, así como orientación de la FAA sobre el uso de datos de rugosidad del pavimento. La configuración de operación típica para recopilar datos de perfil es montar una barra de sensores con uno más sensores láser infrarrojo en el parabrisas delantero de un vehículo y, con acelerómetros, equipos de medición de distancia y una computadora a bordo, registrar el perfil del pavimento hasta dentro de 0.002 pulgadas a una frecuencia de muestreo de hasta cada 0.5 pulgadas. La Figura 15 muestra la ubicación de la barra del sensor en una camioneta equipada con hardware adicional de recolección de datos de condición del pavimento.

Un informe de la Innovative Pavement Research Foundation (IPRF) (Gerardi et al. 2007) proporciona una buena visión general de la medición del perfil en los pavimentos de concreto de aeródromos, que también se aplica en gran medida a los pavimentos de aeródromos con superficie de asfalto. Para aquellos interesados en calcular varias medidas de perfil longitudinal, el software de la FAA, ProFAA, se puede usar para calcular los siguientes índices de perfil: Regla, Boeing Bump, Índice de Rugosidad Internacional (IRI), California Profilograph y RMS Bandpass.

Discusión de las Tecnologías para Perfil Longitudinal

En el entorno de carreteras, el IRI es reconocido como un estándar global. El IRI es una medida de la comodidad de un pasajero en un vehículo que se mueve a lo largo de un pavimento, y muchas agencias de autopistas lo utilizan como un aporte al proceso de decisión de administrar los pavimentos. Se utiliza en los modelos de gestión de pavimentos del Banco Mundial para asignar fondos para el análisis, planificación y gestión de proyectos viales y para decisiones de inversión. También ha sido adoptado como una medida de desempeño de carreteras por la FHWA. Los perfilómetros inerciales representan la mejor herramienta disponible para monitorear o administrar el perfil longitudinal de un pavimento debido a su amplia disponibilidad, precisión, repetibilidad y costo operativo.

El IRI tiene poca relación con el Boeing Bump Index, ya que el primero mide la respuesta que sentiría un pasajero del vehículo y el segundo se usa para identificar respuestas que serían estructuralmente dañinas o operacionalmente inseguras para un avión. Si bien ambas son medidas útiles, el monitoreo, la presentación de informes y la adopción de medidas basadas en la irregularidad no son comunes en el proceso de gestión de pavimentos de aeródromos. Sin embargo, aunque los valores de IRI no están directamente relacionados con las intervenciones del pavimento del aeródromo, el IRI puede usarse para anticipar quejas de los pilotos o para proporcionar una indicación de que el pavimento se está deteriorando hasta el punto de que se requerirá mantenimiento o rehabilitación.

La FAA está investigando el desarrollo de un nuevo índice de rugosidad en la pista utilizando datos generados por simuladores de aeronaves, un B727 equipado con un sistema de perfil inercial y una camioneta equipada con un perfilómetro inercial. Los datos generados se analizan con ProFAA y se comparan con los resultados obtenidos con un inclinómetro rodante (Larkin 2018). Se espera que el nuevo índice se use para monitorear la irregularidad de la pista en servicio y para recomendar acciones basadas en los resultados medidos (FAA n.d.).

Características Superficiales

El perfil longitudinal puede considerarse como una medida de longitud de onda larga de la superficie del pavimento,

mientras que las características de la superficie discutidas aquí son de longitudes de onda muy cortas y se refieren a los factores que afectan la capacidad de las aeronaves en movimiento para mantener el control y reducir o detenerse de manera segura. Como se señaló anteriormente, el monitoreo de la fricción en los pavimentos de la pista se logra con un equipo de medición de fricción continua (CFME, *continuous friction measurement equipment*), como se describe en la AC 150/5320-12D. La FAA mantiene una lista de dispositivos aprobados, que son aquellos que cumplen con los requisitos de ASTM E670 (para medición de fricción de fuerza lateral) o ASTM E2340 para medición de deslizamiento de bloqueo parcial fijo.

El resultado de la operación de un CFME a menudo se reporta como resistencia al deslizamiento (*skid resistance*), número de deslizamiento (*skid number*), o nivel de fricción (*friction level*), y se usa para determinar si es seguro aterrizar en una pista. Esta prueba es apropiada para evaluar el deslizamiento en climas húmedos, la pérdida de fricción por la acumulación de nieve/hielo y la pérdida de fricción por la acumulación de caucho. Sin embargo, otras características de la superficie del pavimento también se mencionan en la AC 150/5320-12. Por ejemplo, las ranuras del pavimento deben verificarse cuando hay desgaste para determinar si aún pueden evitar el hidroplaneo. No se proporciona ningún método de medición de profundidad de ranura, pero el método tradicional es medirlos a mano, como se muestra en la Figura 17. La tecnología más reciente implica el uso de láseres sin contacto para generar estas mediciones. Cuando se usan perfilómetros inerciales para este propósito, el software de la FAA, ProGroove, se puede usar para evaluar las ranuras del pavimento.



© 2018 Applied Pavement Technology

Figura 17. Medición manual de la profundidad de las ranuras de la pista.

La AC 150/5320-12 también identifica la profundidad de la textura como una característica de la superficie que hay que medir cuando hay valores bajos de fricción y la causa no es obvia. El método manual para medir la profundidad de la textura es con la prueba del parche de arena (ASTM E965). También se puede usar el medidor circular de textura (CTM, *Circular Track Texture Meter*), (ASTM E2157). Dado que estas dos son mediciones de macro textura, ellos proporcionan información que también se puede obtener con sensores láser sin contacto, como se describió anteriormente. Y aunque

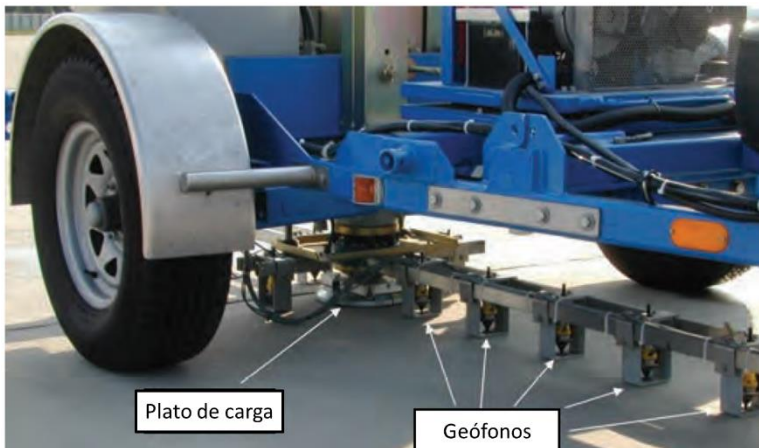
las correlaciones aún no están bien establecidas, un día puede ser posible generar mediciones de fricción a partir de datos de profundidad de textura.

Discusión de Tecnologías para Características Superficiales

El único método aprobado para medir e informar sobre la fricción de la superficie es mediante el uso de equipos CFME. Eventualmente, el uso de láser y quizás otras tecnologías de detección sin contacto pueden ser capaces de medir tanto la microtextura como la macrotextura para que puedan usarse para monitorear cuando se requiere una intervención, como la eliminación del caucho o el retexturizado. Mientras tanto, los sensores sin contacto pueden recopilar fácilmente las dimensiones de la ranura y los datos de profundidad de textura, pero a menos que esta tecnología ya esté en el lugar usándose para otras mediciones, el despliegue de esta tecnología generalmente no es rentable en comparación con métodos más manuales, incluidos la medición manual o el uso del CT Meter.

Condición estructural

El dispositivo más común en uso hoy para medir la condición estructural de un pavimento es el FWD o HWD. Estos están diseñados para impartir al pavimento una carga de impulso similar en magnitud y duración a la de un avión en movimiento y medir la respuesta de deflexión del pavimento a esa carga. El FWD está compuesto por una placa de carga a través de la cual una masa se deja caer y aplica una carga al pavimento, mientras que los geófonos individuales ubicados en la parte inferior de la placa de carga y a distancias específicas desde la placa de carga miden la respuesta del pavimento. Cuando se conocen los espesores de capa y los tipos de material, los módulos de capas individuales y el soporte de la subrasante se pueden “retrocalcular” a partir de los datos de deflexión. Incluso cuando hay registros precisos disponibles, la variabilidad en terreno significa que se requieren núcleos (testigos) para proporcionar espesores de capa de pavimento. En pavimentos de hormigón, el equipo también se puede utilizar para calcular la eficiencia de la transferencia de carga y para detectar vacíos debajo de las losas. La Figura 18 muestra un FWD con componentes clave identificados.



© 2018 Applied Pavement Technology

Figura 18. Primer plano de sensores en un FWD montado en remolque.

Tras su introducción hace más de 40 años, el FWD representó un avance importante sobre los enfoques utilizados anteriormente para evaluar las estructuras del pavimento, incluido el uso de la viga Benkelman y la extracción de muestras y pruebas. Ya sea montado en un vehículo o remolcado en un remolque, el dispositivo funciona avanzando a una ubicación de ensayo donde se baja el marco con la celda de carga y los geófonos, se aplica la carga, se registra la respuesta del pavimento (medida por los geófonos), y el marco se levanta antes de avanzar a la siguiente ubicación de prueba.

La innovación más reciente en la medición de deflexiones es el deflectómetro rodante (RWD, *Rolling Weight Deflectometer*) o el deflectómetro de velocidad de tráfico (TSD, *Traffic Speed Deflectometer*). Conceptualmente, estos dispositivos representan un avance significativo en que los datos de deflexión son generados por un vehículo en movimiento que aplica la carga y utiliza sensores sin contacto para registrar las deflexiones. Estos dispositivos se han utilizado en ensayos para evaluar pavimentos de carreteras (a nivel nacional por la FHWA) y se han refinado durante más de 10 años, pero aún no se han visto usos significativos en los pavimentos de aeropuertos. Una limitación en la aplicación de esta tecnología a los aeropuertos será que, tal como están configurados actualmente, estos dispositivos no pueden reproducir las presiones de los neumáticos y las configuraciones del tren de aterrizaje de los aviones grandes. La Figura 19 muestra la parte de abajo de un remolque donde se montan el haz de referencia y los escáneres láser.



Fuente: FHWA

Figura 19. Ejemplo de una configuración RWD.

Discusión de Tecnologías para Condición Estructural

Por el momento, el FWD representa el estándar para evaluar la capacidad estructural de pavimentos de aeropuertos. Los datos producidos por un FWD se usan para el diseño de rehabilitación a nivel de proyecto, la determinación de la vida remanente estructural y el cálculo del PCN. El principal inconveniente de usar un FWD es que mide las respuestas puntuales; el número típico de puntos que se pueden medir en un período de 8 horas es aproximadamente 250 (aunque esto depende del patrón de ensayo, el tipo de instalación y el acceso). Como tal, los patrones de prueba típicos especificarán el espaciado de puntos en ubicaciones críticas (como las trayectorias de las ruedas de las aeronaves) para generar una estimación de las condiciones estructurales en esos puntos. Las ventajas del uso del FWD incluyen las relaciones establecidas entre la respuesta del pavimento y la necesidad de estrategias de M&R estructurales o no estructurales, así como la capacidad de interpretar los resultados de las pruebas en pavimentos de concreto con juntas para informar eficiencias de transferencia de carga e identificar huecos.

La mayor velocidad de recopilación de datos que es posible con el RWD o TSD representan el futuro de la evaluación de la condición estructural del pavimento, aunque tal vez no sea usado por algún tiempo en los pavimentos de aeropuertos. Su valor actual radica en su capacidad para operar a velocidades cercanas a las del tráfico o sin control de tráfico y para recopilar datos de deflexión continua. Pueden proporcionar información útil a nivel de red para monitorear las condiciones generales o determinar la necesidad de investigaciones más exhaustivas. Esta capacidad se presta bien para evaluar carreteras transitadas, pero no satisface una necesidad crítica en los pavimentos de aeropuertos (acceso y seguridad). La falta de maniobrabilidad también sería un problema en muchos tramos cortos de pavimentos de aeropuertos (como la

conexión de rodajes y calles de rodaje) y en áreas de plataforma, como lo sería la necesidad de mayores niveles de carga en los pavimentos de aeroportuarios.

Una ventaja distintiva que ofrece la medición continua de la capacidad estructural es la capacidad de distinguir entre áreas de pavimento débiles y fuertes, quizás incluso antes de que aparezcan defectos en la superficie. Esta capacidad debería contribuir a mejorar la delimitación de los límites del proyecto y el desarrollo de estrategias apropiadas de mantenimiento y rehabilitación. Cuando se identifican tales distinciones, podrían usarse para desencadenar pruebas más intensivas y específicas por otros medios.

Resumen

Varios tipos de datos sobre el estado del pavimento se recopilan regularmente y se utilizan para controlar el rendimiento y la seguridad en los pavimentos de aeródromos. Este capítulo ha cubierto los tipos principales de datos de condición del pavimento y ha descrito los dispositivos y tecnologías que están disponibles para recopilar esos datos. En cada caso, hay ejemplos de enfoques e innovaciones, algunos que actualmente están comenzando a usar en pavimentos de aeropuertos, otros que solo se usan en carreteras, pero aún no en pavimentos de aeropuertos, y otros que están en etapa de investigación. Algunas ideas sobre la implementación de nuevas tecnologías se presentan en el Capítulo 8; El siguiente capítulo entrará en mayor detalle sobre cómo se utilizan los datos de la condición del pavimento.

Usos de Datos de Condición de Pavimento

En el capítulo anterior se analizó los diferentes tipos de datos de condición o datos de comportamiento de pavimentos en aeropuertos que se utilizan comúnmente para controlar el desempeño de los pavimentos y tomar decisiones acerca de las necesidades del pavimento, así como las diferentes formas en las que se recogen datos del estado del pavimento. En este capítulo se presenta formas en las que se utilizan y se identifica las relaciones entre las diferentes necesidades de datos de condición del pavimento y los tipos de datos de condición que justifican esas necesidades.

Las necesidades varían dependiendo del tipo de proyecto y los objetivos de dicho esfuerzo. Las siguientes secciones identifican diferentes aplicaciones en las que se utilizan los datos de condición del pavimento. Por ejemplo, la gestión de pavimentos a nivel de red es ideal para una agencia con responsabilidad sobre un sistema de aeropuertos, como una comisión aeronáutica o departamento de transporte o un aeropuerto individual interesado en evaluar el estado general de la red de pavimento y en establecer prioridades de rehabilitación. Una evaluación a nivel de proyecto tiene un propósito muy diferente, centrándose en el desarrollo de necesidades del proyecto y recomendaciones de diseño para la rehabilitación de un área pavimentada. Dado que los objetivos son muy diferentes, el tipo y el nivel de ensayos y la evaluación también serán diferentes.

El cumplimiento de las regulaciones de la FAA

La FAA requiere inspecciones diarias, regulares y mensuales que incluyen evaluaciones de pavimento. La circular AC 150/5200-18 describe inspecciones diarias y semanales, mensuales, o trimestrales para identificar los riesgos a la seguridad, así como la necesidad de inspecciones especiales. Esta circular AC describe las características clave de una inspección diaria se realiza en zonas de pavimento, centrándose en las condiciones que podrían contribuir a FOD, operaciones inseguras de aeronaves, o problemas de drenaje. Las inspecciones periódicas de los pavimentos se centran en la acumulación de caucho, pulido, dimensiones de las ranuras, o de otros factores que afectan a la fricción. Las inspecciones especiales de pavimentos también tienen en cuenta factores de seguridad, tales como el drenaje, y el impacto de las actividades de construcción en curso en la seguridad de las operaciones.

Gestión a nivel de red

Un sistema de gestión de pavimentos de aeropuertos tradicional (APMS, *airport pavement management system*) incluye una inspección de condición a nivel de red, cuyos resultados se utilizan para desarrollar un plan para hacer frente a las necesidades futuras del pavimento. Un APMS a nivel de red incluye los siguientes pasos:

- Establecer un inventario del pavimento,
- Evaluar la condición del pavimento existente,
- Estimar el estado futuro del pavimento, y
- Identificar las necesidades y prioridades de rehabilitación de mantenimiento.

Estos pasos se explican con mayor detalle en las siguientes secciones.

Inventario de pavimento

Uno de los primeros pasos para establecer un APMS es la realización de una revisión de los registros para determinar el historial de trabajo de las distintas secciones de pavimento. En una base de datos de gestión de pavimentos, la información requerida consiste en el tipo de pavimento, año de construcción o rehabilitación, y los límites del proyecto. Otra información, como el tipo y espesor de las capas de pavimento, el historial de mantenimiento, y las fuentes de financiación de la obra se pueden introducir en la base de datos. Una vez poblada, un aeropuerto tendrá acceso a la información de la historia del trabajo de toda su red de pavimento en una ubicación conveniente. Esta información también sirve como el bloque de construcción para la definición de la red (que consiste en ramas, secciones y unidades de muestra) para un sistema de gestión de pavimento.

La presentación de esta información puede tomar varias formas. La mayoría de los programas de gestión de pavimentos tienen un resumen por defecto de la historia del trabajo que se puede imprimir fácilmente. En la Figura 20 se muestra un ejemplo de un “historial de trabajo” obtenido en PAVER®, un software de gestión de pavimentos de uso general desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de EE.UU. Esta información puede presentarse también en formato gráfico/mapa o tabular.

Network: XXX-AIR Branch: R03 RUNWAY 03/21 Section: 30W Surface: POC						
L.C.D. 6/3/2011 Use: RUNWAY Rank: P Length: 2,500.00 (Ft) Width: 40.00 (Ft) True Area: 105912 (SqFt)						
Work Date	Work Code	Work Description	Cost	Thickness (in)	Major M&R	Comments
6/3/2011	NC-PC	New Construction - PCC	0.00	17.00	<input checked="" type="checkbox"/>	17" PCC
6/2/2011	BA-AG	Base Course - Aggregate	0.00	7.00	<input type="checkbox"/>	7" CAB
6/1/2011	SE-AG	Subbase - Aggregate	0.00	18.00	<input type="checkbox"/>	18" Recycled concrete subbase

Network: XXX-AIR Branch: R07 RUNWAY 07/25 Section: 01C Surface: APC						
L.C.D. 6/1/1997 Use: RUNWAY Rank: S Length: 2,127.00 (Ft) Width: 50.00 (Ft) True Area: 107918 (SqFt)						
Work Date	Work Code	Work Description	Cost	Thickness (in)	Major M&R	Comments
6/1/1997	OL-AS	Overlay - AC Structural	0.00	11.00	<input checked="" type="checkbox"/>	11" ACP-401
6/1/1973	OL-AS	Overlay - AC Structural	0.00	3.00	<input checked="" type="checkbox"/>	3" ACP-401 (ADAP 8-53-0072-02)
6/2/1957	NC-PC	New Construction - PCC	0.00	6.00	<input checked="" type="checkbox"/>	EST Const date. 6" PCC 12.5' x 12.5 s
6/1/1957	BA-AG	Base Course - Aggregate	0.00	3.00	<input type="checkbox"/>	6" (or 3" conflicting Info)

Network: XXX-AIR Branch: R07 RUNWAY 07/25 Section: 01N Surface: APC						
L.C.D. 6/1/1997 Use: RUNWAY Rank: S Length: 2,127.00 (Ft) Width: 50.00 (Ft) True Area: 106984 (SqFt)						
Work Date	Work Code	Work Description	Cost	Thickness (in)	Major M&R	Comments
6/1/1997	OL-AS	Overlay - AC Structural	0.00	11.00	<input checked="" type="checkbox"/>	11" ACP-401
6/1/1973	OL-AS	Overlay - AC Structural	0.00	3.00	<input checked="" type="checkbox"/>	3" ACP-401 (ADAP 8-53-0072-02)
6/2/1957	NC-PC	New Construction - PCC	0.00	6.00	<input checked="" type="checkbox"/>	EST Const date. 6" PCC 12.5' x 12.5 s
6/1/1957	BA-AG	Base Course - Aggregate	0.00	3.00	<input type="checkbox"/>	6" (or 3" conflicting Info)

Network: XXX-AIR Branch: R07 RUNWAY 07/25 Section: 01S Surface: APC						
L.C.D. 6/1/1997 Use: RUNWAY Rank: S Length: 2,127.00 (Ft) Width: 50.00 (Ft) True Area: 106359 (SqFt)						
Work Date	Work Code	Work Description	Cost	Thickness (in)	Major M&R	Comments
6/1/1997	OL-AS	Overlay - AC Structural	0.00	11.00	<input checked="" type="checkbox"/>	11" ACP-401
6/1/1973	OL-AS	Overlay - AC Structural	0.00	3.00	<input checked="" type="checkbox"/>	3" ACP-401 (ADAP 8-53-0072-02)
6/2/1957	NC-PC	New Construction - PCC	0.00	6.00	<input checked="" type="checkbox"/>	EST Const date. 6" PCC 12.5' x 12.5 s
6/1/1957	BA-AG	Base Course - Aggregate	0.00	3.00	<input type="checkbox"/>	6" (or 3" conflicting Info)

Figura 20. Historial de trabajos en PAVER.

Condición del pavimento

La determinación del estado del pavimento es un componente esencial de cualquier programa de gestión de pavimento a nivel de red. En la comunidad aeroportuaria, la condición generalmente se recoge y se informa mediante el procedimiento PCI que se describe en la norma ASTM D5340, aunque se utilizan otros enfoques. El PCI se informa a nivel de sección y es comúnmente comunicado en forma de tabla o mapa. La Figura 21 es un ejemplo de un mapa de PCI a nivel de sección. El resultado del PCI también pueden ser agrupados a nivel de “rama” mediante el cálculo de PCI ponderado por área, aunque si los resultados a nivel de sección son muy variables, esto afectará negativamente a los resultados a nivel de rama. Evaluar

los valores de PCI reportados es una manera rápida y conveniente para comparar la condición relativa de las secciones de pavimento individuales y con frecuencia es un insumo muy importante para determinar la necesidad de, y la prioridad de, rehabilitación del pavimento.

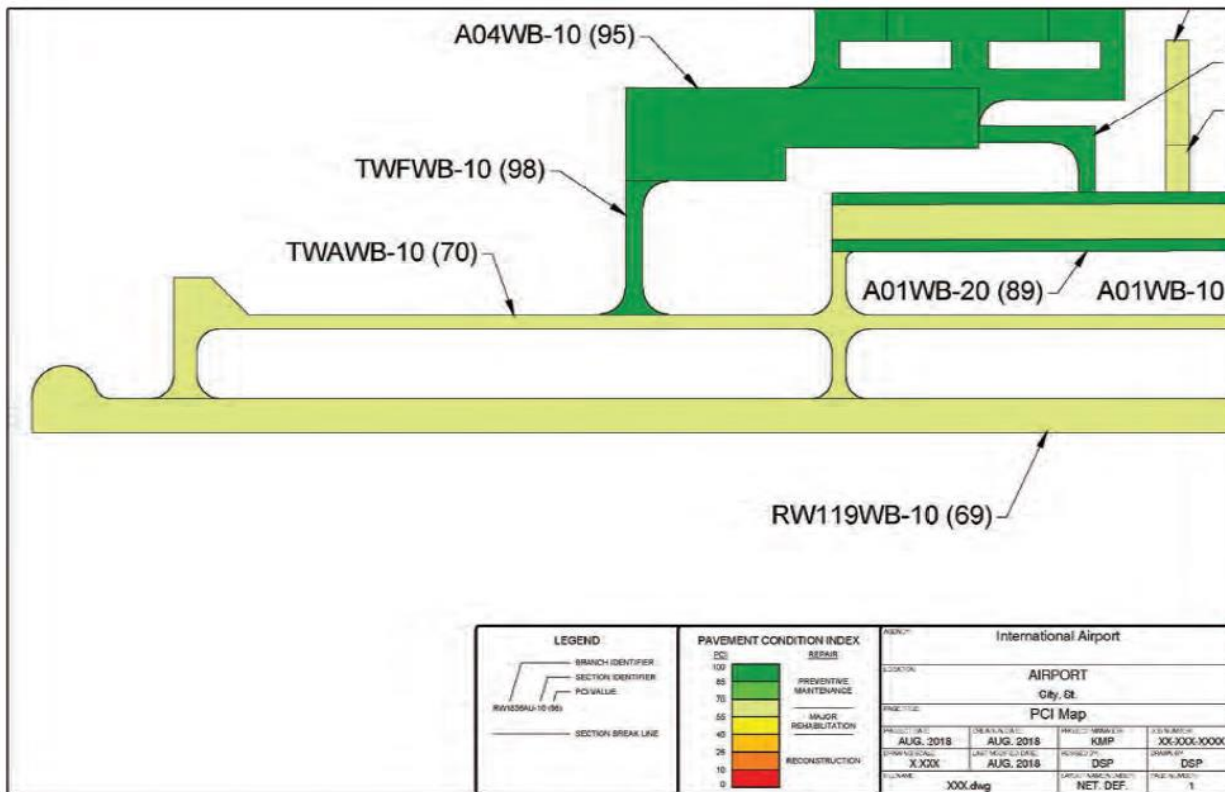


Figura 21. Ejemplo de mapa de PCI (valores de PCI se muestran en paréntesis).

Aunque el valor de PCI es la métrica más comúnmente evaluada, hay muchos otros usos de los datos recogidos durante una inspección de PCI. La determinación del PCI requiere una investigación de diecisiete tipos diferentes de deterioros para pavimentos de asfalto y dieciséis tipos diferentes de deterioros para pavimentos de hormigón (ver Tabla 4). Estos datos detallados se introducen en la base de datos de gestión de pavimento y pueden ser reportados en diversas formas, tales como la cantidad de un determinado tipo de defecto o combinación de tipo/severidad en una sección de pavimento dado o en la rama. Para las inspecciones PCI a nivel de red en la que es inspeccionado sólo un subconjunto de la zona de pavimento, los resultados reportados para una sección son una extrapolación de la cantidad de deterioros de la zona inspeccionada sobre toda la superficie de la sección. Por ejemplo, si 500 pies lineales de grietas L & T de mediana severidad se identificaron sobre la zona de pavimento inspeccionado que cubre el 25 por ciento del área total de la sección, la cantidad extrapolada de deterioro sería 2000 pies lineales para toda la sección. La cantidad de defectos a nivel de rama se calcula como la suma de las cantidades extrapoladas a partir de las secciones individuales. La Tabla 9 muestra los datos exportados de PAVER que presentan la cantidad de cada deterioro extrapolado al nivel de sección.

Tabla 9. Cantidades extrapoladas de deterioro (de informe PAVER).

Rama	Sección	PCI	Área, ft ²	Descripción	Severidad	Cant.	Unid	Valor de deducción
APPARK	APPARK-01	46	38,400	ASR	B	15	Losas	10.7
				ASR	M	2	Losas	6.6
				CORNER BREAK	B	1	Losas	0.8
				CORNER SPALL	B	1	Losas	0.5
				FAULTING	B	3	Losas	3.0
				JOINT SPALL	B	1	Losas	0.4
				JT SEAL DMG	M	80	Losas	7.0
				LARGE PATCH	M	12	Losas	19.3
				LINEAR CR	B	6	Losas	5.8
				LINEAR CR	M	2	Losas	5.1
				SCALING	M	1	Losas	0.9
				SHRINKAGE CR	N	31	Losas	4.5
				SMALL PATCH	B	11	Losas	1.9
				ALL PATCH	M	3	Losas	2.0
	APPARK-02	33	27,675	ALLIGATOR CR	M	2,164	ft ²	53.0
				ALLIGATOR CR	A	133	ft ²	29.4
				L&T CR	B	237	ft	4.8
				L&T CR	M	81	ft	6.7
				RUTTING	B	172	ft ²	13.4
				RUTTING	M	2	ft ²	13.0
				SWELLING	B	81	ft ²	1.6
				WEATHERING	B	12,299	ft ²	4.5
				WEATHERING	M	12,116	ft ²	14.2

Nota: JT= junta (*joint*), DMG = daño (*damage*), CR = agrietamiento (*cracking*).

Deflexiones del pavimento

A veces se realiza ensayos con FWD como parte de los estudios de gestión pavimento a nivel de red. Las ventajas de esta práctica incluyen la capacidad para lograr lo siguiente:

- Evaluar las propiedades de los materiales y el estado estructural pavimento en general;
- Evaluar la capacidad estructural (por ejemplo, PCN, los límites de carga, vida remanente), que son datos de entrada adicionales en el establecimiento de prioridades de rehabilitación; y
- Refinar el tipo de rehabilitación necesaria (reparación, capa de refuerzo, o reconstrucción).

Este tipo de pruebas no debe considerarse como un sustituto para la investigación a nivel de proyecto antes de la construcción.

Una actualización del APMS a menudo es el momento ideal para evaluar la capacidad estructural del pavimento o determinar los números de control. La información necesaria para el análisis se recoge normalmente para una actualización de PMP. A pesar de que la FAA sólo se requiere el análisis de pistas para aeropuertos que son "Parte 139", que sirven a aviones más de 12.500 libras y que deben cumplir *Grant Assurance*, de conformidad con los requisitos de la

OACI, en general es una buena práctica para determinar el PCN en todo el campo de aviación, porque las aeronaves deben moverse desde las pistas a las plataformas y regresar las pistas.

Gestión a nivel estratégico

La toma de decisiones estratégicas puede producirse sin ninguna consideración de las condiciones del pavimento. Esta gestión a nivel estratégico podría concentrarse en la capacidad, el crecimiento, los cambios del mercado, y así sucesivamente. En algunos casos, sin embargo, se espera que la gestión estratégica (sin considerar la capacidad) haga uso de datos desarrollados como parte de la gestión de pavimento a nivel de red y se puede realizar ya sea como parte de esa actividad a nivel de red o por separado. Los datos recogidos y analizados como parte de un proyecto a nivel de red se utilizan normalmente para desarrollar un programa CIP o planes de M & R para el mantenimiento de la red de pavimentos del aeropuerto en los próximos 5 a 10 años. La extensión del plan estratégico es el resultado de la duración del plan.

Por ejemplo, si una agencia desarrolla un programa CIP de a años, las mediciones pueden limitarse a unas pocas áreas pavimentadas, mientras que un programa CIP a 15 años puede incluir la mitad de un aeropuerto. La presentación de los datos de desempeño del pavimento (tales como los valores del PCI) están en el corazón de la mayoría de los análisis estratégicos. La gestión estratégica a menudo se produce en dos fases. La primera fase es la planificación inicial, que se basa principalmente en los datos de pavimentos y puede no ser realista para poner en práctica debido a limitaciones de financiación, operativa, o de capacidad. La segunda fase, la finalización del plan estratégico, puede variar significativamente entre agencias, pero a menudo toman en cuenta factores adicionales y las sugerencias de las múltiples partes interesadas, tales como líneas aéreas, los inquilinos, los usuarios, ingeniería, mantenimiento, operaciones, planificación, y la FAA.

Planificación Estratégica Inicial

La planificación estratégica inicial se centra en los datos del pavimento y se basa en criterios de ingeniería. Este proceso se lleva a cabo por consultores o departamentos de ingeniería. Se utiliza software de gestión de pavimentos para identificar los pavimentos con necesidad de reparación o rehabilitación. Los software de gestión de pavimentos tienen sólidas capacidades para el uso de datos de PCI. La capacidad de analizar y desarrollar modelos de comportamiento del pavimento que predicen el futuro PCI es esencial para la evaluación de las necesidades futuras de capital. A través de los costos unitarios de tales actividades, los software de gestión de pavimentos son capaces de evaluar diferentes escenarios presupuestarios para determinar el resultado durante un período de tiempo especificado (en términos de PCI de las secciones individuales de pavimento y de la red en su conjunto). De esta manera se puede evaluar el impacto sobre el PCI de diferentes gastos financieros (y el impacto de no financiar ninguna rehabilitación). En la Figura 22 diversos escenarios presupuestarios se comparan para un período de 10 años ilustrando el impacto del presupuesto en el PCI resultante en la red. Con tal ilustración, es fácil de medir el impacto de diferentes escenarios presupuestarios.

Algunos aeropuertos toman el análisis a otro nivel mediante la definición de los activos de pavimento a nivel de unidad de losa o de la muestra. Este es un enfoque más intensivo y basada en datos, pero la capacidad de identificar y resolver los problemas puede ser mucho mejor con un sistema de este tipo. Sin embargo, se requiere amplios recursos para establecer y mantener un sistema de este tipo y se suelen utilizar en los aeropuertos medianos y grandes.

Mientras que las capacidades de análisis de los software de gestión de pavimentos disponibles son de gran alcance, hay muchas otras variables que deben tenerse en cuenta para desarrollar el plan más eficaz para un aeropuerto. Otros factores que deben tenerse en cuenta incluyen la condición estructural y cómo el estado del pavimento existente tendrá un impacto en las posibles opciones de rehabilitación. Tales consideraciones son críticas para asegurar que el pavimento rehabilitado proporcionará la vida de servicio deseada. Las opiniones y aportes de otras partes interesadas también deben tenerse en cuenta en cuanto a los planes futuros del aeropuerto y cómo se utilizarán las distintas áreas pavimentadas. Consideraciones operacionales, tales como áreas que permanecerán en uso durante un cierre de pavimento, también

pueden afectar a las decisiones de pavimento. Incluso si un pavimento no se activa para M & R por el estado, podrían llevarse a cabo trabajos debido a que es adyacente a las secciones que sí serán tratadas. El plan maestro de un aeropuerto también debe ser considerado; el programa CIP debe reflejar lo que ya está incorporado en los planes del aeropuerto para su infraestructura. Tales factores únicos son fundamentales para el desarrollo de un programa CIP eficaz, pero no pueden ser modelados en el software de gestión de pavimentos.

Los programas CIP menudo se presentan en forma de tabla o mapa. La Tabla 10 muestra un ejemplo de una presentación CIP. El tipo de rehabilitación, el tiempo y costo de cada proyecto de rehabilitación son piezas esenciales de información para un plan eficaz. La creación de un mapa CIP, tal como se muestra en la Figura 23, es un método visual rápido para mostrar las recomendaciones. En lugar de especificar el tiempo (año) en el que un proyecto de rehabilitación se debe realizar, algunos aeropuertos eligen para identificar los proyectos en términos de prioridades, lo que les permite abordar el proyecto de mayor prioridad como a medida que los fondos están disponibles.

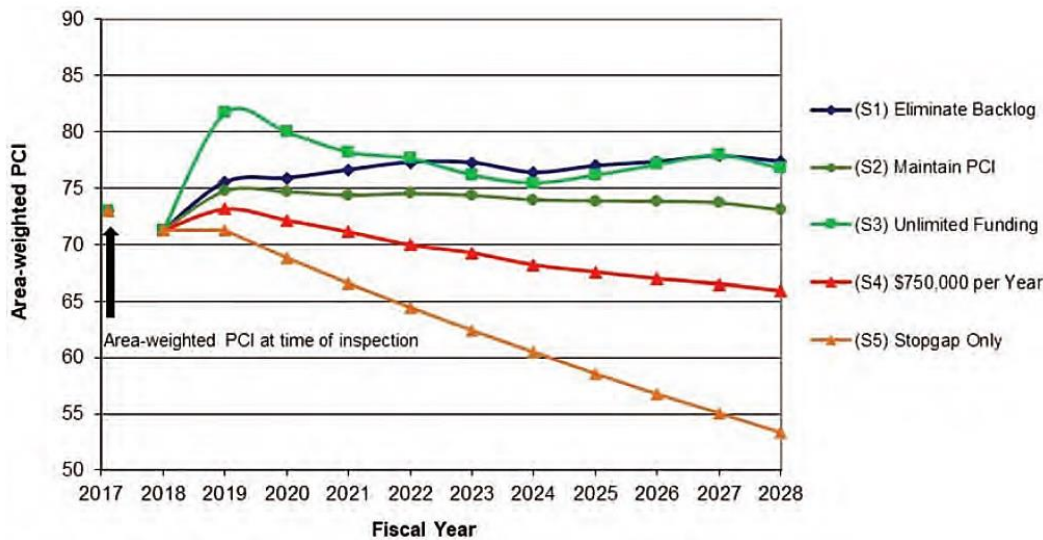


Figura 22. Impacto de los diferentes escenarios presupuestarios en el PCI.

Tabla 10. Ejemplo de programa CIP y los costos asociados en formato tabular.

Año	Rama	Sección	PCI Antes del Proyecto	PCI 2015	Costos Estimados	Método de Rehabilitación
2016	TU	26	66	65	\$861,000	Mill and overlay with repairs
		30	19	14		
	R1129	20C	37	33	\$2,533,000	Mill and overlay
		26C	37	33		
		30C	36	32		
		40C	70	68		
		42C	61	60		
		47C	33	29		
		50C	48	46		
		60C	27	23		
		70C	41	39		
	R17R35L	19C	91	86	\$2,335,000	Mill and overlay
		21C	90	86		
		22C	34	30		
		23C	90	86		
		24C	43	39		
		26C	39	37		
		28C	51	48		
		50C	70	68		
		55C	36	32		
		60C	58	57		
		62C	55	53		
		64C	56	54		
		66C	84	80		
	70C	60	58			
	TG	10	36	34	\$323,000	Mill and overlay
	R1129	50SW	49	47		
60F		61	60			
60NE		65	64			
60SW		60	59			
70NE		55	53			
70SW	54	52				
2016 Subtotal:					\$6,052,000	
2017	TA	80	50	46	\$4,702,000	Mill and overlay with repairs
		90	29	20		Mill and overlay
		94	53	50		PCC reconstruction
		95	89	82		
	AI	100	31	30	\$669,000	Slab replacements (23 slabs)
		20	66	63		
		30	31	30		
		40	45	43		
		50	45	43		
	R17R35L	55	84	80	\$685,000	Mill and overlay
60		44	43			
2017 Subtotal:					\$6,056,000	

Tabla 10. (continuación).

Año	Rama	Sección	PCI Antes del Proyecto	PCI 2015	Costos Estimados	Método de Rehabilitación
2018	TJ	40	50	49	\$766,000	Slab replacements
	AV	13	17	6	\$459,000	Mill and overlay
		30	0	0		PCC reconstruction
	TC	20	53	46	\$1,846,000	Mill and overlay
		30	46	40		
		30FW	54	47		
		30FE	54	47		
		35	58	51		
		35FE	65	58		
		35FW	65	58		
	TF	10	55	48	\$75,000	Mill and overlay
	R1129	90SW	47	41	\$286,000	Mill and overlay
		90C	53	47		
		90NE	53	47		
	TU	50	54	47	\$126,000	Mill and overlay
	TYB	34	22	6	\$141,000	Mill and overlay with
TA	30	53	48	\$126,000	Mill and overlay	
	40	61	59			
AVI	50	34	33	\$542,000	Portland cement concrete (PCC) reconstruction	
	190	37	36			
TP	35	24	8	\$144,000	Mill and overlay Mill and overlay	
TJ2	10	56	49	\$454,000		
2018 Subtotal:					\$4,965,000	
2019	TC1	10	60	57	\$1,240,000	PCC reconstruction
	TC3	10	57	55	\$1,036,000	PCC reconstruction
	THD	10	61	58	\$657,000	Slab replacements (25 slabs)
	TGB	10	57	47	\$454,000	Reconstruction
	TA3	05N	70	67	\$281,000	Mill and overlay with repairs
		10N	55	49		
		10S	58	54		
	TWESTJET	10	51	49	\$263,000	Slab replacements (10 slabs)
R0826 10	10	64	55	\$1,191,000	Mill and overlay	
	20	63	61			
TL	10	59	56	\$173,000	Mill and overlay	
2019 Subtotal:					\$5,295,000	
2020	R17R35L	10W	81	76	\$1,540,300	Reconstruction
		10E	62	57		
		20C	27	20		
		20W	47	28		
		20E	53	37		
	TA	10	66	62	\$780,000	Reconstruction
TC	10	61	94	\$544,000	Reconstruction	
2020 Subtotal:					\$15,827,000	
2016-2020 Total:					\$38,195,000	

Finalización del Plan estratégico

En última instancia, hay muchos factores que afectan las decisiones de pavimento de M & R, pero los factores económicos pueden ser la fuerza impulsora. Debido a la importancia de los fondos disponibles, se debe analizar el costo de las actividades de mantenimiento, reparación o rehabilitación. Una vez creado el plan estratégico inicial, este será revisado y modificado antes de su implementación. Puede haber múltiples revisiones del plan estratégico en función de los comentarios que se reciban de los interesados. La figura 24 ilustra un proceso para desarrollar un plan estratégico (de nuevo, sin tener en cuenta cuestiones de gran escala, como la capacidad). Cada agencia modificará este proceso ligeramente en función de su estructura organizacional y las fuentes de financiación. En algunos casos, consultores u otros asumirán el mismo papel asignado al departamento o comisión de un aeropuerto.

Por lo general, los departamentos de planificación e ingeniería (o consultores que ejercen esas funciones en algunos casos) revisarán el plan estratégico inicial internamente antes de compartir con otras partes interesadas. Durante este proceso, deciden qué tan extenso será el plan estratégico se presentará a las otras partes interesadas. Los departamentos de ingeniería pueden eliminar ciertos pavimentos de planificación estratégica, porque la condición de aquellos pavimentos no es una alta prioridad y los fondos son limitados. El personal de planificación y de ingeniería también tendrá en cuenta factores adicionales, tales como el uso de las instalaciones, proyectos planificados fuera del ámbito de la pavimentación, el Plan Maestro, y los objetivos internos, y aplicarán su experiencia para modificar el plan estratégico. Por ejemplo, la decisión de posponer la rehabilitación de una pista de aterrizaje para coincidir con un proyecto para mejorar el alumbrado se haría en esta etapa.

Una estimación detallada de los costos puede desarrollarse en este momento, o puede retrasarse hasta después de que el plan estratégico haya sido revisado por el personal de mantenimiento y operaciones. Se sugiere una revisión por parte del personal de mantenimiento y operaciones, porque como el personal de mantenimiento y operaciones pasan una parte significativa de su tiempo en la pista de aterrizaje, ellos pueden proporcionar información sobre el estado del pavimento o traer consideraciones operacionales que pueden afectar la secuencia o la finalización de los trabajos previstos. Estas revisiones pueden incluir el estudio de un mapa PCI o hacer una visita al lugar para examinar pavimentos. La experiencia y opiniones del personal de mantenimiento y operaciones pueden ser vitales para la priorización de proyectos.

A menudo, después de esto, una versión actualizada del plan estratégico se enviará a los comités financieros, otros comités asesores y directores. Estos grupos de interés ayudan a dar forma al plan estratégico del pavimento dentro de una visión mayor del aeropuerto. Estos actores pueden tener sus propias opiniones sobre determinados proyectos o tener un mejor sentido respecto de que proyectos son más factibles para recibir financiación. También pueden proporcionar información sobre el calendario de proyectos. Por ejemplo, la solicitud de fondos para proyectos de pavimentación puede ser equilibrada entre años; sin embargo, los proyectos de pavimentación pueden necesitar ser cambiados para equilibrar las necesidades de financiación para todo el aeropuerto o la agencia.

A continuación, los proyectos del plan estratégico se presentarán a agencias gubernamentales estatales y locales, así como la FAA. Estas organizaciones proporcionarán retroalimentación y en última instancia, decidirán qué proyectos reciben financiación. Por lo general, la necesidad de cada proyecto debe estar justificada en esta etapa. En la mayoría de los casos, estas organizaciones son responsables de asegurar que los fondos se gastan en proyectos significativos.

Muchas agencias revisan su plan estratégico cada año. Es posible que no se tengan nuevos datos de condición de pavimento entre las actualizaciones del plan estratégico; sin embargo, las proyecciones de condición serán utilizados para tener en cuenta el deterioro. Las revisiones del plan estratégico se enfocan en proyectos que han sido financiados, modificaciones o cambios deseados en el uso y otros factores que afectan a la planificación estratégica.

Aunque los planes estratégicos se basan en el análisis técnico y la toma de decisiones, la comunicación es también vital. Un plan de estratégico eficaz es el resultado de una comunicación frecuente entre todas las partes interesadas. Un plan estratégico que se crea dentro de un silo no será beneficioso al aeropuerto en su conjunto. La creación y actualización del plan estratégico obliga a las partes interesadas a construir y alimentar relaciones entre los departamentos y agencias.

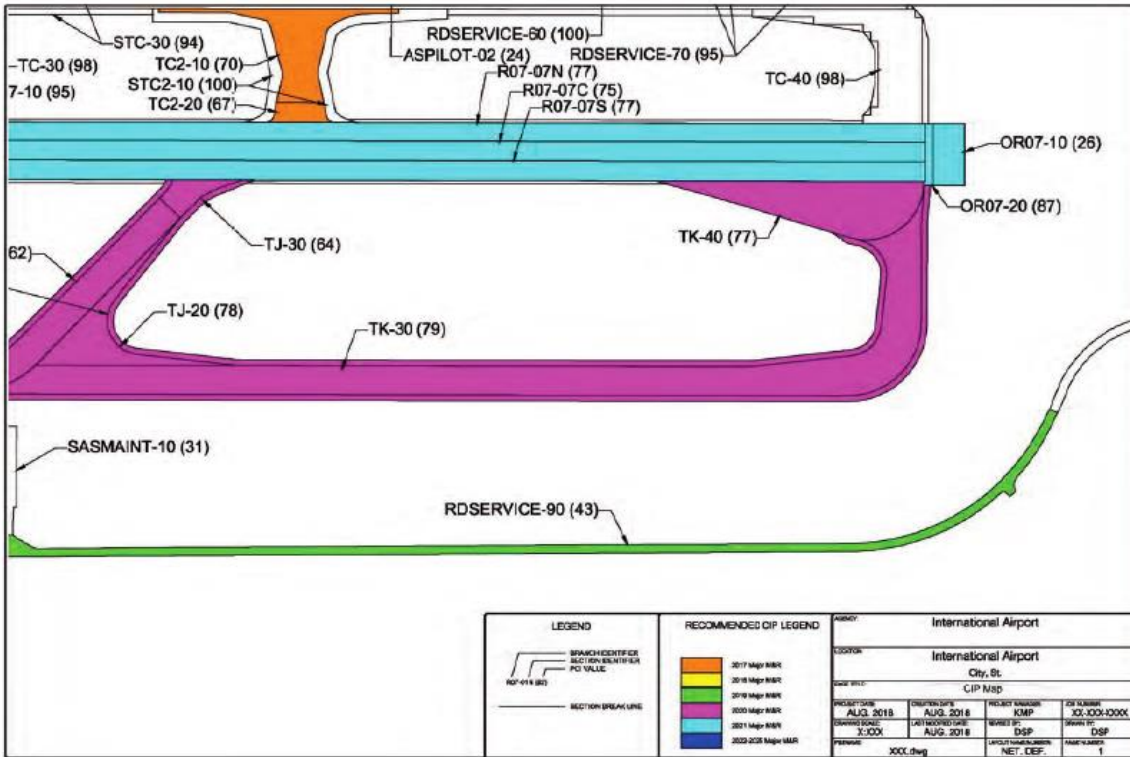


Figura 23. Muestra de CIP en formato de mapa.

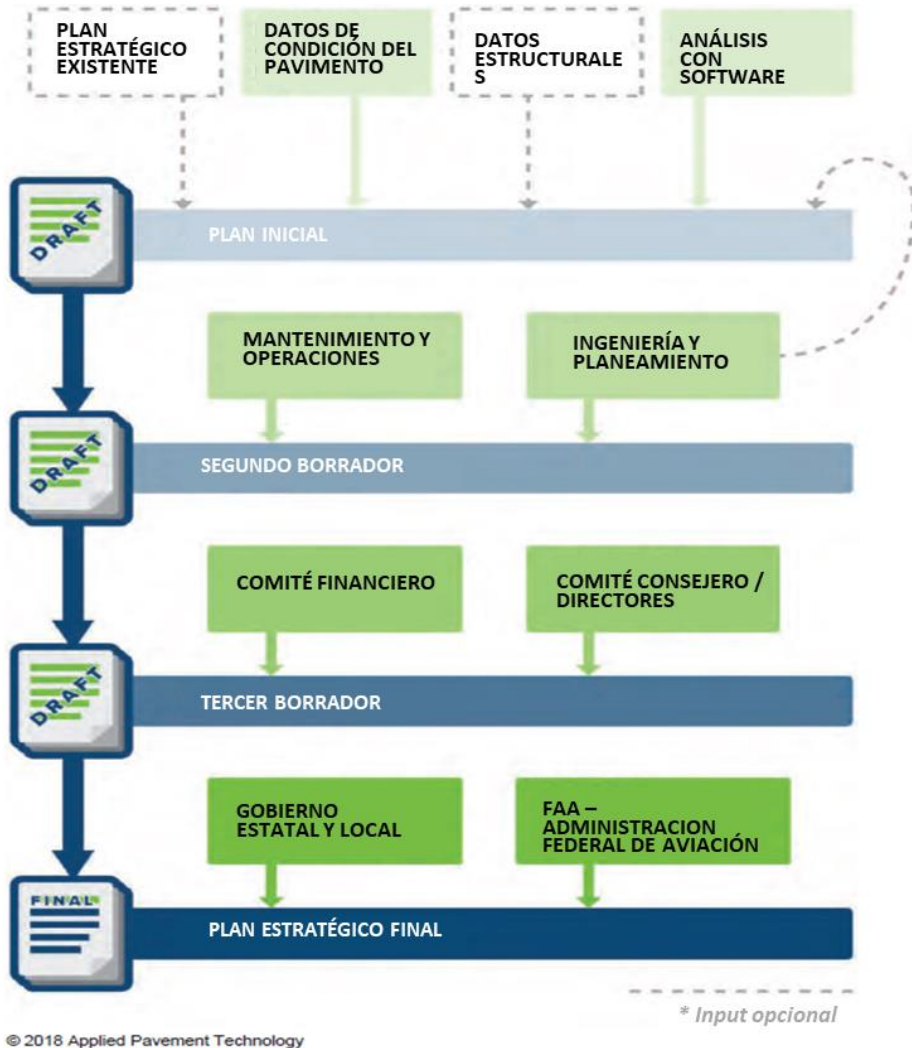


Figura 24. Esquema del flujo de actividades para el desarrollo de un plan estratégico.

Evaluación a nivel de proyecto

Una evaluación a nivel de proyecto es muy recomendable antes de la rehabilitación o reconstrucción, en particular para cualquier proyecto que no sea una rehabilitación pequeña, de rutina. Se consideran diferentes estrategias o tratamientos y se desarrolla un diseño detallado para el tratamiento (s) seleccionado. Mientras que muchos de los componentes son los mismos que en una gestión a nivel de red, el alcance y la forma en la que se llevan a cabo las evaluaciones pueden variar significativamente debido a que los objetivos de los dos tipos de estudios son bastante diferentes. Por ejemplo, estudios de las condiciones a nivel de proyecto suelen utilizar un tamaño de muestra mayor que las evaluaciones a nivel de red, hasta el 100 por ciento.

Condición del Pavimento / Mapeo de deterioros

Puesto que el objetivo de las inspecciones de condición del pavimento a nivel de proyecto es bastante diferente de las evaluaciones a nivel de red, el enfoque debe adaptarse también. Además de identificar los deterioros, en una investigación

a nivel de proyecto, también es importante determinar la causa del deterioro o falla, para que la opción de rehabilitación pueda ser diseñada para abordarla. Una capa delgada no sería una buena opción para un pavimento de asfalto existente con problema generalizado de ahuellamiento y agrietamiento de piel de cocodrilo, porque no se aborda la causa raíz del problema y una capa de refuerzo de este tipo es poco probable que se comporte muy bien. Del mismo modo, un pavimento de hormigón con amplia agrietamiento D (D-cracking) no sería un buen candidato para la aplicación de bacheo de profundidad parcial.

El tipo y el alcance de la inspección pueden variar y podrían ser más o menos intensivo en función del estado del pavimento. Si el pavimento está muy deteriorado, que exhibe deterioros relacionados a los materiales, y ya ha sido predeterminada la reconstrucción como la única solución viable, entonces una inspección detallada del estado del pavimento que muestre lo que ya se sabe no tiene mucho sentido. Para un candidato de reconstrucción, los siguientes métodos de evaluación deben explorarse:

- Evaluación de la subrasante para determinar las entradas de diseño para la reconstrucción y
- Posible investigación de drenaje.

Por otro lado, si el mantenimiento y la reparación es una opción viable, entonces una inspección más detallada con identificación de los deterioros específicos (por ejemplo, mediante un mapeo completo de deterioros) proporcionará la información necesaria para desarrollar planes precisos de mantenimiento y reparación. Para un candidato a rehabilitación, los siguientes métodos de evaluación deben explorarse:

- Inspección detallada de deterioros,
- Evaluación no destructiva de la capacidad estructural,
- Evaluación de la subrasante para determinar los datos de entrada de diseño para la rehabilitación,
- Extracción de muestras (testigos/núcleos), y
- Posible investigación de drenaje.

Además de la evaluación de daños en la superficie a través del estado visual del pavimento, también es aconsejable examinar otras características que podrían afectar a las recomendaciones técnicas de rehabilitación, tales como las condiciones de drenaje (o evidencia de daño por humedad), las pendientes transversales de las pistas, condición de los márgenes u hombros, condición/dimensiones de las ranuras, y la estabilidad de la subrasante. Una evaluación completa de los resultados de la inspección de la condición también puede indicar la necesidad de recopilación de datos adicionales, tales como ensayos no destructivos o extracción de muestras. Todos estos factores deben ser considerados en conjunto para determinar la mejor opción de rehabilitación.

Deflexión del pavimento

Hacer ensayos de deflexión es muy aconsejable para la mayoría de las evaluaciones a nivel de proyecto, ya que proporciona un examen de la estructura del pavimento más allá de la proporcionada en una evaluación visual de la superficie del pavimento. Un programa de ensayos de deflexión bien diseñado y ejecutado se puede utilizar para evaluar las siguientes condiciones:

- Respuesta pavimento ante las cargas (deflexiones normalizadas),
- Condiciones de apoyo subrasante [módulo de la subrasante, CBR, o valor k],
- Propiedades de las capas del material (módulos de elasticidad),
- La variabilidad en una o más capas del sistema de pavimento,
- Áreas débiles localizadas,
- Capacidad estructural / vida remanente, y

- Transferencia de carga en pavimentos de hormigón con juntas.

La AC 150 / 5370-11B, Uso de Ensayos No Destructivos en la Evaluación de Pavimentos Aeroportuarios, ofrece una amplia información sobre las técnicas no destructivas y su aplicabilidad, así como los datos de ensayo para aplicaciones de proyectos específicos. Como se ha señalado, ensayos más extensos son apropiados para una aplicación a nivel de proyecto en comparación con una evaluación a nivel de red. La tabla 11 muestra las recomendaciones de la FAA para la frecuencia de las pruebas a realizar en investigaciones a nivel de proyecto y a nivel de red. pruebas a nivel de red también se realiza en dos líneas de prueba dentro de la parte de la quilla (franja cargada por las ruedas) de la pista o calle de rodaje, en tanto que se recomiendan seis líneas de prueba para los ensayos a nivel de proyecto. Además de las diferencias de frecuencia, para ensayos a nivel de proyecto también se recomienda hacer las pruebas en otros lugares, como en las juntas longitudinales y en las esquinas de las losas.

Tabla 11. Ubicaciones y espaciamientos mínimos en pista y calles de rodaje para ensayos FWD (AC 150 / 5370-11).

	PCC con Juntas y sobrecapa HMA sobre PCC				HMA			
	Nivel de Proyecto		Nivel de Red		Nivel de Proyecto		Nivel de Red	
	Dist. m (ft)	Intervalo m (ft)	Dist. m (ft)	Intervalo m (ft)	Dist. m (ft)	Intervalo m (ft)	Dist. m (ft)	Intervalo m (ft)
Centro	3 (10) 9 (30) 20 (65)	30 (100) 30-60 (100-200) 120 (400)	3 (10)	60-120 (200-400)	3 (10) 9 (30) 20 (65)	30 (100) 30-60 (100-200) 60-120 (200-400)	3 (10)	60-120 (200-400)
Juntas Transversales	3 (10) 9 (30) 20 (65)	30-60 (100-200) 60-120 (200-400) 120 (400)	3 (10)					
Juntas Longitudinales	6 (20) 12 (40) 18 (60)	60 (200) 120 (400) 120 (400)						
Esquina	6 (20) 12 (40) 18 (60)	60 (200) 120 (400) 120 (400)						

Nota: Para cada distancia a la línea central, hay dos pasadas de ensayos no destructivos (NDT), uno a la izquierda y uno a la derecha; el intervalo se escalona entre pasadas adyacentes; y debe realizarse un mínimo de dos ensayos por sección de pavimento (HMA = asfalto de mezcla en caliente).

Los resultados del ensayo FWD se presentan a menudo en los gráficos de perfil de la propiedad evaluado sobre la longitud (o estación) de la instalación. La Figura 25 es un ejemplo de gráfico que muestra el módulo de subrasante retrocalculado a partir de las deflexiones del pavimento. Este tipo de presentación es ideal para examinar los resultados como un todo y para la evaluación de la diferencia relativa en una propiedad pavimento a través de un área pavimentada. Esta gráfica se genera a partir de seis pasadas de los equipos en diferentes desplazamientos a cada lado de la línea central del pavimento. Las secciones del pavimento también se muestran, y a partir de esta gráfica (y otras similares, mostrando módulos de las capas de pavimento, por ejemplo), es posible visualizar las relaciones entre los datos de deflexión y las propiedades de pavimento utilizados en el diseño nuevo o de rehabilitación. Un cambio en la propiedad puede indicar un cambio en la sección transversal, un cambio en las condiciones de apoyo (como la transición de un corte a una sección de relleno), o un cambio en la condición / rendimiento del pavimento. Mediante la evaluación de los gráficos como este es posible ver las tendencias en los datos y cómo una propiedad puede afectar a las demás.

Mediante el examen de estas propiedades y parámetros adicionales, el diseñador puede desarrollar una mejor solución para las condiciones específicas del sitio. El estudio de esta información también puede ayudar a minimizar el riesgo de fallo prematuro mediante la identificación temprana de las necesidades estructurales generalizadas o localizadas y atenderlas en el diseño del pavimento.

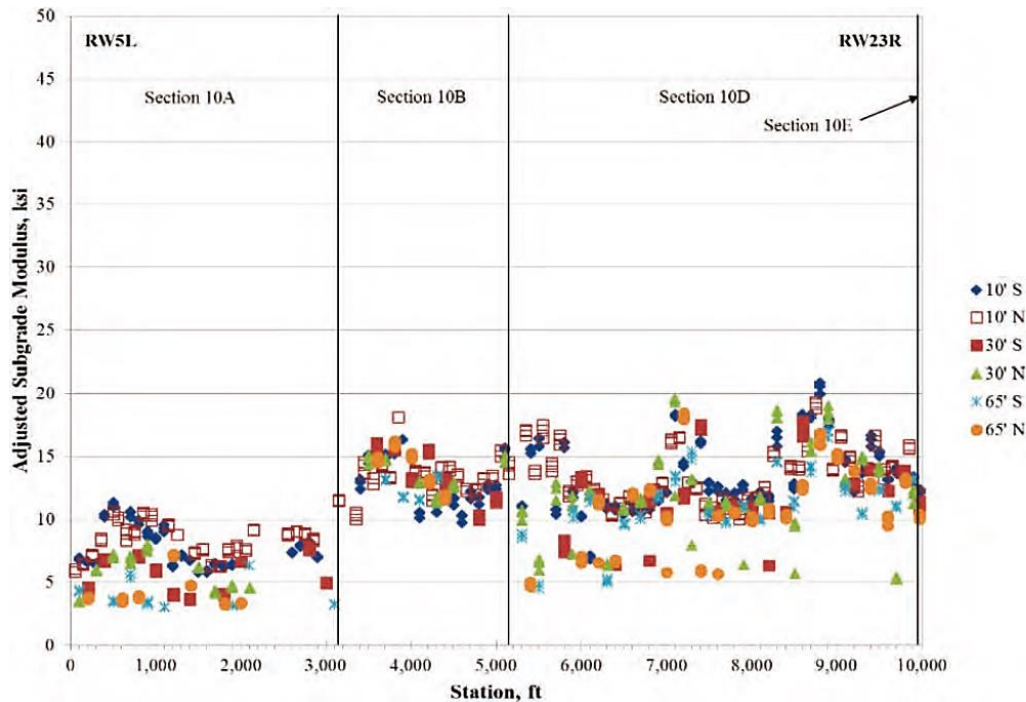


Figura 25. Gráfico de resultados de ensayos FWD.

Planes de mantenimiento y reparación

Los planes de mantenimiento y reparación identifican el tipo, cantidad y, en algunos casos, la ubicación de las actividades de mantenimiento y reparación recomendados. Ellos se preparan como parte de una inspección a nivel de red o una inspección a nivel de proyecto y se basan principalmente en los deterioros del pavimento. Como se señaló anteriormente, las inspecciones a nivel de red son en las que se inspecciona por muestreo de del pavimento y se pueden utilizar para generar estimaciones de deterioros y las necesidades de mantenimiento y reparación asociados. Si bien estas estimaciones son adecuadas para algunos proyectos, tienen varias limitaciones.

La precisión de las cantidades de reparación está ligada a la consistencia del estado del pavimento y la extrapolación del deterioro del pavimento de la zona inspeccionada a la superficie total del pavimento. Además, hay que hacer suposiciones generales acerca de las dimensiones de reparación en relación con la medición de del deterioro. Para pavimentos HMA en el que las fallas se miden en longitud o área, una cantidad adicional de, por ejemplo 10 por ciento se puede añadir a las dimensiones de reparación. Para pavimentos de hormigón en el que se observan sólo como presencia en una losa, la determinación de una cantidad de reparación más exacta puede ser problemático, especialmente para hacer frente a un deterioro como el agrietamiento D, que es generalmente más amplia en la parte inferior de la losa. Finalmente, la ubicación o mapeo de las actividades de mantenimiento y reparación requeridos no se especifica en una inspección PCI convencional (aunque pueden ser en ciertos enfoques de inspección con mapeo manuales o automatizados); sólo la cantidad sobre toda un área de la sección se puede determinar a partir de una inspección a nivel de red.

Se sugiere el mapeo de los deterioros (como se muestra en la Figura 1, por ejemplo), cuando se necesitan planes detallados para la reparación ya sea por parte de las fuerzas internas de mantenimiento o para ejecución por contratista (o en cualquier situación donde se necesita la precisión de las cantidades y / o ubicación de reparaciones específicas de reparación). Si sólo se necesitan las áreas de reparación, entonces sólo los deterioros que requieren reparación necesitan ser mapeados. En la mayoría de los casos, sin embargo, seguirá siendo necesaria una inspección del estado del pavimento a nivel de red para determinar la PCI.

Cuando los deterioros del pavimento se mapean sobre toda el área de pavimento, se sirven ambos propósitos. El deterioro asignado se puede utilizar para generar planes de mantenimiento y reparación, mientras que los deterioros individuales

pueden estar vinculados a una rama, sección y unidad de muestra e importados en una base de datos de gestión de pavimentos como PAVER o PAVEAIR (que mantiene la FAA). Es ideal un sistema de información geográfica (GIS) es ideal para la gestión de estos datos, y, con algo de programación simple, puede ser utilizado para extraer los datos necesarios hacia la base de datos de gestión de firmes y así determinar el PCI y realizar análisis adicionales.

Solución de problemas e Investigaciones Forenses

Para examinar la causa del mal desempeño de algunos pavimentos e identificar soluciones se llevan a cabo investigaciones especiales. Una investigación forense puede tomar muchas formas, y además de los datos de deterioros generados a partir de una inspección PCI, se puede incluir deflexiones, otras medidas de la condición de la superficie, y los resultados de muchos tipos diferentes de ensayos bajo la superficie (por ejemplo, tipo de material, espesores de capas, condiciones de la unión entre capas, desprendimiento, presencia de humedad, propiedades de los materiales). No hay una única solución para todos los casos cuando se trata de investigaciones forenses. Es importante tener un investigador principal con experiencia en diseño y en desempeño de pavimentos aeroportuarios que sepa captar el problema y recomendar los ensayos y pruebas adecuadas para validar o refutar la hipótesis. En algunos casos, también es necesario traer expertos sobre un tema en particular (como expertos en mezclas asfálticas o mezclas de concreto).

Comunicación a las partes interesadas de las condiciones y los planes

Las condiciones del pavimento pueden ser comunicados a las partes externas o semi-externos para explicar las acciones o solicitar apoyo. Esta comunicación es probable que incluya resúmenes descriptivos de condiciones o representaciones gráficas de las condiciones actuales o proyectadas que son similares a lo que se encuentran en los niveles estratégicos y de la red.

Las partes interesadas pueden incluir líneas aéreas, los inquilinos, los usuarios, la ingeniería, mantenimiento, operaciones, planificación, y la FAA. Las partes interesadas en general se benefician al recibir una visión general de alto nivel de los resultados y recomendaciones, así como del impacto del gasto o el no-gasto de fondos para hacer frente a las necesidades relacionadas con el pavimento. Los siguientes son ejemplos de preguntas que podrían hacer los grupos de interés:

- ¿Cuál es el impacto en la red de pavimento (tales como el PCI ponderado por área) si \$ 2 millones de dólares se gastan anualmente en proyectos de capital durante los próximos 5 años?
- ¿Qué beneficio se puede ganar en el largo plazo mediante la aplicación ahora de tratamientos de conservación y de preservación de pavimentos?
- ¿Cuál será el PCI proyectado para los próximos 10 años si no se realiza ningún trabajo de rehabilitación? (La Tabla 12 es un ejemplo de una respuesta a esta pregunta, que muestra el PCI proyectado por año, así como la vida útil funcional remanente, o el número de años hasta que el comportamiento funcional del pavimento alcanza un valor que gatilla actividades.)

Tales preguntas pueden ser contestadas a través de un análisis de los datos recogidos como parte de un estudio de gestión de pavimentos a nivel de red. Los resultados de estos escenarios pueden ayudar a guiar o influir en las partes interesadas para proporcionar fondos para proyectos necesarios, entendiendo que los costos se amplificarán si un proyecto se retrasa.

Otra consideración que las partes interesadas deben tener en cuenta es el riesgo, que es a menudo un factor que se pasa por alto en los estudios de gestión de pavimentos. ¿Cuál es el riesgo de FOD y el daño potencial a las aeronaves si no se financia un proyecto de reparación o rehabilitación? ¿Cuál es el riesgo financiero de demorar un proyecto de rehabilitación por un cierto número de años? Las respuestas a estas preguntas, aunque muy difíciles de cuantificar, ayudan a orientar las decisiones de las partes interesadas al ilustrar no sólo el impacto del proyecto propuesto, sino también el impacto de no hacer ese proyecto.

Este tipo de información queda mejor representada en un informe ejecutivo o presentación ejecutiva que transmita los resultados y recomendaciones sin llegar a ser demasiado detallado. Las partes interesadas necesitan la información a su

alcance para tomar decisiones, y es poco realista esperar que vayan a leer un informe voluminoso o descifrar la información de una base de datos de gestión de pavimentos.

Tabla 12. Proyecciones de PCI a 10 años y vida remanente funcionales.

ID Rama	ID Sección	PCI Proyectado por Año											Vida Remanente Funcional
		2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	
RW0826	01	89	87	84	82	80	78	76	75	73	72	70	> 10 años
	02	89	87	84	82	80	78	76	75	73	72	70	> 10 años
	03	92	89	86	84	82	80	78	76	74	73	71	> 10 años
	04	97	93	90	88	85	83	81	79	77	75	74	> 10 años
	05	98	95	92	89	87	84	82	80	78	76	75	> 10 años
TWA	01	99	98	97	97	96	95	94	93	93	92	91	> 10 años
	02	98	94	91	89	86	84	82	79	78	76	74	> 10 años
	03	88	84	80	77	74	71	68	65	63	61	59	> 10 años
	04	92	89	86	84	82	80	78	76	74	73	71	> 10 años
	05	98	95	92	89	87	84	82	80	78	76	75	> 10 años
TWB	01	98	97	95	93	91	90	88	86	84	82	80	> 10 años
	02	85	83	81	79	77	75	72	70	68	65	63	> 10 años
AGA	01	30	27	24	21	18	15	12	10	8	6	3	0 años
	02	41	38	35	32	28	25	22	19	16	13	11	1 año
	03	61	60	59	57	56	54	52	50	48	45	43	> 10 años
	04	51	48	45	42	40	37	34	31	29	26	23	5 años
	05	41	38	35	32	30	27	24	22	19	16	13	1 año
	06	82	78	75	72	70	68	66	65	63	62	61	> 10 años
ATERM	01	63	61	60	59	57	56	54	52	50	47	45	> 10 años
	02	77	74	71	69	67	66	64	63	61	60	59	> 10 años

Resumen

Este capítulo resume los diferentes usos de datos de condición del pavimento. La utilización de los datos a nivel de red está comúnmente asociada con la gestión de pavimentos y pueden incluir datos de las condiciones del pavimento, así como otros datos para apoyar las decisiones a nivel de red. A nivel estratégico, los datos de condición de pavimento se utilizan para fines de planificación, tales como el desarrollo de un programa CIP. Los datos de condición del pavimento se utilizan a nivel de proyecto para determinar qué estrategia de tratamiento es la apropiada, así como el diseño de esta estrategia. Los tipos y la cantidad de datos que se utilizan para las decisiones a nivel de proyecto son típicamente mayores que los asociados con los usos a nivel de red o nivel estratégico.

Estos otros usos para datos de estado del pavimento se identifican como sigue:

- El desarrollo de los planes de mantenimiento y reparación,
- Cumplir con las regulaciones de la FAA,
- La comunicación con las partes interesadas, y
- Solución de problemas y las investigaciones forenses.

Los mismos tipos de datos pueden ayudar a hacer frente a muchas necesidades diferentes. Cuando surgen diferencias es en la cantidad de datos recogidos y cómo esos datos son analizados y comunicados a los usuarios finales.

Usos compartidos y Presentación de Datos de Condición

Los mismos datos de condición pueden emplearse en parte, o en su conjunto, por muchos usuarios diferentes y por una variedad de grupos e individuos. Los usos comunes y la presentación de datos de la condición de pavimento han tomado muchas formas, históricamente, desde informes en papel hasta resultados que se muestran en software y sitios web interactivos. La información contenida dentro de cada formulario también ha variado sustancialmente, impulsado en parte por los avances en la tecnología y las necesidades de la audiencia a la que se intenta llegar.

Los siguientes son usuarios típicos de los datos de estado del pavimento: el personal del aeropuerto, tales como mantenimiento, operaciones, ingeniería, planificación y gestión; consultores aeroportuarios; aerolíneas; y los organismos de gestión, tales como departamentos estatales de transporte o la FAA. Las responsabilidades y los intereses de los diferentes grupos incluyen el diseño del pavimento, la ingeniería, el mantenimiento, la planificación, el desarrollo de los programas CIP, el desarrollo del presupuesto y otros aspectos de la gestión de los aeropuertos.

Categorías de usuarios de Datos de Condición

La presentación de los datos de condición los y resultados del PMP a los diferentes usuarios puede variar desde muy detallada, como mapas de deterioros del pavimento y presupuestos precisos de reparación, a información resumida más amplia, como el impacto de diferentes escenarios de financiación de M & R sobre las condiciones generales del pavimento para un aeropuerto o un sistema de aeropuertos. A continuación se ofrece un resumen del nivel general de detalle de los diferentes departamentos del aeropuerto.

Mantenimiento

El personal del departamento de mantenimiento es por lo general el grupo usuario de datos detallados de la condición del pavimento, incluyendo el tipo de fallas y los datos de severidad, lugares de ocurrencia de los deterioros, las estimaciones de cantidades de trabajo de mantenimiento, y varios resultados detallados del análisis de las necesidades de reparación. La información se utiliza para localizar e identificar los pavimentos candidatos para las reparaciones de mantenimiento, proporcionar estimaciones de las cantidades totales de estas reparaciones, y potencialmente identificar el impacto que las reparaciones, si se realizan, tendrían sobre la condición del pavimento. En niveles más altos dentro de un departamento de mantenimiento, las necesidades y los impactos financieros resumidos son a menudo beneficiosos cuando se está elaborando los presupuestos anuales y justificando el mantenimiento de pavimentos.

Operaciones

El personal de operaciones es el responsable de la operación del día a día de las instalaciones aeroportuarias y la continua supervisión de estas instalaciones para asegurarse de que las aeronaves, personal del aeropuerto, y el público viajero puedan realizar con seguridad los movimientos y operaciones necesarias dentro del entorno de campo de aviación. Todos

los datos de condición son utilizados por este grupo para identificar cualquier problema potencial en el desempeño o la seguridad en lo que respecta a los pavimentos. Como tal, el grupo de operaciones utiliza muchos de los mismos datos detallados utilizados por el grupo de mantenimiento. Sin embargo, este grupo está generalmente menos interesado en las estimaciones de gastos o cantidades que resulten del análisis de los datos de condición que en la identificación y localización de las situaciones que plantean riesgos para la seguridad.

Además, el personal de operaciones a menudo utiliza los resultados de la evaluación estructural para ayudar a determinar si las aeronaves más pesadas pueden utilizar un aeropuerto o para identificar en qué áreas pueden operar sin sobrecargar o causar un impacto negativo en el pavimento. Por último, los grupos de operaciones utilizan los datos de resistencia al deslizamiento y la regularidad superficial para asegurarse de que los pavimentos siguen proporcionando a los operadores de aeronaves y pasajeros la capacidad de frenado adecuada y la habilidad para efectuar operaciones seguras en tierra. En este caso, los datos se proporcionan a menudo en un formato detallado y luego se resumen como sea necesario para el monitoreo de condición.

Ingeniería

Los departamentos de ingeniería y los consultores de ingeniería que trabajan con los aeropuertos usan la mayor variedad y volumen de datos de condición del pavimento y los resultados de las evaluaciones. Sus necesidades incluyen datos detallados y resultados similares a los utilizados por los departamentos de mantenimiento; datos de la evaluación estructural para ayudar en el diseño, la construcción, o rehabilitación de pavimentos nuevos o existentes, así como los datos de resistencia al deslizamiento para determinar la capacidad de la superficie de rodadura para proporcionar la fricción necesaria para las operaciones seguras.

Los departamentos de ingeniería tienen también a menudo la tarea de la responsabilidad de desarrollar o proporcionar insumos clave para programas CIP multianuales para el mantenimiento del pavimento, la rehabilitación, y la construcción y la incorporación de estas necesidades junto con otras necesidades del aeropuerto no relacionadas con el pavimento. Los ingenieros utilizan los resultados detallados y resumidos para ayudar en el desarrollo del programa, así como para demostrar la necesidad financiera y el impacto que tienen los presupuestos limitados y las decisiones de financiación sobre el estado general del sistema. El nivel de detalle en este uso depende en última instancia de la audiencia a la que se proporcionan los datos y resultados.

Planificación y Gestión

Los usuarios de planificación y gestión de los aeropuertos se concentran en resultados resumidos a un nivel mayor, más amplios, que transmiten la condición a un público más amplio en general, los resultados del análisis agregado, y las necesidades del programa CIP multianual, así como los impactos previstos que las futuras decisiones sobre los gastos relacionados con el pavimento-tienen en estado general pavimento. En esta función, estos usuarios a menudo interactúan con los operadores de líneas aéreas, el público en general, y otras agencias de gobierno tales como departamentos de transporte estatales, la FAA, o grupos de gestión de la ciudad / municipio. Es esencial que los datos de las condiciones y los resultados se presenten en forma tal que sean fáciles de entender y transmitan la historia o mensaje de una manera directa.

Otras agencias y grupos

Otros usuarios de datos de la condición del pavimento incluyen operadores de líneas aéreas, DOT, la FAA, gobiernos locales o municipales, e incluso el público en general. Con la excepción de los DOT y la FAA, que podrán querer observar los datos detallados para evaluar las necesidades y calificar las solicitudes de fondos, estos otros usuarios comúnmente quieren ver los datos de condición datos resumidos de manera muy similar a lo descrito en el grupo de usuarios de planificación y gestión.

Las descripciones anteriores de las diversas categorías de usuarios y el nivel de detalle de datos condición que utilizan se

resumen en la Tabla 13. Los métodos en los que se proporcionan estos datos varían casi tanto como los usuarios. Una preferencia hacia los métodos visuales de la presentación de datos, incluyendo figuras, tablas y especialmente mapeo, se identificó como elementos esenciales para todas las categorías de usuarios durante los estudios de casos y la revisión de la literatura.

Tabla 13. Nivel de detalle en los datos de condición por categoría de usuario.

Categoría de usuario	Nivel de detalle de la condición general	
	Detallada	Resumida
Mantenimiento	✓	
Operaciones	✓	✓
Ingeniería	✓	✓
Planeamiento y gerencia		✓
Otras Agencias y Grupos		✓

El resto de este capítulo expande en las diferencias entre los datos de nivel de proyecto y de red, describe los diversos métodos para la difusión de esta información, y da una idea de las preferencias actuales y futuros desarrollos que los usuarios identificaron en los estudios de casos y la revisión de la literatura realizada como parte de esta investigación.

Datos de Condición a Nivel de Proyecto y Nivel de Red

Los datos de condición del pavimento se describen a menudo por el nivel en el que se recogen los datos y por el alcance pretendido y el objetivo para los que se utilizan los datos para entregar un resultado. Por ejemplo, los términos “a nivel de proyecto” y “a nivel de red” se usan a menudo para describir tanto el nivel de detalle y la precisión relativa que los datos recogidos proporcionan. Ejemplos de cada nivel de datos de condición del pavimento se discuten anteriormente en este informe. En general, los datos a nivel de proyecto coinciden con la evaluación de una rama específica dentro de una red de aeropuertos, por ejemplo, la evaluación estructural de una pista específica, en contraposición a la evaluación de la totalidad de un aeropuerto o sistema de aeropuertos. Por el contrario, los datos de condición a nivel de red se asocian a menudo con la evaluación de la condición de todo un aeropuerto o sistema de aeropuertos, como la inspección PCI de todas las áreas pavimentadas.

Una diferencia principal entre estos niveles es la cantidad de datos recogidos dentro de cada área pavimentada. Datos a nivel de proyecto se recogen a menudo en el 100 por ciento de la superficie del pavimento o a una densidad de muestreo significativamente más alta que los datos de nivel de red. Es importante tener en cuenta que los términos “detallada” y “resumida” no son necesariamente sinónimo de los términos “a nivel de proyecto” y “a nivel de red.” Ya sea que los datos de condición hayan sido tomados a un nivel de red o proyecto, la presentación de los resultados puede estar en un formato muy detallada o resumido para cada nivel dependiendo del usuario previsto.

Presentación de Datos Históricos y Resultados de Condición

Los datos de condición del pavimento se pueden proporcionar al propietario tanto en papel como en formatos electrónicos accesibles, ya que sea una base de datos PAVER o una equivalente, una hoja de cálculo o formatos de archivo de datos especializados. El método de presentación adecuado puede reflejar las obligaciones contractuales, cómo se utilizarán los resultados, así como las mejores prácticas.

Documentos de informes impresos

Datos de condición del pavimento se presentan generalmente en forma de informes impresos. Dependiendo del nivel de detalle, estos informes se componen de documentos técnicos de gran tamaño, en que los datos se presentan en gran detalle, a menudo con apéndices voluminosos y resúmenes ejecutivos más cortos que presentan los datos actuales y los resultados a un rango más amplio de usuarios.

Estos informes pueden proporcionar información de antecedentes y explicación sobre la realización del método o métodos de evaluación del estado utilizado(s), la discusión de los resultados, e incorporan el uso de tablas y figuras para presentar los resultados. Ejemplos de estos resultados se muestran en la Tabla 9, la Figura 20, la Figura 25 y la Tabla 14.

Estos informes a menudo también utilizan mapas que muestran datos de las condiciones y resultados de análisis asociados. Ejemplos de esto incluyen la Figura 1, que es un mapa detallado de los tipos y severidades de los deterioros en el pavimento localizados durante una inspección visual; Las figuras 4 y 21, que son las representaciones gráficas de la condición PCI actual de los pavimentos en un aeropuerto; y la Figura 26, que representa la vida remanente estructural de pavimentos a base de una evaluación del estado estructural.

Para comunicar datos de la condición y los resultados a un público más amplio, estos documentos pueden incluir resultados resumidos para los grupos de usuarios que requieren ambos niveles de detalle. Ejemplos de este tipo de resultados se resumen en el programa CIP de varios años e incluyen ilustraciones de los impactos que diversos niveles de financiación de M & R tendrían en un aeropuerto o sistema de aeropuertos, o los valores promedio de la condición para una variedad de medidas. Ejemplos de estos tipos de resultados resumidos se presentan en la Tabla 10, Figura 22 y la Figura 27, respectivamente.

Tabla 14. Resultados de inspección PCI presentados en forma de tabla.

Uso de la Rama	ID Rama	ID Sección	Superficie	Area, SF	Losas	Año últ.construcción	PCI	% Deterioros debido a		
								Clima	Cargas	Otros
PLATAFORMA	ANORTH	10	PCC	75,300	402	1944	16	12	61	27
		20	APC	22,500	-	1975	57	100	0	0
		30	APC	364,800	-	1991	34	54	46	0
		40	PCC	13,500	60	2003	85	0	0	100
		50	APC	18,480	-	1991	31	84	15	1
PISTA	RW1230	10	PCC	67,210	109	2009	62	15	0	85
		20	PCC	110,000	176	1995	34	40	1	59
		30	PCC	163,106	263	1995	43	27	2	71
		40	PCC	170,015	272	2006	65	16	0	84
		50	PCC	7,500	12	1958	6	19	46	35
		60	PCC	10,106	30	2006	92	83	0	17
		70	PCC	97,675	161	2006	80	8	0	92
		80	PCC	58,750	94	1995	47	11	16	73
		90	PCC	51,875	83	1958	3	14	36	50
		100	PCC	11,875	19	1995	53	19	0	81
		110	PCC	151,095	244	1995	59	12	35	53
		120	PCC	76,250	122	1995	35	40	6	54
		130	PCC	25,000	40	1958	3	29	36	35
		140	PCC	72,338	116	2006	83	36	0	64
150	PCC	143,091	708	1944	35	15	61	24		
160	PCC	12,000	64	2006	94	32	0	68		
RODAJE	TWC	10	PCC	82,500	224	2010	90	0	0	100
		20	PCC	57,100	160	1993	76	7	4	89
		30	PCC	12,440	44	1959	76	38	0	62
		40	PCC	97,700	165	15959	72	25	0	75
		50	PCC	94,700	268	2013	94	35	0	65
		60	PCC	163,800	436	2014	100	6	27	67

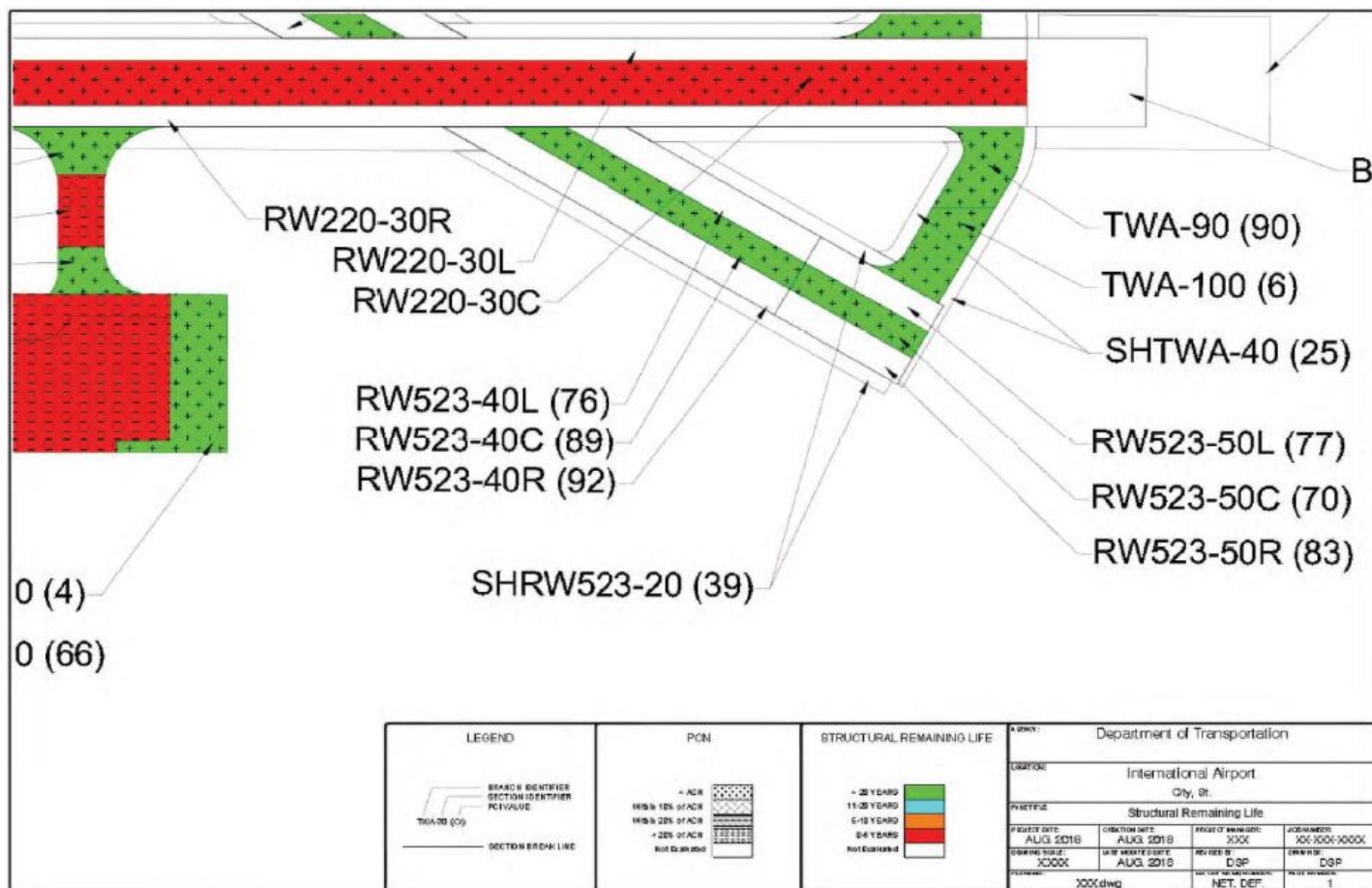


Figura 26. Ejemplo de un mapa que muestra la vida estructural remanente.

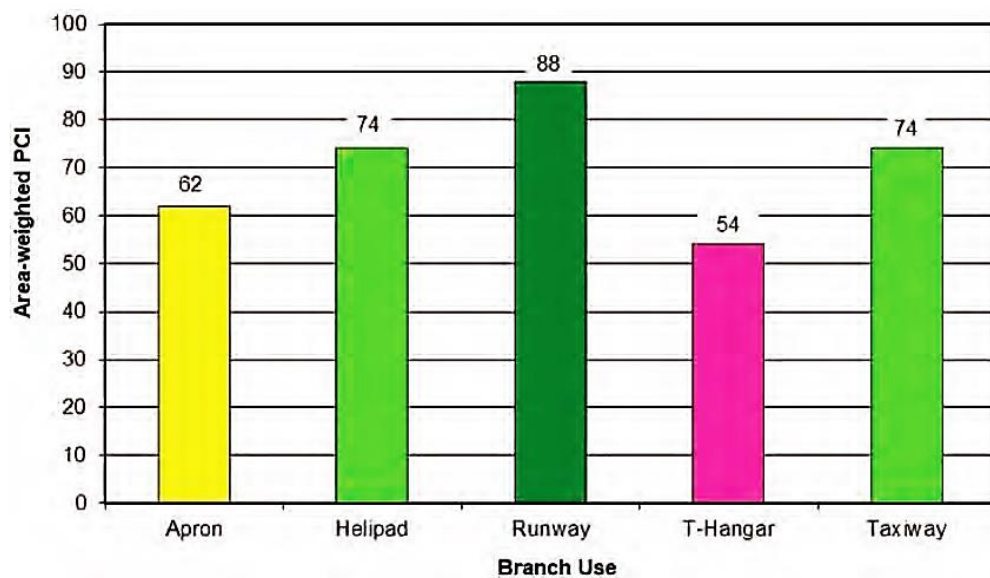


Figura 27. Ejemplo resumen de estado general por el uso pavimento.

Mientras que los documentos técnicos grandes pueden contener datos y resultados de condiciones tanto detalladas como resumidas, para quienes quieren solo información resumida para utilizarla y presentarla a otros públicos, tanto interna como externamente, estos documentos más grandes pueden ser engorrosos y difícil de usar. Para eso se desarrollan documentos de resumen ejecutivo del proyecto, folletos de formato corto, y otros documentos similares. Estos documentos de síntesis son a menudo más visuales en su naturaleza y presentan resultados resumidos de la condición actual mediante estadísticas globales y de manera no técnica. Pueden contener algunos de los mismos resultados resumidos previstos en los documentos técnicos más grandes, además de otros resultados; por ejemplo, por ejemplo, presentar resultados de necesidades totales de fondos de M&R por PMP de cada aeropuerto para sistemas de múltiples aeropuertos, o inventario de pavimentos y datos de condición por distrito político o región, o sistema de clasificación de aeropuertos, clasificación de activos de la FAA, o elegibilidad de financiación.

Mientras documentos impresos contienen una gran cantidad de información y pueden proporcionar el nivel necesario de detalle para cada categoría de usuario, puede pasar tiempo significativo entre la recolección de los datos y obtención de resultados hasta que los elementos de información se finalicen y estén disponibles para su uso; este tiempo puede extenderse desde unos meses a casi un año. Esta brecha ha causado problemas con la validez y la utilidad de los datos recogidos y es una preocupación identificada dentro de los estudios de casos presentados en el Apéndice B.

PMP Software y Bases de Datos

Mientras que los informes en papel, en sus diversas formas se han utilizado para presentar datos y resultados de la condición, software PMP y bases de datos PMP datos conforman otro uso compartido y presentación de estos datos. Además de la utilización de software PMP y bases de datos de condición, los SIG han permitido a los usuarios representar datos y resultados de condición e incorporar estos datos en grandes conjuntos de datos espaciales que incluyen otros activos del aeropuerto tales como la iluminación, señalización, y el drenaje. La figura 28 muestra un ejemplo de datos de inventario y condición referenciados espacialmente dentro de un GIS.

El uso de software PMP, como PAVER o PAVEAIR, o un SIG integral ha sido históricamente llevada a cabo por un conjunto más pequeño de usuarios con formación y experiencia necesaria para operar este tipo de software. Además, los requisitos de licencia y restricciones pueden limitar el número práctico de los usuarios. A menudo, este conjunto de usuarios se encarga del mantenimiento de estos datos y el desarrollo de los materiales de presentación y salidas que luego son utilizados por otros. Por estas razones, el uso de software PMP y SIG para proporcionar los diferentes usuarios de acceso a datos de la condición ha sido limitado. En el futuro, visualizadores de datos con consultas pre-programadas y generación de informes, en asociación con programas de software ya sea PMP o SIG, es probable que mejoren el acceso y amplien la capacidad de uso de estas herramientas.

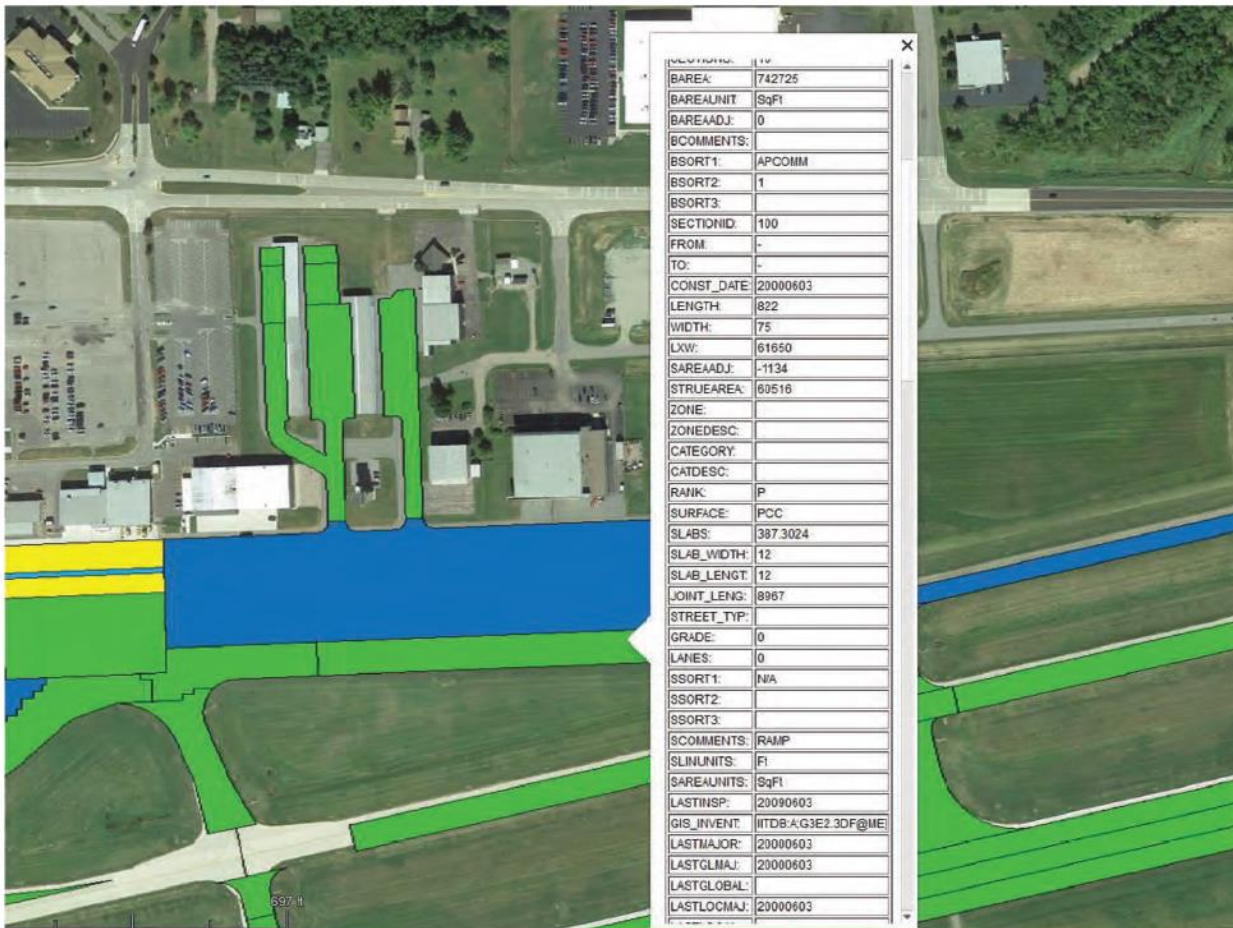


Figura 28. Muestra de datos de condición espacialmente referenciados en un SIG.

Presentación de Datos y Resultados del estado actual

Presentaciones de los datos en papel y los resultados detallados y resumidos son muy comunes. Muchos usuarios colocan un alto valor a la difusión de los datos de las condiciones y resultados a través de documentos impresos o documentos entregados en formato electrónico. Cada vez más, sin embargo, los datos de estado del pavimento se entregan en algún tipo de formato digital. Versiones digitales de informes permiten a los usuarios y las agencias compartir los resultados con rapidez, para desarrollar el contenido “descargable” en sus páginas de Internet, o para almacenar esos datos en sus redes informáticas. La entrega en formato de archivo digital, nativo ofrece la mayor flexibilidad en el análisis de datos y su uso futuro. Este enfoque puede ser utilizado en combinación con la entrega en papel o, en algunos casos, en lugar de las copias impresas.

A medida que el contenido electrónico se vuelve más aceptado y ampliamente utilizado, se ha hecho evidente que el acceso a estos datos de condición y sin tener que utilizar soluciones de software complejos o de propiedad o localizar documentos, ya sea en papel o electrónico, es un método aún más eficaz de presentar los resultados. Esto ha llevado al desarrollo de sitios web interactivos PMP y despliegues SIG, soluciones basadas en la Web que no requieren licencias de software individuales o entrenamiento complejo para que los usuarios accedan a datos de la condición del pavimento y los resultados del análisis.

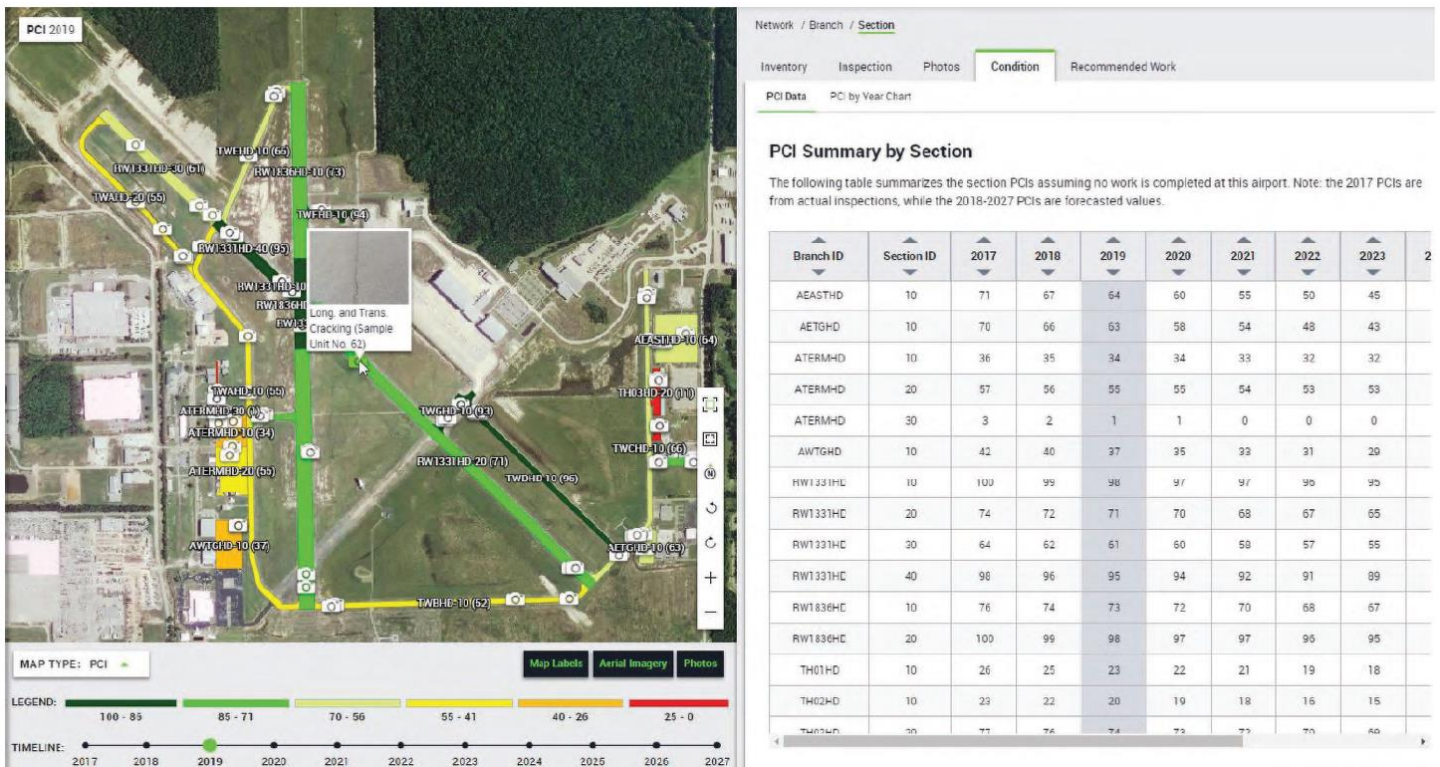
Sitios web interactivos PMP

El desarrollo de programas interactivos PMP comenzó hace casi 20 años. El desarrollo inicial y principal impulsor de estos programas eran agencias de aviación estatales que necesitan proveer datos y resultados PMP a una amplia gama de usuarios. El contenido dentro de los programas fue diseñado para satisfacer las necesidades de los usuarios, proporcionando métodos convenientes para presentar datos detallados y resultados en el aeropuerto, así como el contenido más resumido.

Con el continuo refinamiento, junto con los avances en la conectividad a Internet, estos programas interactivos PMP se convirtieron en sitios web interactivos. Estos sitios web permiten a los usuarios acceder a los datos y resultados cuando sea necesario, siempre que el usuario tenga acceso a Internet, y se puede ver en varios tipos de plataformas, tales como una tableta o teléfono inteligente, con eficacia variable. Estos sitios web permiten la presentación de datos de las condiciones en varios formatos, incluyendo tablas, figuras y gráficos. Los sitios web PMP actuales permiten el uso de datos y resultados de condición con referencia espacial usando imágenes y otras salidas de mapeo del aeropuerto para proporcionar una herramienta muy visual y fácil de usar, sin dejar de utilizar los métodos de presentación preferidos por todas las categorías de usuarios, incluidas las identificadas dentro de los estudios de casos.

Las figuras 29 y 30 son ejemplos de datos de condición PCI que se presentan en forma de mapas referenciados espacialmente. En la Figura 29, se presentan también las futuras condiciones del pavimento y se accede seleccionando el futuro años de interés.

La Figura 31 proporciona un ejemplo de condición datos y resultados resumidos utilizando gráficos interactivos. Este nivel de datos resumidos frecuencia se reporta como parte de una medida de seguimiento anual de las agencias estatales de los departamentos como el departamento de transporte. En este ejemplo, la distribución de condición para un sistema de aeropuertos es presentada por la cantidad de área de pavimento encada categoría de estado.



Source: LaDOTD

Figura 29. Condición actual y pronosticada del pavimento presentada dentro de un PMP interactivo.



Source: MnDOT

Figura 30. Condición del Pavimento presentada dentro de un website PMP interactivo.

Chart **Both** Table

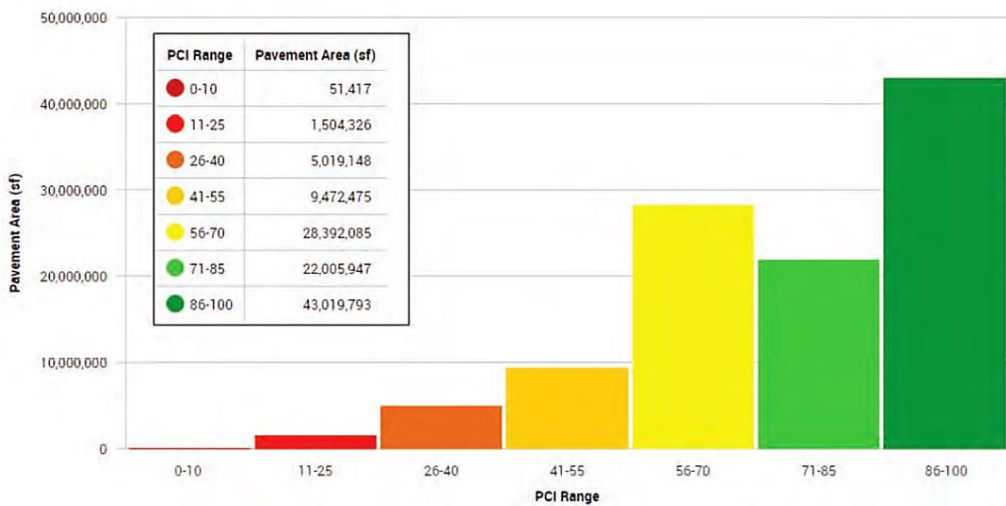


Figura 31. Condición por área pavimento.

Futuros desarrollos

Las tendencias futuras en la presentación de los datos de las condiciones y los resultados están siendo impulsados por los usuarios de datos. Las entrevistas realizadas como parte de los estudios de casos identificaron un deseo común de continuar con el desarrollo de herramientas de acceso en línea que proporcionen estos datos en los formatos y niveles de detalle necesarios para un amplio uso en todas las categorías de usuarios.

Los usuarios también expresaron su interés en la capacidad de incorporar estos datos de las condiciones y resultados dentro de las plataformas SIG más grandes que incluyen otros activos aeroportuarios, tales como señalización, iluminación, estructuras de drenaje, y así sucesivamente, con el fin de proporcionar un inventario y presentación de la plataforma completa de todos los activos que están disponibles para aquellos que son responsables del mantenimiento y la gestión de datos. La toma y análisis de datos de condición georeferenciados permite que esto ocurra.

Una última consideración es la necesidad de hacer que los datos y resultados de condición estén disponibles y hacer que estos datos sean accesibles más pronto después de la recolección en campo respecto a lo que ha sido posible en el pasado. Los factores que afectan el tiempo que transcurre antes de los datos y resultados estén disponibles incluyen la cantidad de los datos recogidos, el nivel de detalle, y la finalidad prevista. Mientras que la tendencia a dejar el papel o los formatos electrónicos tradicionales de documentación ha reducido este tiempo, el continuo desarrollo de herramientas interactivas y el acceso en línea debería reducir aún más el tiempo transcurrido entre la toma y la entrega de datos. Esta entrega más rápida será aún más beneficiosa si se continúa estas tendencias en el desarrollo de herramientas interactivas hacia la posibilidad de enlazar directamente a los datos recolectados y los resultados analizados.

Un desarrollo interesante es la introducción en los aeropuertos de políticas y planes de gestión de activos (GHD 2012). Estos van mucho más allá de los pavimentos en su alcance y están siendo cada vez más implementados en los aeropuertos de todo el mundo. Esto podría tener muchos efectos diferentes sobre datos de las condiciones del pavimento, incluyendo las plataformas utilizadas para compartir datos de activos, el método de recolección de estos datos, y la toma de decisiones de activos entrecruzados (*cross-asset decision making*).

Cumplimiento de la Sección 508 de la Ley de Rehabilitación

Un desafío actual para continuar con el desarrollo de sitios web PMP y el acceso en línea a los datos y resultados de condición es la conformidad requerida con la Sección 508 de la Ley de Rehabilitación, modificada en 1998. La Sección 508 requiere que las agencias federales hagan que la tecnología y la información electrónica accesible a las personas con discapacidades. La mayoría de los estados ahora están ya sea solicitando o exigiendo el mismo nivel de compatibilidad dentro de sus productos de tecnología electrónica y de información, y la lista sigue creciendo. Este cumplimiento se extiende a los sitios web de PMP interactivas desarrolladas para la presentación de los datos y los resultados de condición del pavimento.

Además de sitios web interactivos PMP, muchas agencias han adoptado los mismos requisitos para la presentación de informes tradicionales en forma de documentación electrónica, tales como archivos de formato de documento portátil (PDF descargable). Debido a estos requisitos de cumplimiento, el desarrollo actual y futuro de las formas de presentar estos datos a los usuarios compartidos deben mantener estos requisitos en mente con el fin de continuar asegurando que la información se presente y esté disponible para todas las categorías de usuarios.

Resumen

Un pavimento, o un sistema de pavimentos, es a menudo el activo más grande en términos de valor y de costo para los responsables de la gestión de las instalaciones aeroportuarias. Dentro del entorno del aeropuerto, varios usuarios e interesados tienen múltiples necesidades de datos, variando de presentación de la información detallada y los resultados para algunos usuarios, como los departamentos de ingeniería y mantenimiento, a proporcionar resultados que se resumen

en general a otros usuarios, tales como el personal de planificación, gestión, o de otros organismos. Establecer y mantener un PMP efectivo ofrece a este grupo una herramienta para ayudar en la gestión proactiva de las instalaciones de pavimento.

Los software PMP y bases de datos, aunque contengan todos los datos y resultados de condición potenciales, a menudo requieren una formación sustancial en su uso y han demostrado ser de difícil acceso para el usuarios poco frecuentes. Como resultado, los datos de y resultados históricamente han sido desarrollados por personas con experiencia en el uso de software PMP y se presentan a los usuarios de los datos en forma de informes impresos. Estos informes documentan las condiciones y los resultados globales utilizando tablas, figuras, y mapas. La presentación de estos datos ha evolucionado con el tiempo para incluir SIG y los resultados disponibles en la web a través de redes internas o externas. Quienes respondieron a los estudios de casos expresaron su deseo de continuar los esfuerzos para incorporar estos datos y resultados de condición de pavimentos como entregables dentro de sistemas más amplios de SIG y de web interactivos de aeropuertos.

Almacenamiento, mantenimiento y acceso de datos

La naturaleza de los datos de condición de los pavimentos aeroportuarios está evolucionando desde informes en papel, tablas de datos, gráficos impresos hacia datos que son a la vez generados por medios digitales y a los que se accede a través de medios digitales. En la era de los informes en papel, el reto más grande puede haber sido localizar un informe en una estantería o en los archivos de una organización. Cada vez más, los retos son la identificación de formas eficientes de almacenar, acceder y lógicamente integrar grandes volúmenes de datos de condición (y otros relacionados) que se generan de forma rutinaria.

Hoy en día la cantidad de datos sobre el estado del pavimento que son generados, almacenados y utilizados ha crecido significativamente, y el espacio necesario para almacenar esos datos también ha crecido. A medida que se recogen más y más datos a través del tiempo, y la capacidad de generar y acceder a más datos estén disponibles, esta tendencia continuará. En este capítulo se explora los tipos de almacenamiento de datos, el mantenimiento de la integridad de los datos, el cómo proporcionar acceso a los datos, y las normas de gobierno de datos. Se basa en la premisa de que todos los datos relacionados con el pavimento deberán ser almacenados y mantenidos adecuadamente para que los grupos de interés puedan tener acceso cuando sea necesario. Al mismo tiempo, se reconoce que el almacenamiento de datos y el acceso deben ajustarse a las necesidades de cada organismo, y no hay una solución singular que funcione para todos los organismos.

Almacenamiento de datos

Los datos de pavimentos de aeropuertos provienen de múltiples fuentes: algunos datos se generan internamente, algunos son generados por los consultores, y algunos pueden ser proporcionados por los contratistas como parte de los proyectos de construcción. Estos datos se generan en una variedad de formatos diferentes, y no hay protocolo universal para referenciar lugares asociados con los datos. Los archivos de datos de pavimento pueden ser bastante grandes, presentando desafíos tanto para almacenar como para compartir esos datos. Históricamente, cada tipo de datos puede haber sido aislado en su propio “silo”. Es decir, los datos de condición del pavimento, los registros de mantenimiento del pavimento, los datos de fricción, los datos geotécnicos, y otros tipos de datos se generaron en una variedad de formatos y eran administrados por quienes los datos generaron o por quién era el usuario principal, incluyendo el personal de planificación, mantenimiento, operaciones o ingeniería.

Los datos de condición a nivel de proyecto, que pueden ser similares a los datos a nivel de red, pero que se generan para diferentes propósitos, rara vez estarían vinculados a bases de datos a nivel de red y pueden haber sido almacenados por un departamento de ingeniería o fuera de la oficina con el consultor del aeropuerto. Con los datos que se generan y se utilizan las diferentes partes de la organización de un aeropuerto, puede ser un reto para las agencias el almacenar todos los datos de condición en un solo lugar, o proporcionar acceso a la gama de partes interesadas que quieran utilizarlo.

Las opciones para el almacenamiento de datos del pavimento incluyen interno, externo, y basado en la nube. La aplicabilidad de cada método depende del tipo de datos almacenados, la cantidad de datos, y el número de partes interesadas que necesitan acceder a los datos. Además, la Tabla 15 resume la información que se detalla a continuación, incluyendo diversas consideraciones que los aeropuertos pueden tener en cuenta a la hora de decidir cómo y dónde almacenar los datos de pavimento.

Tabla 15. Tamaños aproximados típicos de sets de datos de pavimento (estimaciones de tamaño de archivo basado en un aeropuerto con 4.000.000 m2 de pavimento).

Tipo de Archivo	Descripción	Tamaño típico de archivo
PAVER	Datos de gestión del pavimento, incluidos datos de condición PCI, datos históricos, modelos, tratamientos.	10 MB
Datos de deflexiones FWD a Nivel Red	Respuesta del pavimento a la carga de impulso, proporcionando una medida de la integridad estructural del pavimento.	45 MB
LiDAR	Nube de puntos de datos	128 GB
Perfil	Datos de perfil transversal (ahuellamiento) y longitudinal (rugosidad)	12 MB
Imágenes 3-D Laser	Imagen láser de la superficie del pavimento.	37 GB
Video	Imágenes de video de pavimento y ROW	45 GB

Independientemente del método de almacenamiento, es importante recordar que la tecnología puede ser obsoleta rápidamente. Por ejemplo, mientras hace unos años, la gran mayoría de los computadores utilizan CDs y tenía unidades de CD, hoy en día la mayoría de los equipos no lo hacen, y las unidades USB y discos duros externos son mucho más comunes. Esto puede no ser siempre el caso. Los aeropuertos deben guardar copias en papel de los informes, cuando sea posible, y mantener las versiones electrónicas de datos en formatos comunes, como PDF, archivos de texto plano, y así sucesivamente. Incluso estos formatos no son a prueba del futuro: algunos documentos de la década de 1990 no se pueden abrir hoy y podrían requerir la ayuda del personal de TI con el fin de convertir a un formato moderno.

Almacenamiento interno de datos

El almacenamiento interno de datos describe conjuntos de datos que son almacenados por el aeropuerto, tanto si son generados por la agencia o son generados por un contratista y entregado a la agencia. Estos conjuntos de datos podrían ser archivos específicos o los datos y el software especializado que se utiliza para almacenar y acceder a los datos. Si los datos son desarrollados por un consultor y proporcionados a la agencia, la agencia debe cargarlos en equipos locales o una red. Para los datos generados por una fuente externa, la agencia debe especificar el formato de datos deseado en los documentos contractuales. Ese formato debe ser compatible con el software de la agencia para que pueda ser leído y ampliamente utilizado internamente si es necesario. Si se requiere el software propietario para ver o editar los datos, esa necesidad debe ser identificada y tratada en las prestaciones del proyecto. Debe hacerse hincapié en que el trabajo puede verse impedido si los datos son presentados en un formato que sea sólo adecuado para su visualización (como un PDF); Si hay una opción para recibir datos en el formato nativo, eso debe especificarse.

El almacenamiento de datos interno es el más adecuado para las organizaciones con roles y responsabilidades bien definidos, capacidades técnicas sustanciales para manejar conjuntos de datos, prácticas efectivas de comunicación y apoyo a la gestión. Si estas características no están implementadas, la capacidad de administrar y aplicar los datos de pavimento se ve socavada.

Con conjuntos de datos internos, una cuestión a resolver es el componente técnico de almacenamiento de datos. Los conjuntos de datos pueden ser almacenados en un computador local (por ejemplo, el de un ingeniero) o en la red de una agencia, para dar acceso a múltiples individuos. Las capacidades de la red y de los computadores deben ser mantenidas de manera que los interesados puedan acceder a los datos. La Tabla 15 identifica los tamaños de archivo típicos para diferentes tipos de datos de condición del pavimento para una red de ejemplo de 4.000.000 pies² de pavimento. Esto muestra que los tamaños de archivo para los datos generados por, las tecnologías más antiguas (por ejemplo, PAVER, FWD) están en el rango de tamaños de unos MB, mientras que los tamaños de archivo para los datos generados por algunas de las nuevas tecnologías están en el rango de GB (1.000 veces más grande).

Otra consideración con el almacenamiento de datos interno es garantizar el acceso a los datos de todos los interesados legítimos. Esto requiere una comunicación de manera que cada actor sepa qué versión del conjunto de datos es la actual. Además, si un conjunto de datos se actualiza regularmente, otros usuarios potenciales deben ser conscientes de que las ediciones están en curso o saber dónde encontrar el conjunto más actual de datos.

El almacenamiento interno de datos de las condiciones del pavimento puede ser una buena idea para la agencia con múltiples usuarios que necesitan acceso regular. Dado que no existe alguien fuera que sea responsable del almacenamiento de datos, la agencia asume la plena responsabilidad de los datos. Dependiendo de las especificaciones de los datos, los datos internos podrían ser almacenados en un ordenador local o una red. Un equipo local puede ser apropiado si sólo una persona requiere acceso a los datos y es capaz de extraer y entregar datos a otros según sea necesario. Dondequiera que se almacenan los datos, la necesidad de seguridad, accesibilidad y fiabilidad o redundancia debe tenerse en mente. Los datos almacenados en una red estarán disponibles para más individuos y es probable que se hagan copias de seguridad (backup) con una adecuada frecuencia. Los datos almacenados en un equipo individual también deben estar seguros y debe hacerse una copia de seguridad con frecuencia.

Si los datos los almacena internamente el aeropuerto, es una buena práctica desarrollar y comunicar un plan formal para el manejo de datos y la gestión de acceso. Esto identifica quién es responsable de qué porciones del conjunto de datos y asegura que las partes interesadas sean conscientes de las prácticas pertinentes. Tal plan podría incluir los siguientes elementos:

- Definición de los tipos de datos, tamaño de archivo y versión del software necesario para acceder;
- Asignación de la responsabilidad de la integridad de datos (control de la versión de base de datos);
- Identificación de los interesados y niveles asociados de acceso (por ejemplo, ver solamente, editar);
- Frecuencia de actualización requerido;
- Responsabilidades definidas y procedimientos para el archivado y restauración de datos; y
- Especificaciones de datos sobre los metadatos asociados sobre cada conjunto específico de datos de pavimento.

Almacenamiento externo de datos

El almacenamiento externo de datos se refiere a datos de la condición del pavimento que son almacenados por alguien distinto al propietario, tales como el contratista que recolectó los datos. Al igual que el almacenamiento de datos interno, esto podría incluir archivos específicos o software especializado que se utiliza para almacenar datos. La agencia aún tiene que ser consciente de la situación actual de los datos y tener acceso a ella a petición para fines de cumplimiento (*compliance*) o de informes de planificación. También es una buena idea que el propietario

almacene una copia de los datos, si es posible, o incluso llevar a cabo descargas programadas de datos actualizados. Una relación contractual que identifica roles y responsabilidades ayudará a asegurar que la agencia cumple sus objetivos con almacenamiento externo.

Para algunas agencias, el uso de almacenamiento externo de datos será apropiado. Algunas agencias pueden tener contratos vigentes con consultores para gestionar externamente otros tipos de datos – los datos de pavimento podrían incluirse con los otros tipos. Una agencia que no tiene los recursos tecnológicos para gestionar una red interna debe considerar el almacenamiento de datos externo. Una agencia que no tiene o no quiere invertir en software o hardware para almacenar y acceder a los datos también puede desear considerar el almacenamiento externo. La gestión de almacenamiento de datos también requiere de personal. Una agencia con un personal limitado puede no querer cargar a los empleados con responsabilidades adicionales y podría preferir ir a la gestión externo de los datos.

Para contratistas que obtienen y almacenan datos de condición, su manejo interno de las bases de datos enfrenta los mismos problemas que el almacenamiento de datos interno. El componente técnico del almacenamiento de datos debe ser considerado y el contratista necesita procesos adecuados para manejar los datos. Adicionalmente, puede ser necesario hacer ediciones precisas y oportunas al conjunto de datos actual y se debe establecer un proceso para administrar el acceso a los datos.

Uno de los beneficios para el almacenamiento de datos externa es que elimina la responsabilidad de la agencia para mantener el conjunto de datos. Al transferirla a un contratista, la agencia puede centrarse en el uso de los datos en lugar de mantener los datos. Sin embargo, la transferencia de la responsabilidad para el almacenamiento de los datos no elimina todas las preocupaciones. Una agencia debe ser capaz de confiar en el agente externo con sus datos. La pérdida de control directo de los datos puede ser preocupante para los interesados dentro de algunas organizaciones. Además, la agencia debe tener una relación con el agente externo que se basa en buena comunicación. El agente externo no puede compartir las prioridades de la agencia, y es responsabilidad de la agencia transmitir que el formato de datos que se necesita para que los datos puedan ser utilizados con eficacia.

Almacenamiento de datos en la nube

Un subconjunto de almacenamiento interno o externo de datos es el almacenamiento de datos en la nube, a veces también llamado infraestructura como servicio (IaaS, *infrastructure as a service*). Con el almacenamiento basado en la nube, los datos se colocan en un servidor de terceros y se puede acceder por internet. Este enfoque permite que los datos sean almacenados donde se puede dar acceso a los interesados que están en diferentes lugares. Los servidores basados en la nube pueden almacenar grandes cantidades de datos de manera efectiva, y, al igual que con otros datos basados en la red, los permisos para los usuarios individuales pueden ser asignados para controlar el acceso a los datos. Ejemplos de almacenamiento de datos basado en la nube son Amazon S3, Microsoft Azure Storage y Google Cloud Storage.

Hay varias ventajas para el almacenamiento de datos basado en la nube. Se puede facilitar el acceso a un gran número de personas que están físicamente dispersos, que a su vez puede conducir a un aumento de la colaboración. Un sistema de almacenamiento de datos basado en la nube también puede superar barreras restrictivas de la tecnología. Por ejemplo, algunas agencias limitan los programas de software pueden ser instalados en su sistema local. Mediante el alojamiento de datos dentro de una nube, muchas de estas restricciones pueden ser superados. El almacenamiento de datos basado en la nube también es ideal para grandes conjuntos de datos. Otros beneficios potenciales de almacenamiento de datos basado en la nube son que la agencia no tiene que utilizar el espacio interno del servidor para almacenar los datos, la agencia podría confiar en el proveedor de terceros para realizar copias de seguridad de los datos, y la agencia podría permitir que los datos sean compartidos con otras entidades (por ejemplo, consultores) que están fuera de las restricciones internas del *firewall* de la agencia.

También hay desventajas del almacenamiento basado en la nube. La agencia debe tener una conexión a Internet con ancho de banda suficiente para manejar la transferencia de datos, tanto para la carga como la descarga. La configuración del almacenamiento debe ser adaptado correctamente para los fines del usuario. A medida que las

necesidades cambian con el tiempo, se podría necesitar reconfigurar periódicamente la nube. El costo para mantener almacenamiento basado en la nube es generalmente más alto que el almacenamiento local. Los pasos apropiados deben ser establecidos para garantizar que el almacenamiento basado en la nube sea seguro.

Software como servicio

En los últimos años, el software como servicio (SaaS, *software as a service*) se ha vuelto más y más popular en los negocios. Este tipo de software no está instalado en la máquina del usuario final; más bien, se accede a ellos a través de un navegador web. Los ejemplos de SaaS incluyen aplicaciones de Google, como Google Mail y Google Docs, Citrix GoToMeeting, Cisco WebEx, etc. Una de las ventajas de SaaS es que requiere muy poca supervisión de TI. Dado que la aplicación y los datos se almacenan en la nube, los gastos de hardware y mantenimiento se reducen. Sin embargo, un SaaS típico requiere licencias mensuales o anuales que se basan en el número de usuarios. Una desventaja de SaaS es que, dado que los datos se almacenan en la nube, puede ser difícil para descargar de forma local para su uso con otro software o cuando se cambia de proveedor. Las soluciones SaaS también pueden plantear problemas de seguridad, pero como el cliente no está tan conectado al proveedor, no se da cuenta como usuarios de estos posibles problemas.

El SaaS puede ser una buena opción para almacenar datos de pavimento, dependiendo de la funcionalidad del software, las necesidades del organismo, y la velocidad y robustez de su conexión a Internet. La ventaja de SaaS sobre el almacenamiento de datos basado en la nube es que proporciona una funcionalidad adicional, tal como la opción de ver los datos, mantener los datos y compartir la información con otros dentro y fuera de la organización. Algunos de los servicios que se ofrecen pueden dar lugar a costos adicionales relacionados con el tamaño de los datos almacenados en línea. Es importante entender el modelo de costos SaaS con el fin de obtener una estimación precisa del costo real de la solución.

El mantenimiento de la integridad de datos

La integridad y la seguridad de los datos puede que no sea algo identificado por los aeropuertos como preocupaciones importantes, pero estas cuestiones no son triviales y deben abordarse. Cada agencia debe hacer una decisión activa sobre el nivel de seguridad necesario para los datos de pavimento e identificar los riesgos asociados con sus datos. Dependiendo de las características específicas de sus datos del pavimento, una agencia puede decidir tener varios niveles de seguridad de los datos. Controles de seguridad también deben ser instalados para asegurar que los datos actuales o históricos no se pierdan. Entre las posibles causas de la pérdida de datos se incluye la corrupción de archivos, programas maliciosos y ataques maliciosos internos o externos, la inaccesibilidad debido a cambios en las versiones de software o fallos de hardware.

La integridad percibida de los datos se puede reflejar en con qué frecuencia se actualizan las bases de datos. Cada agencia puede elegir actualizar las bases de datos cuando dispone de nuevos datos, a una frecuencia especificada, o durante cada ciclo de notificación. Si los conjuntos de datos no se actualizan tan pronto como la nueva información está disponible, pueden ser vistos como desactualizados por algunos de los interesados. Si se accede a los datos de forma regular, se recomienda que las actualizaciones se produzcan cuando se disponga de nuevos datos.

Otra cuestión es identificar a qué partes interesadas se les permite editar conjuntos de datos para asegurar la integridad. Puede haber ciertas partes interesadas que sólo necesitan ver, y no editar, los conjuntos de datos. Identificar quién puede editar conjuntos de datos pueden proteger contra errores tanto involuntarios como mal intencionados. Asegurar que los que editan los conjuntos de datos tengan una formación adecuada también ayudará a mantener la integridad de los datos.

Acceso a los datos

La posibilidad de acceder a los datos del pavimento es importante para los interesados en general, y específicamente a los usuarios de los datos. “Acceso a los datos” se define como la capacidad de ver los datos, de utilizar los datos, de actualizar los datos existentes o añadir nuevos datos, y la combinación de múltiples conjuntos de datos de manera tal que sea fácilmente identificable los casos donde se tenga múltiples datos de condición para un pavimento, o se tenga los cambios en la condición el tiempo. Cada agencia creará su propio sistema para el acceso de datos en función del tipo de almacenamiento de datos utilizada y la estructura de la organización. La cantidad requerida de acceso debe coincidir con las necesidades de cada miembro dentro de la agencia.

Teniendo en cuenta los diferentes tipos de datos manejados en el pavimento, hay varias opciones para ver los datos, como con software especializado, plataformas de software en general, y datos crudos. Licencias de software pueden ser costosas, y puede no ser práctico para todos los miembros dentro de un departamento o agencia tener acceso directo a todos los datos. Cada agencia debe decidir qué partes interesadas tienen acceso directo a los datos y qué partes interesadas pueden recibir accesos a los datos solo cuando es necesario. Otra consideración es la cantidad de formación impartida a los empleados. Incluso con almacenamiento externo de datos, es necesario que haya una formación suficiente para que los empleados puedan acceder a los datos de condición del pavimento. Un objetivo a lograr es un equilibrio entre tener una formación adecuada para que los empleados puedan tener acceso a los datos, pero sin gastar recursos innecesariamente.

La facilidad de uso de un conjunto de datos está a menudo ligado al formato de datos. Cada conjunto de datos individual necesita estar en un formato fácil de usar e incluir todos los datos relevantes disponibles. Si los datos son utilizables, es más probable que los interesados accedan con frecuencia a esos datos para tomar decisiones.

Un problema mayor es que cada conjunto de datos recogidos puede no ser compatible con otros datos. Por ejemplo, los datos a nivel de red de condición pavimento, datos de deflexión de nivel de proyecto y de extracción de núcleos, y los registros de reparaciones de mantenimiento pueden no ser visibles en la misma plataforma. Además, algunos datos pueden ser proporcionados principalmente en forma narrativa, tal como un análisis petrográfico, que no se fusionó con facilidad con los conjuntos de datos discretos. Incompatibilidad entre conjuntos de datos requiere que los usuarios ver los conjuntos de datos de forma independiente y combinar características de los pavimentos manualmente.

Muchos de los problemas potenciales asociados con la administración de bases de datos de condición del pavimento están asociados con la forma de diseñar las bases de datos. Todos los datos serán almacenados en las tablas de datos, y el diseño pueden abordar los factores importantes asociados con esos datos, incluyendo los siguientes:

- Vínculo entre conjuntos de datos,
- La inclusión de información de ubicación con todos los datos recogidos,
- Control de calidad de los datos y el mantenimiento de la integridad de los datos, y
- El acceso a los datos, incluidas las que pueden ver los datos, que pueden alterar los datos, y cómo los datos se pueden combinar, filtrada o manipulado de otra manera.

A partir de la encuesta exploratoria, las agencias informaron de sus principales preocupaciones como no tener los datos apropiados disponibles para desarrollar los presupuestos de operación, recomendar proyectos de capital, o tomar decisiones. Otra preocupación era que la presentación de los resultados no era útil para el público objetivo. Por ejemplo, los informes de nivel de proyecto pueden proporcionar análisis de datos excepcional; Sin embargo, los datos no pueden ser captadas o utilizados para la toma de decisiones con facilidad. Sobre la base de la encuesta exploratoria, hay margen de mejora en la manera en que los activos de pavimentos están siendo gestionados haciendo que la visualización de datos sea mejor, y aumentando la facilidad de uso y la compatibilidad.

Sistemas de Información Geográfica

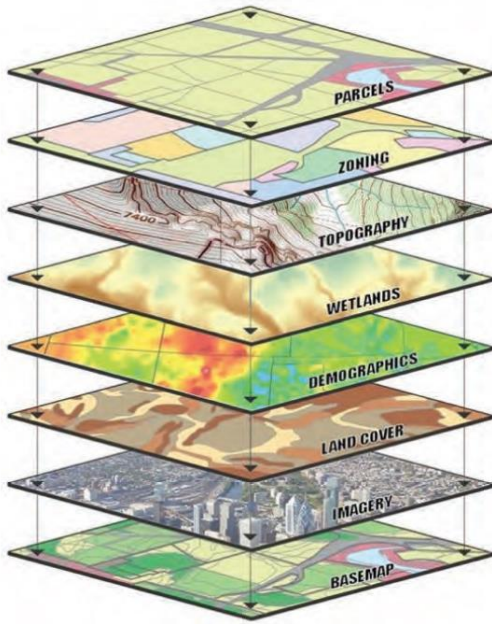
A medida que los aeropuertos evolucionan y crecen, también lo hacen sus necesidades y el uso de los datos de las condiciones del pavimento. Para aeropuertos de gran tamaño y tamaño medio, la inversión en un SIG integral puede cosechar frutos en múltiples niveles. Un SIG es un sistema que almacena datos geográficos de forma digital y se puede utilizar como un punto de integración con otros sistemas empresariales del aeropuerto. Los datos de condición del pavimento en particular son inherentemente espaciales por naturaleza, y por lo tanto al usar un SIG para mostrar o acceder a datos de condición de pavimento, los datos no sólo proporcionan una visualización de los datos, sino que permite a los usuarios investigar y consultar los datos para identificar tendencias en el tiempo y lugar, realizar análisis, y mucho más.

Hay dos tipos principales de datos geoespaciales: vectorial y raster. Los SIG proporcionan la capacidad de combinar y superponer datos vectoriales y raster para la visualización y el análisis, como se muestra en los datos de la Figura 32. Los datos vectoriales se componen de características que son puntos, líneas y polígonos que comprenden una localización espacial, por lo general un x , y , y z .

Los datos raster (o “de trama”) son similares a, y a menudo son, una imagen: celdas de tamaño uniforme que cubren un área determinada, donde cada celda tiene uno o más valores asociados a ella. Tales valores podrían describir el color de la celda como se muestra en la Figura 33, pero también pueden proporcionar otra información tal como la elevación en ese lugar, como se muestra en la Figura 34.

En general, los conjuntos de datos de mapa de bits tienden a ocupar más espacio que los conjuntos de datos vectoriales. El tamaño de un conjunto de datos raster depende del tamaño de su resolución y el área geográfica cubierta. Sets de datos de vectores pueden variar desde muy pequeño a muy grande, dependiendo del tipo de geometría almacenada (puntos son más simples que los polígonos complejos), el número de atributos, y el número de características. (Independientemente del tamaño de la organización, un plan de almacenamiento de datos bien pensado, con copias de seguridad regulares, es crítico para la continuidad, ya sea debido a cambios de personal, desastres, o errores humanos.)

Cuando un aeropuerto tiene un mapa exacto de su propiedad en un SIG, puede salvaguardar sus activos físicos, como reducir la probabilidad de romper un ducto de servicio público durante la construcción, lo que maximiza sus ingresos mediante una mejor gestión de sus espacios de generación de ingresos, la mejora de la seguridad y al mantener un mejor seguimiento de sus activos críticos de la parte aeronáutica. Los pavimentos son uno de esos activos. Al mantener un registro de las condiciones y problemas de los pavimentos, tanto geográficamente y en el tiempo, el aeropuerto puede notar tendencias, predecir mejor las averías con el tiempo, y mejorar su proceso de toma de decisiones de mantenimiento. Esto es, en efecto, también lo que se logra con un APMS.



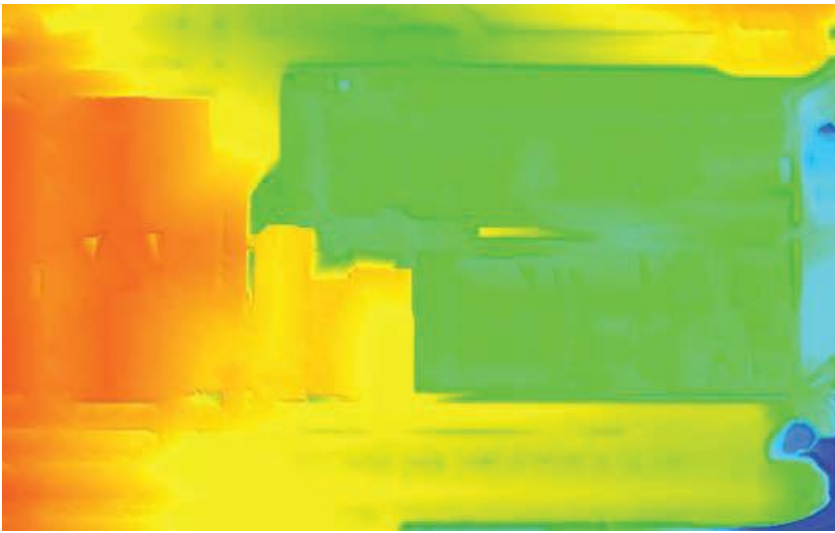
Fuente: United States Geological Survey

Figura 32. Datos vectoriales y raster en capas SIG.



© 2018 Woolpert

Figura 33. Datos raster como ortofotografía del aeropuerto Hartsfield-Jackson de Atlanta.



© 2018 Woolpert

Figura 34. Datos de mapa de bits con datos de elevación en aeropuerto internacional Hartsfield-Jackson de Atlanta.

La inspección de pavimentos de forma regular y el mantener un registro histórico de los resultados sólo es beneficioso si se analizan y utilizan de manera significativa, como para la gestión de activos, análisis del retorno de la inversión (ROI), y gestión del costo total de administrar la propiedad. Estos, a su vez, conducen a operaciones y mantenimiento más rentables, presupuestos de explotación y de capital más precisos, y muchas otras mejoras financieras y operativas. Es una solución más amplia de gestión de datos, que lo que sería el manejar la información relativa a los aeropuertos en silos, conduciendo a una mejor gestión.

Con esto en mente, los aeropuertos idealmente mirarán a su organización como un todo y, finalmente, considerarán la integración de toda esta información en una única ubicación, con acceso proporcionado al personal según sea necesario. Un SIG es un potencial repositorio de estos. Como mínimo, ver los datos de condición del pavimento en un mapa en relación con otros elementos y a lo largo del tiempo proporciona a los usuarios finales información básica que no puede ser comprendida a partir de un informe estático. Por ejemplo, si una sección del pavimento necesita ser reconstruida, ¿qué otros proyectos se podrían hacer al mismo tiempo en esa zona para reducir el impacto de las operaciones? En un entorno más avanzado, a nivel de empresa, el SIG no sólo almacenará la información geográfica, sino que será integrado con otros sistemas de negocio, tales como su sistema de software de gestión de activos o gestión de pavimentos, proporcionando posibilidades mucho más detalladas y amplias para mejorar la gestión de los activos del aeropuerto y proporcionando al personal una imagen general más clara.

Normas de gobierno de datos

Con el fin de atar todos estos datos en conjunto, los aeropuertos deberían establecer y aplicar estándares de gobierno de datos, tanto para sus propias actividades como las de sus contratistas. Las normas pueden variar, pero en general se aplica lo siguiente:

- Requisitos de precisión espacial,
- Información de referencia espacial,
- Estructura de datos (cómo están organizados los datos, ¿cuáles son los campos de atributos? ¿cuáles son los valores válidos?),
- Ciclos de actualización de datos,

- Consideraciones de acceso, y
- Consideraciones de Seguridad.

Se debe hacer un esfuerzo para trabajar ya sea en formatos de datos no propietarios o estándar de la industria. Esto mejorará la capacidad del aeropuerto para integrar diferentes conjuntos de datos y ayudará en el futuro al aeropuerto demostrar el valor de su inversión.

A menudo hay diferentes niveles de datos. Algunos son archivos de datos “en bruto”, como el resultado de una recopilación de datos LiDAR. Los archivos en bruto pueden ser útiles para mantener, pero los archivos procesados que dan al usuario final la información que se necesita deben tener un mayor nivel de importancia. Los archivos en bruto se podrían almacenar en una unidad archivado o fuera del sitio para su custodia, pero los archivos procesados deben estar disponibles para facilitar el acceso del personal del aeropuerto. La ventaja de este enfoque es que el tamaño de los datos necesarios será mucho menor que intentar mantener todos los datos generados a partir de las investigaciones en el pavimento.

La Tabla 16 proporciona sugerencias para el almacenamiento de datos analizados en este capítulo, basado en diferentes factores. Por ejemplo, un conjunto de factores considera diferentes tipos de datos, tales como informes y datos de campo, y atiende los problemas de formato de datos. Otro conjunto de factores proporciona consideraciones y recomendaciones generales asociados con el almacenamiento de datos. Esto es seguido por un segundo conjunto de factores de almacenamiento de datos con las recomendaciones relacionadas con el tamaño del aeropuerto. El tamaño del aeropuerto puede ser considerado como un sustituto (*proxy*) para el tamaño del personal y la disponibilidad de personal con conocimientos especializados y el acceso a los recursos tecnológicos. Por supuesto, los requisitos para archivar o conservar los registros también deben ser respetados, tanto por el aeropuerto como por los consultores que actúan en su nombre.

Resumen

Debido a la variedad de tipos y cantidades de condición de los datos pavimentos de aeropuertos, las agencias deben considerar los datos que necesitan almacenar, donde deben ser almacenados, el tiempo durante el que deben guardarse, y cómo deben ser salvaguardados para que sigan siendo útiles para siempre según sea necesario. A este respecto también se debe pensar en cómo acceder a los datos. A medida que se recogen y se dispone de más y más datos en formato electrónico, el tamaño de los archivos que requieren el almacenamiento de datos no puede dejarse como algo para el último momento. Las opciones incluyen el almacenamiento de datos interno, externo, y basado en la nube. Cada uno tiene ventajas y desventajas que deben ser considerados en base a la cantidad de datos, el tamaño de la organización, y la facilidad de acceso.

La integridad de los datos, el acceso y la seguridad son temas relacionados entre sí y son, o deberían ser, asuntos a los cuales un aeropuerto pone atención. Como se discutió en este capítulo, estos temas se abordan a través de políticas que identifican a quien se le da acceso a los datos, la actualización periódica de las bases de datos y verificar que tanto los datos pasados y actuales siguen siendo compatibles con el software instalado y mediante la adopción de medidas activas para proteger los datos, tanto mediante la definición diferentes tipos de acceso y almacenamiento de datos como mediante la implementación de las prácticas apropiadas de copia de seguridad.

Los SIG se despliegan cada vez más en los aeropuertos, y datos georreferenciados de la condición del pavimento se puede incorporar en los sistemas que se establecieron para otros fines, tales como la infraestructura para ductos y cables. No es descabellado imaginar plataformas SIG que se utilizan para gestionar redes de pavimento en el futuro. Como los datos del pavimento se presentan cada vez más en un formato digital, estándares para los datos se convertirá en una preocupación. Se necesitan normas para la exactitud y precisión de los datos de ubicación, estructura de datos, ciclos de actualización, el acceso y la seguridad.

Tabla 16. Resumen de las características de almacenamiento de datos.

Factores	Categoría	Almacenamiento Interno de datos de Pavimentos (Crear, Editar, Ver y Almacenar)	Almacenamiento Externo de datos de Pavimentos (Crear, Editar, Ver y Almacenar)	Almacenamiento SaaS de datos de Pavimento (Crear, Editar, Ver, Almacenar y/o Consultar Datos Espaciales)
Almacenamiento / Quién es dueño		Unidad de disco duro o servidor Propiedad del Aeropuerto (interna o externa)	Almacenamiento en la nube Son propiedad de otros	Servicios de software en línea y Sistema de almacenamiento que es propiedad de otros
Tipos de datos	Informes	Informes digitales y hojas de cálculo. Se recomienda PDF como documentos de entrega final.		
	Datos Fuente o información de campo	Datos originales digitales utilizados para crear o actualizar el informe. Tipos de datos posibles incluyen la base de datos de PAVER, archivos LiDAR, AutoCAD, formatos de archivos GIS, etc.	Datos originales digitales utilizados para crear o actualizar el informe que no son comunes en SaaS (aunque se puede utilizar).	
	Formatos de datos	Formato debe ser compatible con el software que posee el aeropuerto o que pueda utilizar de forma gratuita. Existe software adicional de código abierto, pero se debe tener cuidado en la selección y la identificación de ellos para el despliegue, ya que comúnmente se requieren conocimientos y formación específica.		
Consideraciones sobre el almacenamiento de datos y Guía General	Copia de seguridad primaria	Almacenar archivos digitales de datos en un servidor de la organización (u ordenador principal) y al menos un dispositivo de almacenamiento de copia de seguridad, como por ejemplo una cinta de copia de seguridad, disco duro externo o una unidad flash. Evitar los CD o tecnología obsoleta que pueden ser más difíciles de restaurar en el futuro. Almacenar en el lugar una versión impresa de informes / mapas. Almacenar datos electrónicos y en papel, tanto a nivel local como también en algún otro lugar en caso de desastre o error humano. Guarde copias en formato de datos de entrega final e intermedio.		
	Copia de seguridad secundaria	Exigir al personal TI o consultor (si lo hay) que guarde una copia de los datos de origen y todos los resultados por un número determinado de años.	Requerir al contratista que guarde una copia de los datos de origen y todos los resultados por un número específico de años.	Garantizar el acceso a los datos históricos en un SaaS por lo menos hasta cuando deba llevarse a cabo el siguiente estudio. En la mayoría de los casos, los datos de SaaS deben ser propiedad del aeropuerto y mantenidos por el aeropuerto y sus consultores.
	Dotación y Experiencia	Requiere personal con menos experiencia para administrar, pero es común tener soporte de TI.	-Prescribe personal y el personal con menos experiencia para manejar y utilizar, pero es común tener soporte de TI para la contratación, la configuración y las actualizaciones según sea necesario.	Puede requerir personal con más experiencia para implementar, administrar y utilizar a menos que el sistema se simplifique o los usuarios sean muy eficientes (altamente cualificados). Es común como interfaz con otras entidades promotoras (sistemas de la ciudad, condado, y/o estatales).
Consideraciones sobre el almacenamiento de datos y recomendaciones generales	Presupuestos de Capital y de mantenimiento	Requiere un presupuesto de capital y de mantenimiento anual, según sea necesario para almacenar / gestionar los datos, y el equipo puede llegar a ser obsoletos o fuera de fecha con mayor rapidez, lo que requiere mejoras.	- No requiere de presupuesto de capital ni un presupuesto anual de mantenimiento con aumentos de los costos periódicos para mantener o almacenar datos con poco riesgo de equipos obsoletos. Costo basa en la adaptación y las necesidades de uso.	Requiere presupuesto de capital mínimo y un presupuesto anual de mantenimiento con aumentos de los costos periódicos para mantener o almacenar datos con poco riesgo de equipos obsoletos. Costo basado en la adaptación, las necesidades, el uso y las actualizaciones.
	Transferencia de datos	Requiere transferencia de datos a través del almacenamiento de hardware con un intercambio limitado. Disponibles y son útiles	Útil para compartir grandes cantidades de datos fuente con un gran número de personas al mismo tiempo, (por ejemplo, propietario, agencias y contratistas)	Puede requerir usuarios más experimentados para compartir fácilmente datos originales con otros a través de conexiones seguras, internet de alta velocidad.

Factores	Categoría	Almacenamiento Interno de datos de Pavimentos (Crear, Editar, Ver y Almacenar)	Almacenamiento Externo de datos de Pavimentos (Crear, Editar, Ver y Almacenar)	Almacenamiento SaaS de datos de Pavimento (Crear, Editar, Ver, Almacenar y/o Consultar Datos Espaciales)
		cuando la conexión a Internet se ha reducido, la seguridad está muy preocupada, o conexiones de alta velocidad no están disponibles.	a través de conexiones seguras, internet de alta velocidad.	
	Accesibilidad	Clasificación y filtrado de datos es posible en función del software utilizado. Los datos pueden ser más fácilmente incorporado (copiar) en otras aplicaciones con software más comunes.		Clasificación y filtrado de los datos es posible. Los datos deben ser descargados y exportados a otros programas o aplicaciones para su uso.
	Visualización de datos	Representación espacial (mapas) de los datos posibles con aplicaciones SIG de escritorio de usuario único.	Representación espacial (mapas digitales) de los datos posibles.	Representación espacial de datos (mapas y SIG) con aplicaciones y herramientas compartidas.
Almacenamiento de Datos: Consideraciones por Tamaño Aeropuerto	Pequeño (GA)	Es el método más utilizado de almacenamiento de datos, incluyendo el hacer copias de seguridad en el lugar. Sin embargo, los conjuntos de datos más grandes (Por ejemplo, LiDAR y las imágenes), puede ser más problemático en los aeropuertos con los límites de capacidad de almacenamiento.	Cuando se usa, es para almacenar datos fuente y los resultados para facilitar el acceso y garantizar que están disponibles incluso cuando el personal deja su puesto. Recomendamos considerar en el desarrollo de toda la organización (ciudad, condado, estado, etc.)	No se utiliza comúnmente. Si se utiliza, se recomienda que la representación de los datos de pavimento sea espacial o bien de datos basados en SIG (grandes aeropuertos / medio), basado en el personal del aeropuerto y de la infraestructura de TI.
	Medio (No-Hub, pero con aerolínea comercial)	Método muy común de almacenamiento de datos, incluyendo el hacer copia de seguridad en el lugar (si no se almacenan externamente). Es común que estos aeropuertos tengan mayor capacidad de almacenamiento.	Ideal para el almacenamiento de datos de origen y entregables para facilitar el acceso y garantizar que esté disponible incluso si el personal se va. Se recomienda el uso de un único estándar de la organización y para opciones de almacenamiento en la nube, considerar hacer el sistema cloud parte de la red de la organización.	Se utiliza de vez en cuando. El aeropuerto debe albergar todos los datos (incluidos los datos de deterioros) en formato SIG (estático y dinámico) con información de atributos de referencia espacial para el acceso a través de un navegador. Se recomiendan los archivos históricos (estático) para ser incluido como archivos o enlaces separados. Varios niveles de acceso deben ser incluidos, tales como sólo visualizador, editor y administrador. La cuenta SaaS debe ser del aeropuerto y mantenido también por el aeropuerto. Los datos geográficos deben ser visibles en un mapa y no se limitarán a las imágenes o archivos estáticos. Requerirá conectividad a Internet de alta velocidad en todo momento. Como alternativa, los datos de host interno a través de aplicaciones basadas en la Web (aplicaciones) para el acceso de personal interno del aeropuerto (en línea o no en línea).
	Grande (centro de conexión, Comercial)		Ideal para el almacenamiento de datos de origen y entregables para facilitar el acceso y garantizar que esté disponible incluso si el personal se va. Considere las opciones de almacenamiento para toda la organización, con conocimientos mínimos de TI. Almacenamiento externo en particular con respecto a los archivos fuente / datos estáticos. SaaS más apropiadas para los datos dinámicos.	

Guía para Recolección de Datos

Decidir qué datos de las condiciones del pavimento para recoger y cómo recoger ellos es una cuestión compleja, como lo es en parte determinada por la necesidad de cumplir con las regulaciones de la FAA y en parte una función de las necesidades y prácticas de los organismos específicos. Ciertamente, cada organismo aeropuerto necesita datos de condición de pavimento para gestionar sus activos en el pavimento, pero como se ha comentado anteriormente, hay una cierta latitud en la que se recogen los datos y cómo se utilizan los datos. En este capítulo se presenta árboles de decisión, información sobre el valor de los datos de condición y formas de mejorar el uso de esos datos para que se pueden aplicar los métodos más eficaces de recolección de datos.

Árboles de Decisión

Varios árboles de decisión se presentan aquí para ayudar en la selección de los métodos de recolección de datos que se deben utilizar. Cada árbol de decisión es para una de las siguientes categorías:

- Datos para cumplir con la FAA,
- Datos para la gerencia del aeropuerto o la agencia,
- Datos para el área de ingeniería u otros departamentos técnicos, y
- Otros usos de los datos.

Un punto de partida para determinar qué métodos de toma de datos son apropiados, es considerar cómo se utilizarán los datos después de que se hayan recogido. Basado en el uso previsto de los datos y los otros factores en cada árbol de decisión, una agencia podría utilizar el árbol de decisión apropiado para seleccionar posibles métodos de recolección de datos. No es necesario evaluar todas las ramas de cada árbol de decisión si la agencia no se ocupa de ese uso de datos específico.

Para utilizar los árboles de decisión, se puede seguir los siguientes pasos:

- Decidir cómo se utilizarán los datos.
- Según el uso deseado y las características del aeropuerto, seleccionar los posibles métodos de recolección de datos.
- Registrar el total de ocurrencias para cada método de recolección de datos.
- Evaluar los métodos de recopilación de datos más comunes disponibles.
- Determinar si los métodos más comunes de recopilación de datos cumplen con todos los usos específicos o si se requiere una combinación de métodos de recopilación de datos para diferentes tipos de datos.
- Identificar qué otros factores relacionados con la recopilación y uso de datos deben ser considerados para la agencia, y su impacto.

- Estimar el costo de usar los métodos de toma de datos, incluida la movilización y el valor de los datos de condición.

Un ejemplo simplificado de una matriz de selección del método de toma de datos para un aeropuerto pequeño se presenta en la Tabla 17. En este ejemplo, hay siete potenciales usos de datos para el aeropuerto, que se relacionan con el cumplimiento FAA, las decisiones de gestión, y la ingeniería o de otros departamentos técnicos. Los usos más comunes de datos se muestran en negrita y deben seguir siendo examinados.

Tabla 17. Ejemplo de selección del método de toma de datos para aeropuerto pequeño.

Cumplimiento con FAA			Gerencia	Ingeniería u otros departamentos técnicos		
Reportar fricción en pista	Reportar PCN en pista	Reportar Condición del Pavimento	Justificar Financiamiento Externo	APMS (Detallado)	Desarrollo de programa CIP	Planificación del Mantenimiento
Medición de fricción con CFME	FWD/HWD a nivel de proyecto	Evaluación visual de la condición por método No-PCI	PCI Manual con nivel de confianza <95%	PCI Manual con nivel de confianza <95%	Evaluación visual de la condición por método No-PCI	Evaluación visual de la condición por método No-PCI
	FWD/HWD a nivel de red	PCI Manual con nivel de confianza <95% PCI Manual con nivel de confianza ≥95%	PCI Manual con nivel de confianza ≥95% FWD/HWD at a nivel de red	PCI Manual con nivel de confianza ≥95% PCI Manual con muestreo al 100%	PCI Manual con nivel de confianza <95% PCI Manual con nivel de confianza ≥95% Inspección Aérea de condición con 100% cobertura FWD/HWD a nivel de red Perfil Longitudinal* (mira y nivel) Perfil Longitudinal* (inercial) Medición de Fricción con CFME*	PCI Manual con nivel de confianza <95% Perfil Longitudinal* (mira y nivel) Perfil Longitudinal* (inercial)

* Entrada secundaria según sea necesario.

Los usos de datos más comunes se muestran en negrita y deben examinarse más a fondo.

En este ejemplo, la toma de datos fricción con CFME y la toma de datos de FWD / HWD deben ocurrir a nivel de red. Para la toma de datos de de condición pavimento, las dos formas de inspeccionar el PCI manual deben evaluarse, levantar a un nivel menor que el nivel de confianza del 95 por ciento, y evaluar al nivel de confianza al 95 por ciento o más. Si las condiciones lo justifican, tanto el perfilómetro inercial como el método de la mira y nivel se pueden usar para evaluar el perfil longitudinal.

Un ejemplo adicional se proporciona en el Apéndice A para un aeropuerto grande. En este ejemplo, hay nueve posibles usos para los datos el aeropuerto en relación con el cumplimiento de la FAA, las decisiones de gestión, y la ingeniería o de otros departamentos técnicos.

Factores Dentro de los Árboles de Decisión

Dentro de la mayoría de las ramas de los árboles de decisión, el tipo de aeropuerto o agencia es el factor que determina qué métodos de recolección de datos son apropiados. El tipo de aeropuerto es una aproximación razonable a las características y capacidades de la agencia. Por ejemplo, un aeropuerto grande (*large-hub*) es probable que incluya un departamento de ingeniería competente con amplios recursos, mientras que un aeropuerto independiente GA es más probable que tenga personal y recursos limitados. Los siguientes tipos de aeropuertos se definen en los árboles de decisión para simplificar la presentación de las opciones de toma de datos: Sistema de múltiples aeropuertos, aeropuerto grande (*large-hub*), aeropuerto mediano (*medium-hub*), aeropuerto pequeño (*small-hub*), sistema estatal de aeropuertos, de todo un estado (*statewide systems*), y aviación general (GA, *general aviation*). Si un sistema de múltiples aeropuertos no tiene un aeropuerto pequeño, mediano o grande, entonces debe ser tratado como un sistema estatal. Dentro de los árboles de decisión que se muestran en las Figuras 35, 36, y 38 hasta la 43, los métodos de toma de datos de condición del pavimento se muestran en recuadros de color verde oscuro mientras que los métodos de toma de datos para la condición estructural se muestran en recuadros de color naranja. Los métodos de recopilación de datos para características de la superficie se muestran en azul oscuro, y los métodos de recopilación de datos para las características físicas se muestran en recuadros grises.

Acerca de la Densidad de la Inspección

Hay varias opciones para la densidad de la inspección del pavimento. Inspeccionar el 100 por ciento de pavimento proporcionará un conjunto de datos muy robusto, pero es un trabajo intensivo. Dentro de la norma ASTM D 5340, se muestran procedimientos para determinar la fracción de muestreo para generar un PCI con un nivel de confianza del 95 por ciento. Si el PCI de cada sección se confirma que cumplir con este nivel de confianza, se asume que los datos tienen un nivel suficiente de precisión para ser utilizado en la mayoría de las aplicaciones. Según sea el objetivo de la utilización de los datos, un PCI se puede determinar con una menor frecuencia de muestreo que no cumpla con un nivel de confianza del 95 por ciento. El esfuerzo para esta inspección será menor; Sin embargo, el nivel de precisión podría no adaptarse a las necesidades de la agencia.

Toma de datos de Condición del Pavimento con Inspecciones que No son Manuales

Dentro de los árboles de decisión, la toma de datos a partir de un reconocimiento aéreo, imágenes en 3D con láser, o LIDAR se conocen como sistemas de calificación de la condición del pavimento que no son PCI. Esto es porque sin una inspección completa real, en terreno (*ground truth inspection*), estos métodos de recopilación de datos no cumplen totalmente con la norma ASTM D 5340. Una explicación parcial de esta limitación es que las definiciones de nueve de los dieciséis deterioros para pavimentos de hormigón y cinco de los dieciocho deterioros para pavimentos de asfalto en la norma ASTM D 5340 en parte dependen de la calificación del potencial de FOD. Para evaluar adecuadamente el potencial de FOD para un problema en el pavimento, a menudo es necesario que un inspector examine físicamente el deterioro para determinar si el material está en un estado suelto o potencialmente suelto. Además, hay ciertos deterioros, tales como agrietamiento de durabilidad, ASR (*alkali-silica reaction*), y la pérdida de áridos (*raveling*), que son extremadamente difíciles de identificar y asignarles la severidad adecuada durante una inspección por uno de los métodos que no son PCI.

El que no sean totalmente compatible con la norma ASTM D 5340 no significa que estos métodos de recopilación de datos no deban ser parte de un programa de evaluación de pavimentos. Ellos efectivamente se pueden utilizar para documentar las condiciones del pavimento; Sin embargo, estos datos no deben ser llamados "datos de PCI". En su lugar, estas cifras deben ser referidos como "UAV-PCI", "3D-PCI," Lidar-PCI," o un nombre equivalente que refleje su método de recolección. Una designación separada podría incluso ser utilizada para identificar si la condición se interpretó de forma manual, a través de medios automatizados, o una combinación de ambos. Nomenclaturas adicionales de clarificación informan a todos los usuarios del método de recolección de datos utilizado y hacen que sea posible distinguir entre múltiples métodos de recolección de datos que una agencia podría utilizar.

Datos para cumplir con la FAA

Para todos los aeropuertos calificados como “FAA Parte 139”, el cumplir con las circulares de asesoramiento (las “AC”) es de una importancia crítica. En varios documentos AC, la FAA exige que se reporten datos de fricción en pista, datos de PCN en pista, y datos de condición del pavimento. La Figura 35 muestra los posibles métodos de toma de datos que satisfacen con los requisitos de cumplimiento de la FAA.

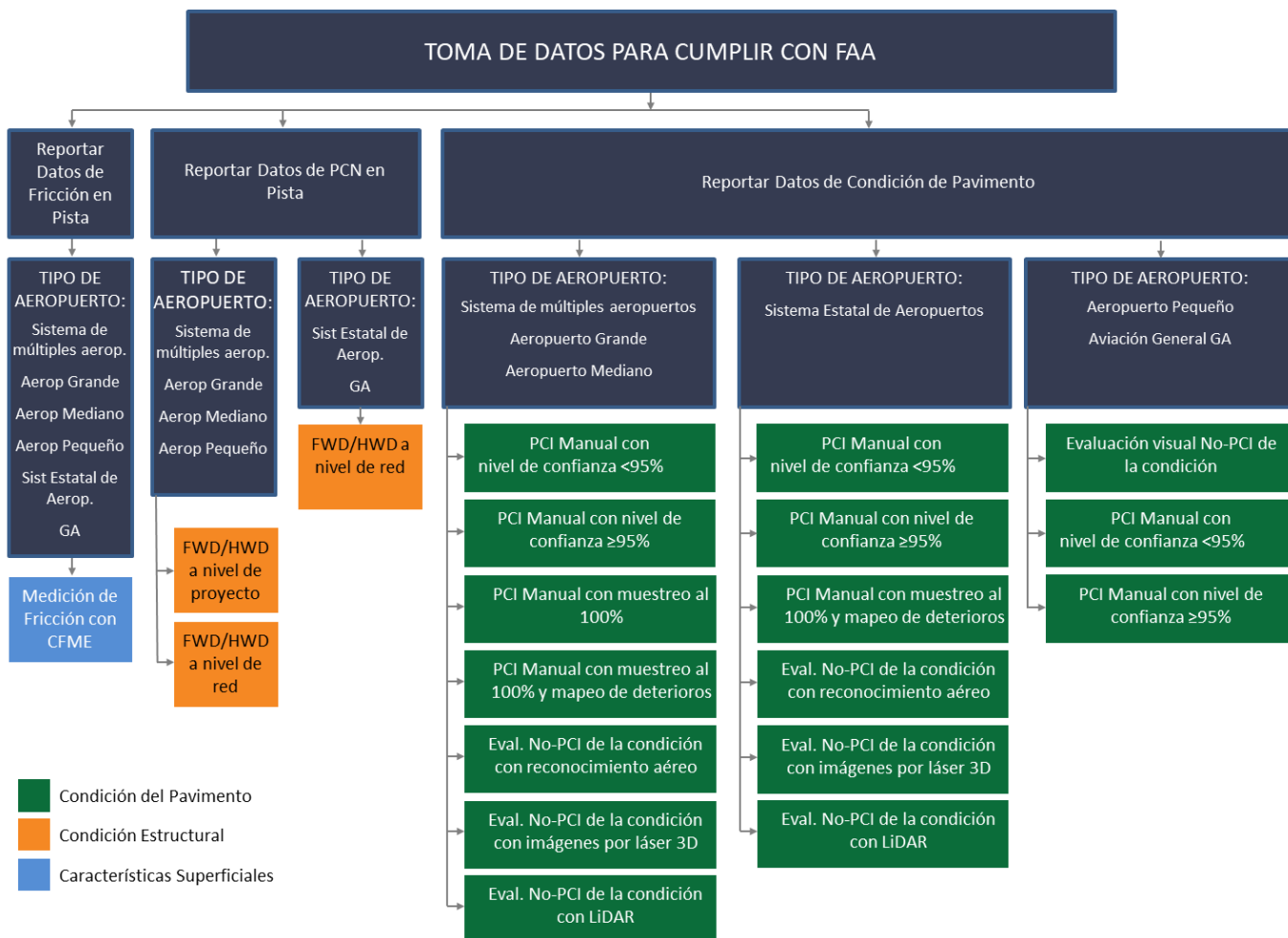


Figura 35. Árbol de decisión de cumplimiento FAA

Informes de fricción en pista

La FAA no requiere el cumplimiento de la AC 150/5320-12D para los ensayos de características de fricción; Sin embargo, se recomiendan las directrices y se presentaron en el Capítulo 3. El único método fiable para probar las características de fricción es con equipos CFME, y la FAA recomienda que todos los aeropuertos con tráfico jet ya tenga su propio equipo CFME o que tenga acceso a uno. Hay varios fabricantes autorizados de estos equipos, y la adquisición de equipos CFME califica para su financiación a través de la FAA.

Informes de PCN en pista

Como se discutió en el Capítulo 3, la FAA exige el cumplimiento de la AC 150/5335-5C respecto a informar el PCN en los proyectos financiados a través de la AIP y con los ingresos de PFC, para los pavimentos con capacidad portante de 12.500 libras o más. También deben reportar el PCN las pistas pavimentadas de uso público en aeropuertos “Parte 14 CFR 139” aeropuertos también deben informar de un PCN. Además, al culminar proyectos nuevos con financiamiento AIP o de PFC, se debe ser reportar el PCN y el peso bruto permisible (*allowable gross weight*). No hay un tiempo específico durante el cual un PCN siga siendo válido, pero si hay un aumento significativo en el uso del pavimento o hay cambios en la condición del pavimento, se debe considerar una actualización. La FAA también proporciona una guía para informar los cambios en el PCN y el peso bruto en el Formulario 5010.

La FAA permite el cálculo y presentación de datos PCN sin mediciones físicas o conocimiento de la estructura del pavimento basado en el “método del avión que lo utiliza” (*“using aircraft method”*). En este enfoque, el mayor número ACN (*aircraft classification number*) de entre todas las aeronaves que están autorizados a utilizar las área pavimentadas se reporta como el PCN. Al mismo tiempo, la FAA intenta disuadir o se resiste al uso de este método debido a las significativas imprecisiones asociadas al proceso. La capacidad del pavimento puede ser sobreestimada, lo que podría conducir a daños en el pavimento, o la capacidad de pavimento se puede subestimar, lo que podría conducir a la restricción innecesaria de tráfico aceptable.

Es necesario conocer las propiedades físicas de la estructura del pavimento para hacer una evaluación técnica de la su resistencia. Para tener un conocimiento definitivo de una estructura de pavimento existente, es necesario hacerle ensayos con FWD/HWD, excepto en proyectos nuevos de construcción. Para sistemas de múltiples aeropuertos, aeropuertos grandes, medianos, y pequeños, esta evaluación puede realizarse a nivel de red o proyecto como se define en la AC 150/5370-11B. Para un sistema estatal o un aeropuerto GA se recomienda que esta prueba se lleva a cabo a nivel de red. El nivel de detalle con ensayos a estas densidades es adecuado para captar las propiedades físicas de la estructura del pavimento.

Informe de datos de Condición del Pavimento

Los requisitos para la presentación de datos de condición del pavimento se describen en el capítulo 2. Como se señaló previamente, sin embargo, la AC 150/5380 distingue entre sistemas de calificación del estado del pavimento que no son PCI, que deben llevarse a cabo anualmente, y las inspecciones manuales PCI, que se pueden programar en un intervalo de 3 años. Los posibles métodos de toma de datos para aeropuertos pequeños y aeropuertos GA que se muestran en la Figura 35 son los menos intensivos en mano de obra. Los métodos de recolección de datos se expanden para sistemas estatales de aeropuertos y se amplían aún más para sistemas de múltiples aeropuertos, aeropuertos grandes y aeropuertos medianos. Aunque los aeropuertos más grandes no requieren datos muy detallados para cumplir con la FAA, un aeropuerto puede decidir recoger información adicional para otros usos.

Frecuencia de Recolección de Datos de Condición de Pavimentos

La frecuencia de la toma de datos para el cumplimiento con la FAA está especificada. Dentro de las restantes categorías de uso de los datos, la frecuencia requerida de la toma de datos del estado del pavimento puede variar de cada 2 a cada 5 años. Esta amplia gama refleja la relación entre la condición de la red y la tasa de deterioro. La frecuencia de inspección debe estar en un intervalo en el que la mayoría de las secciones de pavimento no experimentarán una disminución significativa en las condiciones entre una inspección y la siguiente, y que se documente la condición de aquellos pavimentos que están en malas condiciones o que se están aproximando a estar en malas condiciones. Para una red que en general está en buenas condiciones, con pavimentos que han obtenido buenos resultados hasta la fecha, un intervalo de 5 años será suficientes para documentar el cambio en la condición. Para una red con condiciones mixtas y pavimentos que se deterioran rápidamente, un intervalo de 2 años es más apropiado para registrar las condiciones y programar y ejecutar las acciones apropiadas. A medida que se completen más inspecciones, el número de puntos de datos para modelar el comportamiento del pavimento se incrementa, lo que también permite predicciones más exactas de las

condiciones futuras. Estos datos pueden ser utilizados para refinar la frecuencia de inspección en el tiempo.

Datos para la gerencia

Los administradores (la gerencia) utiliza principalmente los datos del pavimento para justificar las necesidades de financiación externa, para crear presupuestos CIP de largo plazo, o para actualizar el plan maestro. En algunos aeropuertos, la gestión utilizará directamente los datos de pavimento para tomar decisiones, en contraposición al caso más común en el que varios departamentos, incluyendo ingeniería, proporcionan a la gerencia los insumos necesarios para tomar decisiones. Estos datos pueden definir significativamente las futuras acciones de la agencia, por lo cual es imprescindible que tengan acceso a datos adecuados. La Figura 36 muestra los posibles métodos de toma de datos para su uso por parte de la gerencia.

Justificación de financiación externa

Los datos del pavimento pueden ser utilizados externamente para justificar financiación a la FAA, a los gobiernos estatales, o a los gobiernos locales. Las solicitudes de financiación pueden ser para cualquier nivel de mantenimiento, reparación o rehabilitación. Con el fin de justificar la financiación, la condición del pavimento en forma de una inspección PCI reciente proporciona una calificación del estado del pavimento que está establecida, es objetiva y es ampliamente aceptada. Dependiendo de la naturaleza específica de una solicitud de financiación, datos de condición estructural recogidos a nivel de red como los define la AC 5370-11B se pueden utilizar como justificación adicional. Datos de la condición estructural generalmente se utilizan en proyectos de rehabilitación donde la carga de las aeronaves excede la capacidad estructural. Dependiendo de las especificaciones del proyecto, pueden ser necesarios otros tipos de datos para justificar fondos externos; sin embargo, los métodos de toma de datos presentan los requisitos mínimos.

Para sistemas de múltiples aeropuertos y aeropuertos grandes, medianos, y pequeños, los datos de PCI de una inspección manual son apropiadas, tanto si son a nivel de confianza menor, igual o por encima del 95 por ciento. Cualquiera de estas tasas de muestreo proporcionará la justificación de la condición del pavimento a un organismo externo de gobierno. Para los sistemas estatales y aeropuertos GA, los datos PCI de una inspección manual a menos de un nivel de confianza del 95 por ciento son apropiados. Este nivel de datos proporciona al órgano de gobierno externo una medida objetiva de la condición del pavimento. No se requiere un nivel de recolección de datos que signifique un esfuerzo adicional.

Programa/Presupuesto CIP a Largo Plazo de la Agencia o actualización del Plan Maestro

La administración también utilizará los datos de pavimento para determinar un programa/presupuesto CIP de largo término de la agencia o para actualizar el plan maestro. Estos productos a menudo cubren un período de 10 a 20 años. Se incluyen en esta rama del árbol de decisión sólo los datos de la condición del pavimento porque la condición del pavimento puede ser proyectada a años futuros, mientras que las métricas relacionadas con las características de la superficie y la capacidad estructural no se pueden pronosticar con la misma facilidad. La exactitud de los datos de condición del pavimento es importante, ya que afecta a la financiación de las necesidades. Estas métricas se utilizarán en el desarrollo del CIP de corto alcance cuando se conozcan los problemas de rendimiento.

Para sistemas de múltiples aeropuertos y aeropuertos grandes, medianos, y pequeños, es apropiado usar datos PCI de inspecciones manuales de menos de, igual o por encima de un nivel de confianza del 95 por ciento. Además, también se pueden usar datos no PCI obtenidos de un reconocimiento aéreo (con las autorizaciones apropiadas) de la condición del pavimento, de imágenes 3D-láser, o LIDAR. Se espera que cualquiera de estos métodos de recopilación de datos permita una caracterización de la condición general del pavimento y que las predicciones de las condiciones futuras con datos generados con estas tecnologías serán razonablemente precisas.

La Figura 36 no incluye recomendaciones para los aeropuertos GA. Muchos aeropuertos GA están cubiertas por los sistemas de todo el estado, que se tratan en otro lugar. Un aeropuerto GA independiente que sí desarrolla programas CIPs a largo plazo, presupuestos o planes maestros, debe utilizar la Figura 36 como un sistema estatal. Aquellos aeropuertos

GA que sólo desarrollan CIP o presupuestos de corto plazo funcionan más como un departamento de ingeniería, que se cubre en la siguiente categoría de uso y la Figura 40.

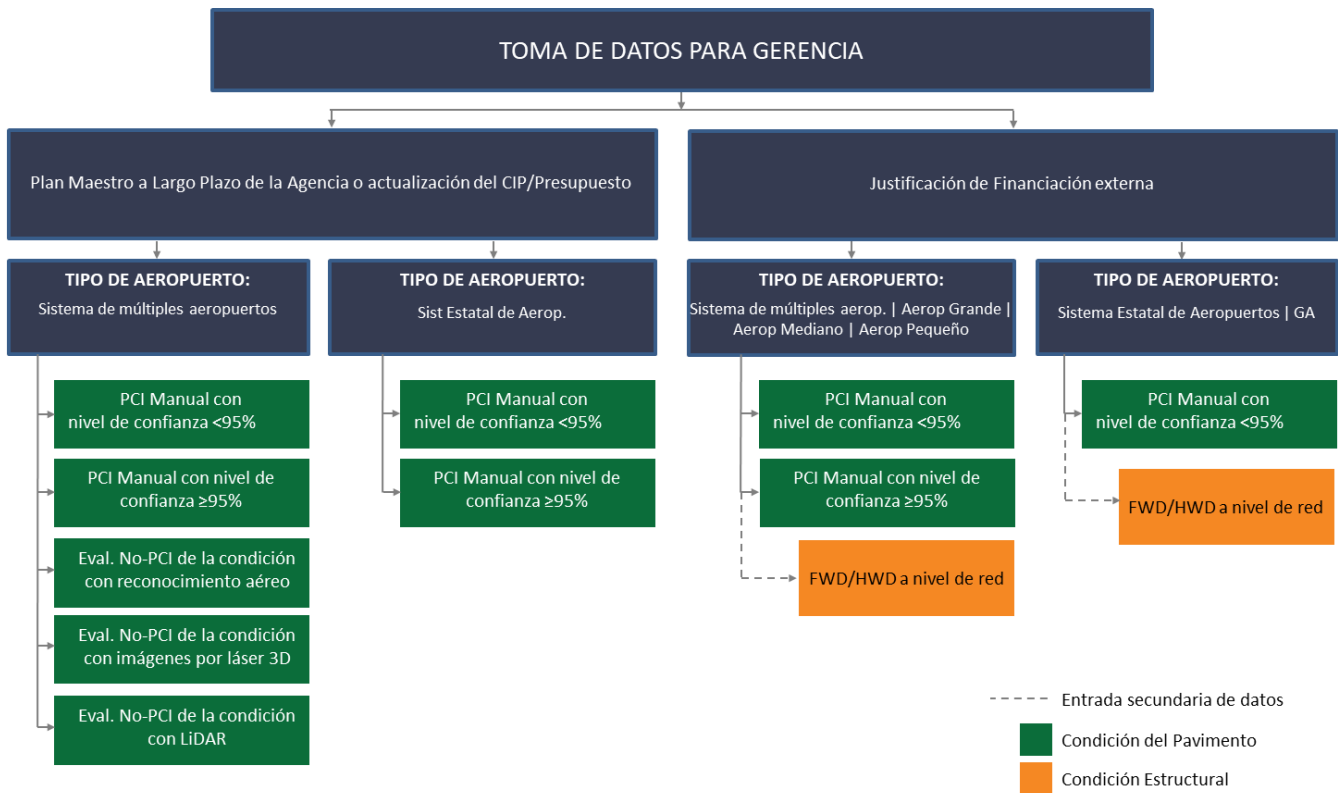


Figura 36. Árbol de decisión de recolección de datos del pavimento de gestión.

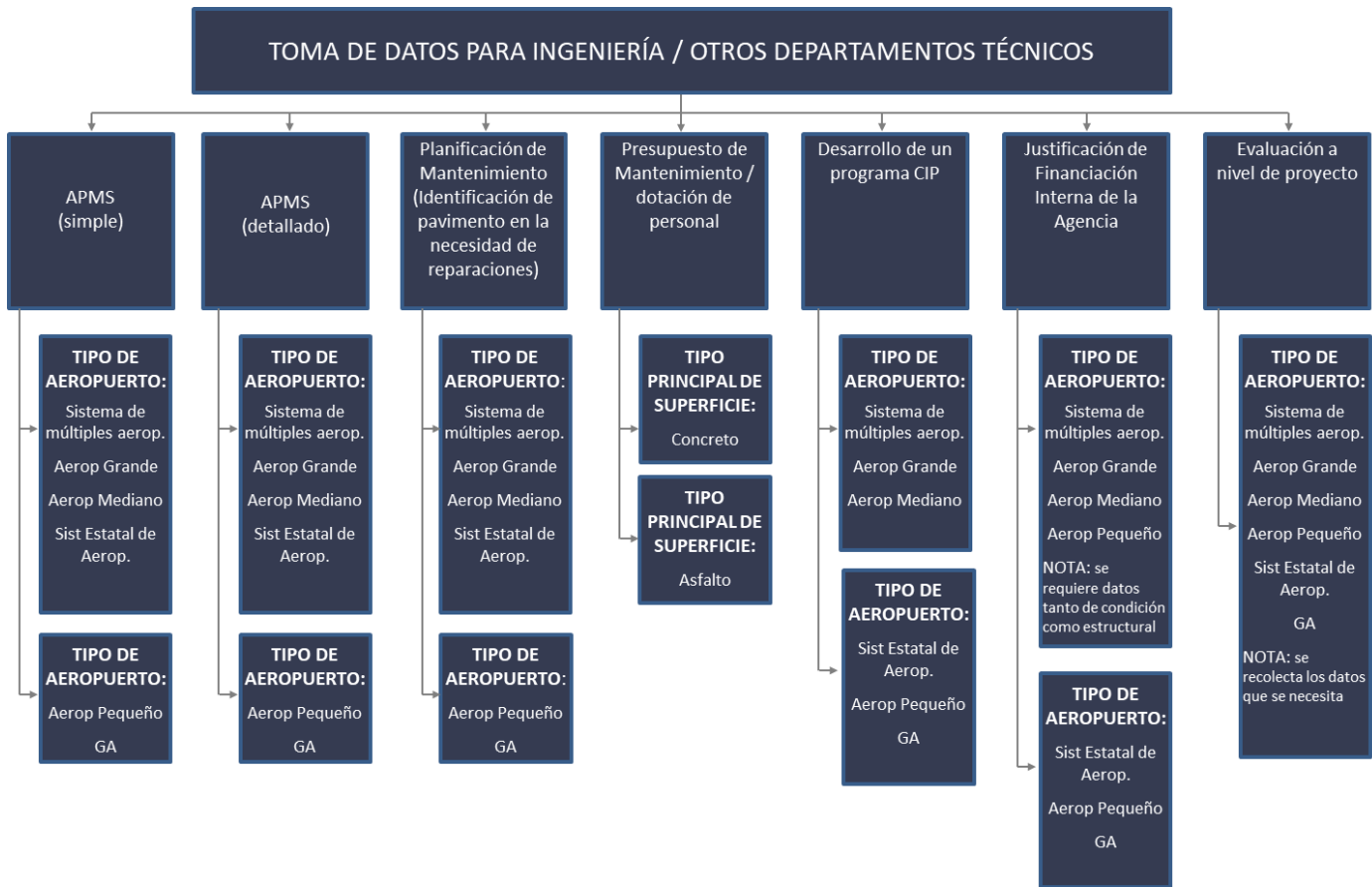


Figura 37. Usos de ingeniería u otros departamentos técnicos.

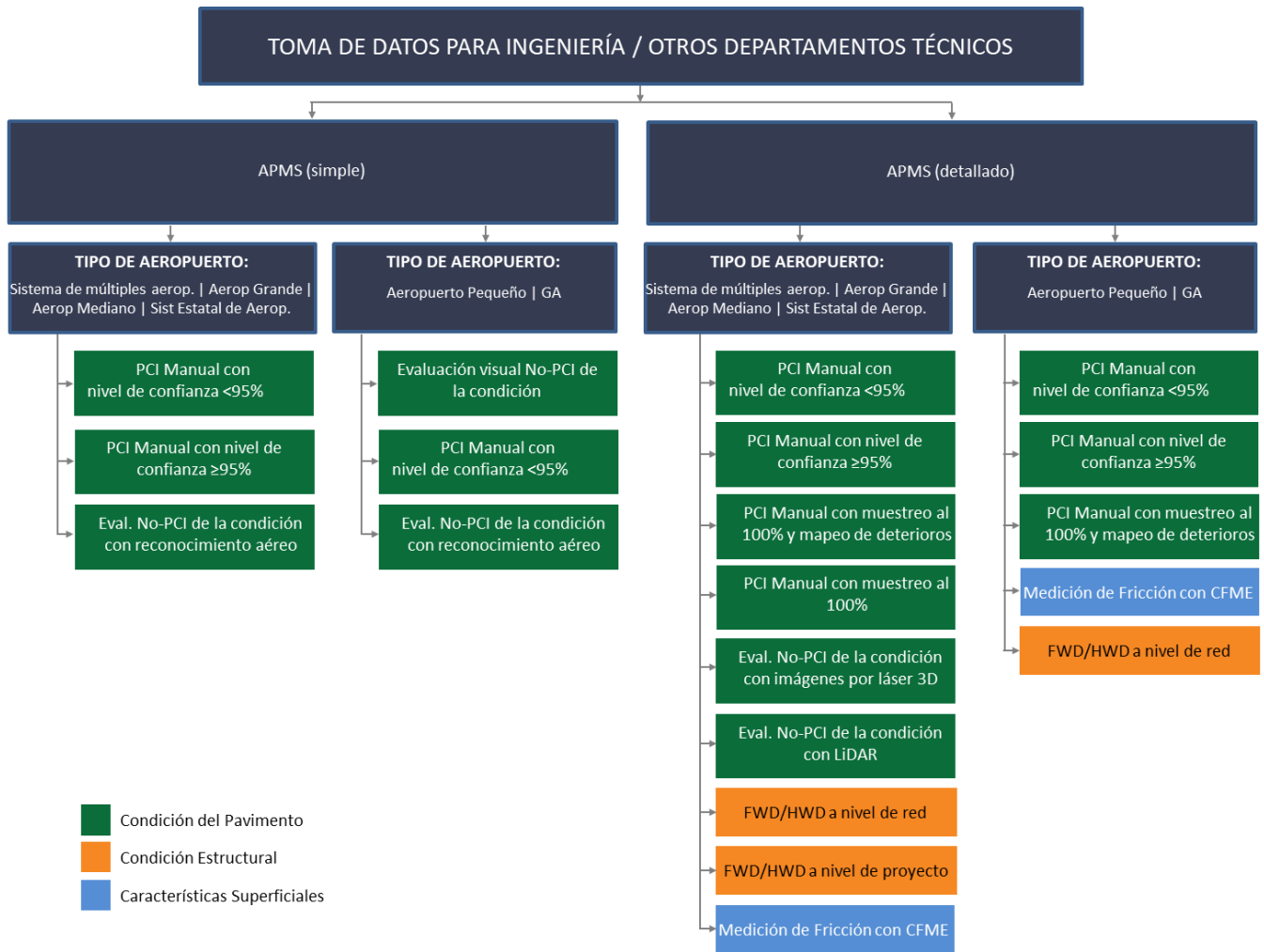


Figura 38. Árboles de decisión APMS

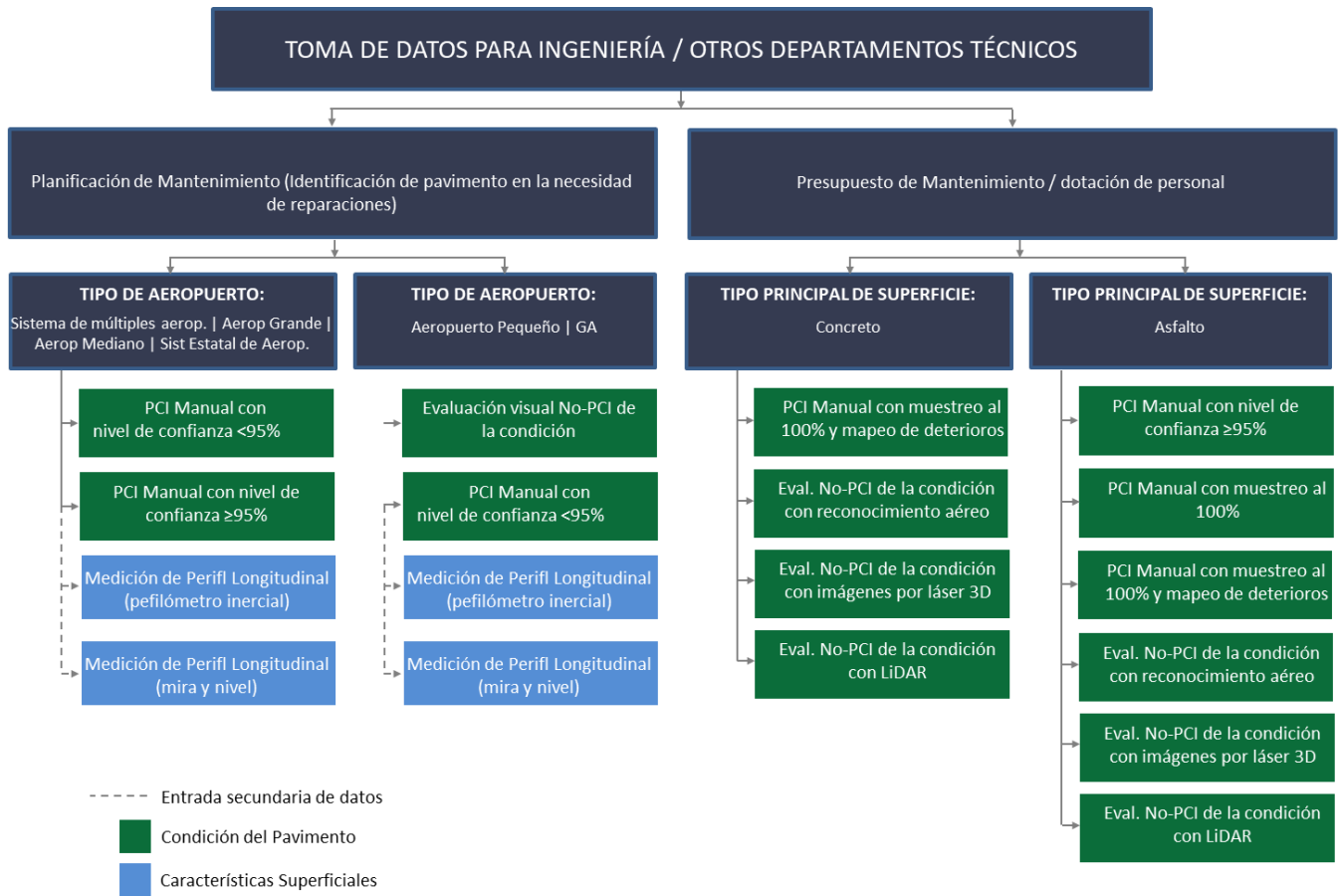


Figura 39. Árboles de decisión de mantenimiento

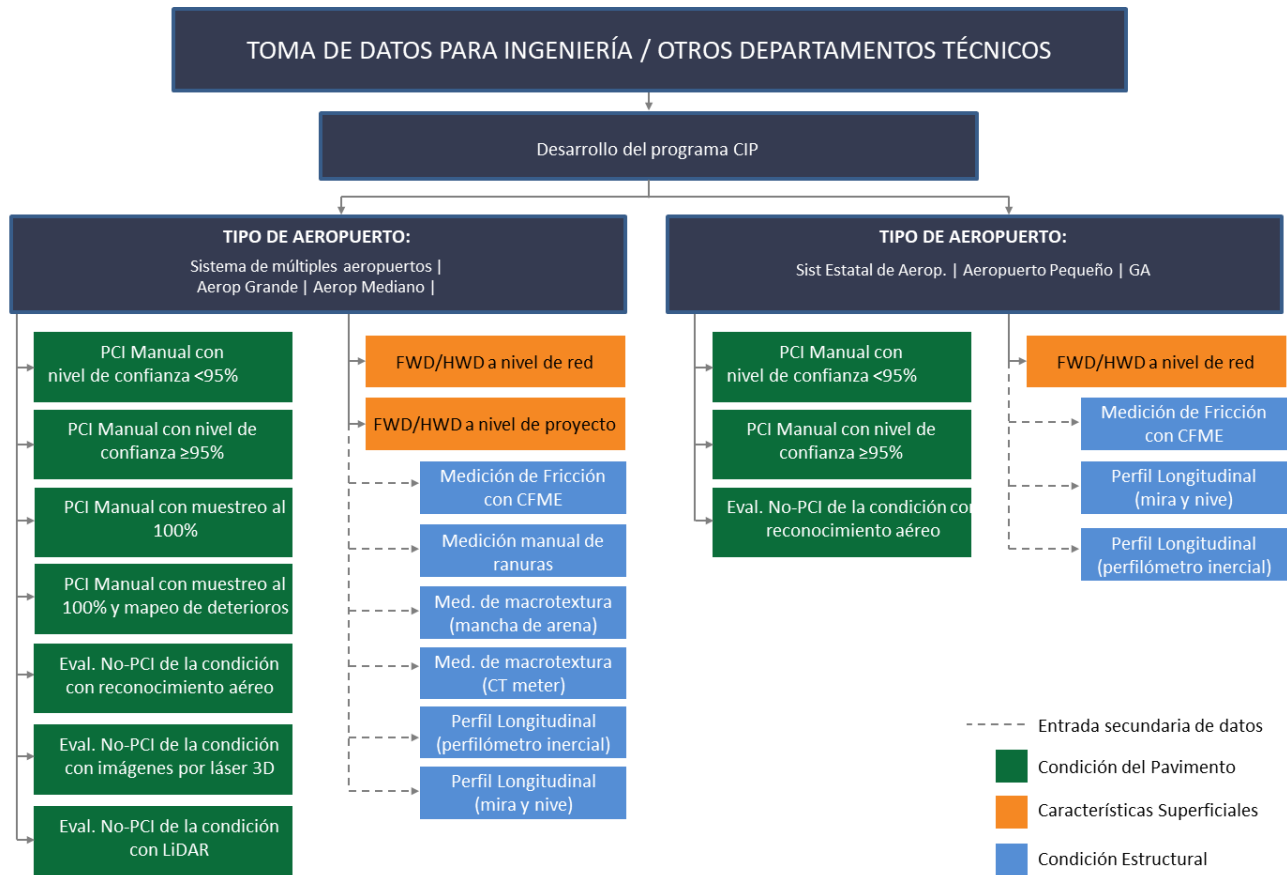


Figura 40. Árbol de decisión para desarrollar un programa CIP

Datos para Ingeniería u otros departamentos técnicos

Ingeniería y otros departamentos técnicos hace usos diversos de los datos. Los usos principales se muestran en la Figura 37, separados por factores apropiados. Algunas agencias utilizan continuamente los datos de pavimento en muchas aplicaciones, mientras que en otras se limitan al uso de los datos de pavimento en una o dos aplicaciones de forma intermitente.

APMS (simple)

Si se implementa un sistema de gestión de pavimentos aeroportuarios APMS simple, el objetivo es reunir, almacenar y hacer referencia a la información general del estado del pavimento. En este uso el aeropuerto no necesita saber la ubicación y condición de cada deterioro a través de la red de pavimentos. El árbol de decisión para APMS simples y detallados se muestra en la Figura 38. Para todos los aeropuertos, la toma de datos de condición del pavimento por un sistema de clasificación aérea no PCI y una inspección manual de PCI a menos de un nivel de confianza del 95 por ciento pueden ser utilizados (de nuevo, siempre que los permisos apropiados se obtengan para operar un Suas). Estos métodos documentan la condición de pavimento y permiten el seguimiento de los cambios con el tiempo.

Para sistemas de múltiples aeropuertos, sistemas estatales, y aeropuertos grandes, medians, y pequeños, una inspección manual PCI a un nivel de confianza igual o superior al 95 por ciento también se puede utilizar con la intención de inspeccionar un área mayor y lograr una mayor precisión en resultados. Para un aeropuerto pequeño o un aeropuerto GA, el estado del pavimento también puede ser capturado con una evaluación visual no-PCI [tal como una inspección PASER (FAA AC 150/5320-17A) o una inspección que no cumpla con ASTM D5340 usando una de las muchas otras técnicas

disponibles]. Se recomienda aplicar normas y tal vez un plan de gestión de calidad de los datos para este tipo de evaluación visual para promover la coherencia.

APMS (detallado)

Si se implementa un APMS detallado, los objetivos son reunir, almacenar y hacer referencia a la información general de condición del pavimento y hacer una referencia cruzada de estos datos con los datos de condición estructural y los datos de fricción. Un APMS detallado presentará suficientes métricas de manera que el pavimento pueda ser visto como un todo. Los datos de las condiciones estructurales para todos los aeropuertos pueden ser recogidos a nivel de red, aunque sistemas de múltiples aeropuertos, sistemas estatales, y aeropuertos grandes y medianos pueden elegir recoger a nivel de proyecto. Los datos de las condiciones de fricción deben ser medidos con equipos CFME.

Para todos los aeropuertos, la recopilación de datos de condición del pavimento mediante inspección manual de PCI a nivel de confianza menor, igual, o por encima del 95 por ciento puede ser utilizado. La condición del pavimento también puede ser levantada a una densidad de 100 por ciento. La densidad de las inspecciones PCI debe elegirse sobre la base de la cantidad de pavimento que la agencia se siente cómoda de inspección y los recursos disponibles para recopilar los datos. Para sistemas de múltiples aeropuertos, los sistemas estatales, y aeropuertos grandes y medianos, la agencia puede elegir reunir datos en forma de mapas de deterioros que muestran la condición del pavimento en 100 por ciento de densidad, o imágenes 3D-láser, o LIDAR. Estos datos son capaces de proporcionar localizaciones exactas de deterioros en toda la red.

Planificación de mantenimiento

Los datos de pavimento se pueden utilizar para identificar qué pavimentos están en necesidad de mantenimiento. El objetivo de este uso es identificar qué áreas deben ser examinadas con más frecuencia por el personal de mantenimiento, operaciones y de ingeniería. Estas áreas de pavimento recibirán un mantenimiento periódico por personal interno o mediante contratistas. El resultado de este uso no es determinar los proyectos de reparación específicos. El árbol de decisiones para la planificación del mantenimiento y la determinación de Presupuesto de Mantenimiento / dotación de personal se presenta en la Figura 39.

Para todos los aeropuertos, la planificación del mantenimiento se puede realizar a partir de los datos de condición del pavimento recogidos por inspección manual de PCI a un nivel de confianza menor al 95 por ciento. Para aeropuertos pequeños y aeropuertos GA, los datos de condición del pavimento pueden ser recogidos por una evaluación visual no PCI. Para sistemas de múltiples aeropuertos, sistemas estatales, y aeropuertos grandes y medianos, recolectar datos del pavimento mediante inspección manual de PCI a un nivel de confianza igual o superior al 95 por ciento es también una opción. Este uso no requiere de datos que tengan el mayor nivel de detalle porque se necesita sólo conocer las condiciones generales de cada sección de pavimento.

Además, si se observan problemas de perfil longitudinal por parte del personal del aeropuerto o de los pilotos, debe hacer una medición del perfil longitudinal. Los datos pueden ser obtenidos ya sea con un perfilómetro inercial o por mira y nivel. Los datos de los perfiles longitudinales se consideran una entrada secundaria para los planes de mantenimiento, ya que es muy raro que los problemas de irregularidad dicten las necesidades de mantenimiento (o si es el caso, la rehabilitación del pavimento).

Presupuesto de Mantenimiento / dotación de personal

Los datos del pavimento también se pueden utilizar para crear presupuestos detallados de mantenimiento y definir las necesidades de personal del proyecto. Para lograr estos objetivos con éxito, las cantidades precisas de reparación ayudan a estimar el nivel de esfuerzo necesario para las actividades de mantenimiento. A diferencia de otros usos de datos, el tipo principal de superficie es el factor más representativo para establecer los métodos de toma de datos.

Para superficies de concreto, se necesita una representación visual del pavimento con el fin de desarrollar las cantidades precisas de reparación, porque en el procedimiento PCI no se registra la cantidad de deterioro por losa. Si las características de los deterioros dentro de una losa son desconocidos, las suposiciones generales acerca de cantidades de reparación serán inexactas. Para poder desarrollar un presupuesto de mantenimiento o de las necesidades de personal para las reparaciones de pavimento de concreto, los datos pueden ser recogidos por mapeo manual de deterioros con una cobertura del 100 por ciento o un sistema de calificación de la condición que no sea PCI, ya sea de reconocimiento aéreo (con permisos para operar dichos equipos), imágenes 3D-láser, o LIDAR. Estos métodos capturan la ubicación exacta y las características de los deterioros en el hormigón y permiten una planificación detallada.

Para superficies de asfalto, los mismos métodos que se describen para pavimentos de hormigón se pueden utilizar. Además, ya sea una inspección PCI manual al 100 por ciento o una inspección PCI manual a un nivel de confianza igual o por encima del 95 por ciento es apropiado. El procedimiento PCI para superficies de asfalto produce cantidades de deterioros (un área o una medida lineal) que se puede convertir a una cantidad de reparación con una precisión aceptable para la planificación detallada.

Desarrollo de un programa CIP

Los departamentos de ingeniería pueden desarrollar un programa CIP que se extienda desde un solo año a más de 5 años. Los datos de la condición del pavimento son un componente clave en el desarrollo de un programa CIP, aunque desarrollar un CIP también se tendrán en cuenta otros factores no relacionados con las condiciones del pavimento. El árbol de decisiones para el desarrollo del CIP se muestra en la Figura 40.

Los datos sobre el estado del pavimento utilizados en el desarrollo del CIP necesitan capturar el estado general de los pavimentos. El análisis de los datos conduce a proyecciones de condiciones futuras del pavimento. Para todos los aeropuertos, la recopilación de datos por una inspección manual de PCI a un nivel de confianza menor que, igual o por encima del 95 por ciento puede ser utilizado. Un sistema de clasificación de la condición del pavimento no PCI también se puede utilizar si los datos resultantes pueden utilizarse para proyectar el estado futuro del pavimento. Para sistemas de múltiples aeropuertos y aeropuertos grandes y medianos, otros métodos de toma de datos están disponibles. Una inspección PCI al 100 por ciento o un mapeo con muestreo del 100 por ciento se puede realizar. Además, la condición del pavimento puede ser evaluada utilizando imágenes 3D-láser o LiDAR.

En el desarrollo de un programa CIP, los datos de las condiciones estructurales para todos los aeropuertos pueden ser recogidos a nivel de red, mientras que sistemas de múltiples aeropuertos y aeropuertos grandes y medianos pueden elegir recolectar a nivel de proyecto. Estos datos representarán las condiciones estructurales actuales, y se pueden hacer proyecciones a corto plazo sobre la futura capacidad estructural del pavimento.

Hay también varias fuentes secundarias que se pueden usar en el desarrollo de un CIP. Los datos del perfil longitudinal y de fricción pueden ser considerados en todos los aeropuertos. En sistemas de múltiples aeropuertos y aeropuertos grandes y medianos, otras medidas, tales como mediciones de las ranuras y la macrotextura, también pueden ser considerados. Todas las fuentes secundarias deben ser consideradas después de que de la condición del pavimento y de la capacidad estructural.

Justificación de Financiación Interna de la Agencia

Los departamentos de ingeniería a veces se encargan de proporcionar la justificación para una solicitud de financiación para la gestión de aeropuertos. Para lograr esto, se deben proporcionar los datos y análisis adecuados. El árbol de decisiones para la justificación de financiación interna de la agencia se muestra en la Figura 41.

Para todos los aeropuertos, la recopilación de datos mediante una inspección manual de PCI a nivel igual o por encima de 95 por ciento de confianza puede ser utilizado. Un sistema aéreo no PCI de clasificación de la condición del pavimento también se puede utilizar (con permiso). Para sistemas de múltiples aeropuertos y aeropuertos grandes, medianos, y pequeños, se pueden usar otros datos de la condición del pavimento. Se puede realizar una inspección PCI al 100 por

ciento o un mapeo de de deterioros al 100 por ciento. Además, la condición del pavimento se puede obtener utilizando imágenes de láser 3D o LiDAR también puede ser evaluada. Para los sistemas estatales y aeropuertos GA, la recopilación de datos por una inspección manual de PCI a menos de un nivel de confianza del 95 por ciento puede ser utilizada.

Los datos de condición estructural pueden utilizarse para sistemas estatales y aeropuertos GA pero sí son necesarios para que otros aeropuertos justifiquen los recursos internos. Aeropuertos con tráfico comercial significativo, deben por un lado asegurar que la capacidad estructural sea adecuada y así realizar un proyecto de reparación, o bien demostrar que es insuficiente, para así realizar una rehabilitación del pavimento. Los datos pueden ser recogidos a nivel de red para todos los aeropuertos. Para sistemas de múltiples aeropuertos y aeropuertos grandes, medianos, y pequeños cubos, estos datos pueden ser recogidos a nivel de proyecto.

También hay varios otros de datos secundarios que pueden ser utilizados en al justificar financiación interna. El perfil longitudinal, la macrotextura, las mediciones de las ranuras, y los datos de fricción pueden ser considerados en todos los aeropuertos. Todos los datos secundarios deben ser considerados después de la condición de pavimento y de la capacidad estructural. A menos que haya problemas muy claros de seguridad, estos parámetros de forma independiente no justifican la financiación, pero pueden apoyar las solicitudes de financiación cuando se combina con otros datos.

Evaluación a nivel de proyecto

Los detalles de las evaluaciones a nivel de proyecto se describen en el Capítulo 4. El alcance de una evaluación a nivel de proyecto puede ser muy específica o amplia y puede utilizar muchas métricas diferentes. Toda recolección de datos son consecuencia de necesidades del proyecto. Los datos recogidos deben ser lo suficientemente detallados como para tomar la decisión correcta a largo plazo. El árbol de decisión para la evaluación a nivel de proyecto se presenta en la Figura 42 y muestra que todos los esfuerzos de recolección de datos pueden ser apropiados para cualquier categoría de aeropuerto.

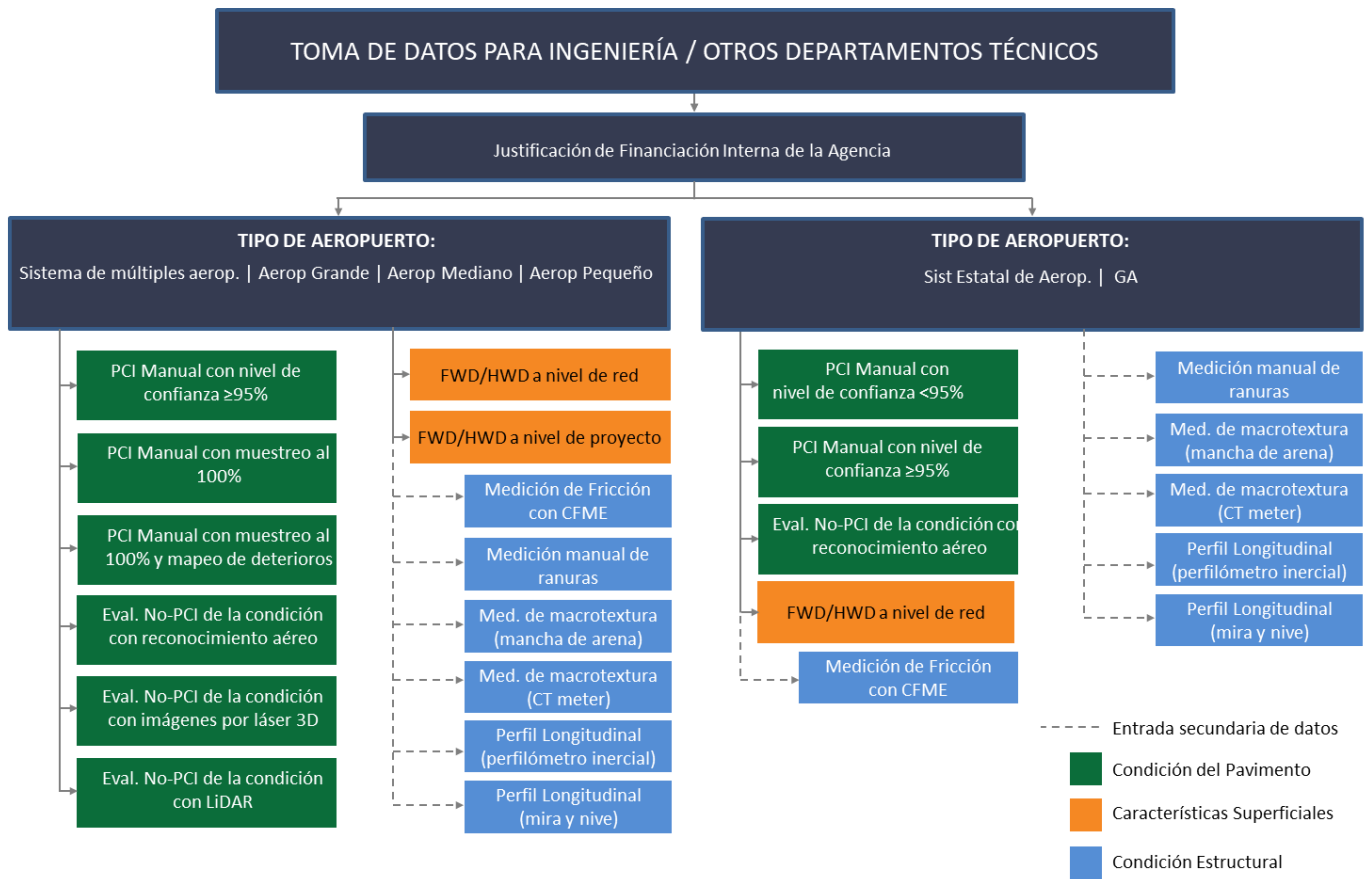


Figura 41. Árbol de decisión de justificación de financiamiento interno de la agencia.

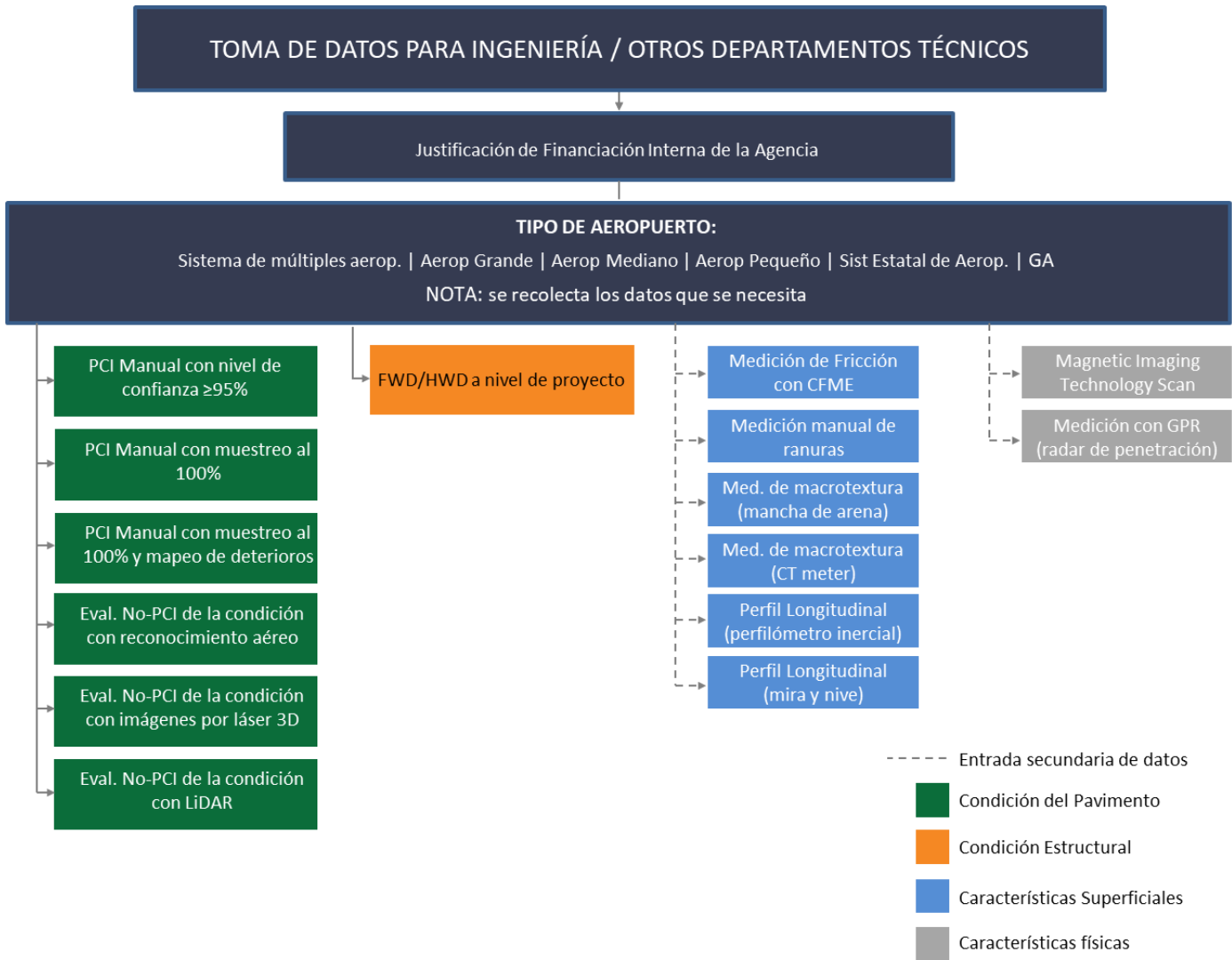


Figura 42. Árbol de decisión de evaluación a nivel de proyecto (GPR = radar de penetración).

Otros usos

Informes PCN a otros usuarios

A la mayoría de los usuarios de los aeropuertos no les preocupan los detalles de los datos de condición del pavimento. Una excepción es que algunos usuarios (por ejemplo, líneas aéreas y algunos propietarios / operadores privados) necesitan conocer el PCN de ciertos pavimentos para asegurar que sus aviones no causarán daños. Esto es especialmente un problema cuando la aeronave en cuestión es más grande que la aeronave típica en ese aeropuerto. Otra excepción es que los pilotos pueden querer saber el valor de la fricción antes de aterrizar, aunque esto es una preocupación relacionada con el tiempo (condiciones meteorológicas) y no una parte de la gestión de datos de las condiciones del pavimento.

En la Figura 43 se muestran los posibles métodos de toma de datos y la frecuencia para su uso por otros. Para recopilar la información necesaria acerca de la resistencia del pavimento, se requieren ensayos FWD/HWD a nivel de red. No es necesaria la recopilación de datos más detallados para capturar la información general de la capacidad del pavimento.

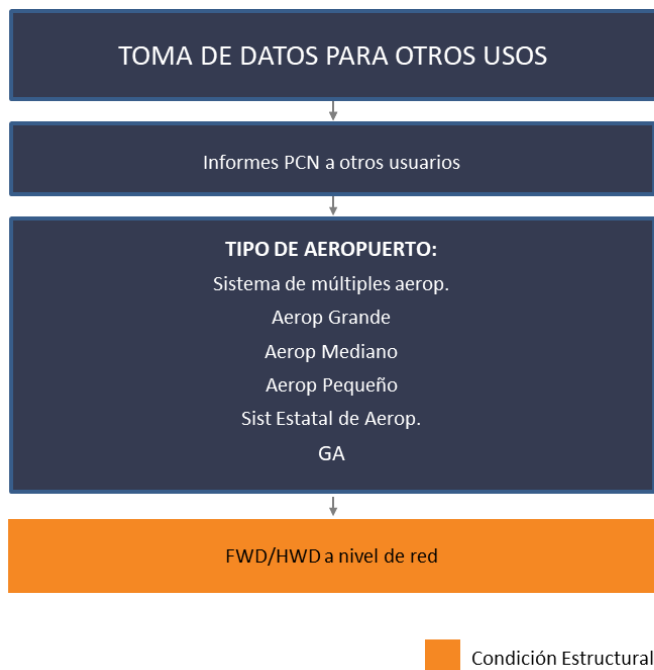


Figura 43. Árbol de decisión de otros usos.

Costo y valorización de datos de Condición

Hasta aquí se ha presentado orientación en una serie de métodos de recolección de datos de la condición del pavimento en función de variables tales como el uso de los datos y el tamaño del aeropuerto. En muchos casos, esta guía identifica las diferentes técnicas para la recolección de lo que esencialmente son los mismos datos. Además de diferentes tecnologías asociadas con los diferentes métodos de toma de datos, otros factores pueden variar, tales como el tiempo de captura de datos, las condiciones en que la metodología se puede utilizar, y el impacto en las operaciones. Una variable adicional que aún no se ha discutido es el costo de la toma de diferentes tipos de datos de condición. Una consideración asociada a costos es si los diferentes métodos de toma de datos proporcionan un valor diferente.

Como ejemplo, una vez que ya se ha resuelto el acceso a diferentes tecnologías, los costos de realización de una inspección de condición del pavimento varían en función de las limitaciones de fracción o tasa de muestreo y del acceso, con costos más altos asociados con una inspección al 100 por ciento y limitaciones de acceso o recopilación de datos de noche. En algunos casos, puede ser menos costoso recoger datos de condición similares con la tecnología de vídeo digital o con un vehículo equipado con equipo automatizado de toma de datos, pero los costos podrían ser mayores que extraer manualmente los datos de deterioros. Un problema asociado surge al determinar el valor de los datos recogidos. Si un método de recopilación de datos no proporciona información sobre cada deterioro PCI, por definición, tiene menos valor que otro método que sí incluye todos los deterioros PCI. Sin embargo, si un aeropuerto puede tomar decisiones aceptables para el mantenimiento, el desarrollo del programa CIP, la planificación, y otros propósitos con este conjunto de datos menor, entonces sí tiene valor suficiente y debe ser considerado.

Como está implícito en esta explicación simple, el valor de un tipo de datos respecto de otro, o de un método de toma de datos sobre otro, es complicado de cuantificar. Si un conjunto de datos conduce a un mejor mantenimiento, ingeniería, planificación, proyecto de capital, o de decisiones operativas, tiene mayor valor que el conjunto de datos que hace una contribución menor. La determinación de ese valor sigue siendo un reto.

Sin embargo, los costos son fáciles de cuantificar, sobre todo si la recolección de datos se realiza por un contratista. Los costos de los diferentes enfoques pueden ser obtenidos al permitir que ofertas alternativas o solicitar a los contratistas que hagan ofertas con metodologías alternativas. Con los costos en mano, un aeropuerto o una agencia puede determinar el valor de los diferentes tipos y calidad de los datos y decidir cuáles son los enfoques más rentables.

El Futuro de los Datos de Condición del Pavimento

Durante décadas, las normas y las prácticas existentes respecto a los datos de condición del pavimento, como por ejemplo el procedimiento PCI de la ASTM para identificar deterioros en pavimento, se han alineado bien con lo que se conoce como la recopilación manual de datos. Sin embargo, las tecnologías que se aplican actualmente en la recolección y análisis de datos de la condición del pavimento se están expandiendo a un ritmo rápido. Mientras que en el pasado una inspección visual era la norma y esos resultados guiaban las decisiones tanto a nivel de proyecto como de red, así como aquella relativas a mantenimiento del pavimento y rehabilitación, a las necesidades de presupuesto y personal, ahora es claro que los avances en las tecnologías ya han dado lugar a importantes cambios en la práctica y continuarán haciéndolo en el futuro cercano.

Es un reto identificar qué tecnologías o procedimientos para disponer de datos de condición del pavimento debe adoptar un aeropuerto. La Tabla 16 proporciona sugerencias para el almacenamiento de datos, mientras que las Figuras 36 a 43 ofrecen una guía sobre los procedimientos de recopilación de datos basada en quién es el usuario o el uso que se prevee dar a los datos. Mirando hacia el futuro, se sugiere que cualquier cambio en la tecnología de recolección de datos respecto de las prácticas actuales debería proporcionar una ventaja tangible, como una o más de las siguientes:

- Mejor cumplimiento,
- Recolección de datos y procesamiento más rápidos,
- Costos más bajos,
- Mayor precisión y
- Un mejor acceso a los datos.

Este capítulo final mira hacia el futuro de la recolección de datos del pavimento en aeropuertos y la capacidad de las tecnologías existentes o emergentes para proporcionar estos beneficios.

Mejor cumplimiento (*compliance*)

Como se discutió en el capítulo 2, hay una serie de requisitos dictados por la FAA para aeropuertos “Parte 139” y aeropuertos obligados por el gobierno federal de los EE.UU. relacionados con la toma de datos de pavimentos. En términos generales se relacionan con inspecciones diarias, continuas, periódicas, y ya sea anuales o trienales para identificar defectos, ya sea de seguridad o pavimento.

La tecnología más prometedora para mejorar el cumplimiento de los requisitos de la FAA para autoinspección es el uso de sUASs / UAV. A pesar de las cuestiones de reglamentación, que al mismo tiempo están cambiando, pero crean barreras al uso, esta tecnología se puede utilizar para recoger rápidamente una imagen continua de alta resolución de los pavimentos que de otro modo requeriría que una o dos personas por vehículo. El tamaño de los aeropuertos impacta el

nivel de beneficio que puede generarse con el uso de un sUAS para las inspecciones, pero hay beneficios adicionales que incluyen la creación de un registro digital permanente o semipermanente que podrá ser revisado, si es necesario y la posibilidad de utilizar la visión por ordenador (que es la ciencia y la tecnología de las máquinas que “ven”) para interpretar las imágenes capturadas.

Las variaciones de esta tecnología ya se han desplegado en aeropuertos como Hartfield-Jackson de Atlanta, el Aeropuerto de Front Range, y un aeropuerto GA en Maine para la inspección del pavimento y en otros aeropuertos para otros fines de inspección (Wysocky 2018). Una encuesta reciente de las prácticas del departamento de carreteras estatales por la Asociación Americana de Carreteras Estatales y Transporte (AASHTO) informó que 35 están “utilizando aviones no tripulados con regularidad o están probando los dispositivos para su posible uso” y seis ya están utilizando aviones no tripulados para las inspecciones de pavimento (Dorsey 2018).

Recolección y procesamiento de datos más rápido

La habilidad para recoger más rápidamente los datos de la condición del pavimento es algo valioso por lo menos por dos razones. Los métodos existentes de recolección de datos requieren acceso físico a los pavimentos. En aeropuertos muy ocupados, sin exceso de capacidad, este acceso a menudo sólo se concede en la noche cuando las operaciones disminuyen y a veces en ventanas de tiempo tan cortas como 4 o 5 horas. En el caso de los aeropuertos de una sola pista operando cerca de su capacidad, el acceso regular ocurre en ventanas aún más estrechas o bien se concede generando un impacto negativo en las operaciones. Para los aeropuertos con accesos limitados, cualquier método de toma de datos de pavimento que funcione más rápidamente y tenga menos impacto en las operaciones es altamente deseable.

En este sentido, tanto inspecciones automatizadas (por ejemplo, 3D, Lidar, sUAS) como evaluaciones estructurales más rápidas tienen el potencial de proporcionar este mayor valor. Sin embargo, al mismo tiempo, se reconoce que estos métodos de recolección de datos pueden no ser aplicables en algunas circunstancias. En particular, en las plataformas cerca de edificios terminales y alrededor de aviones o equipos de asistencia en tierra estacionados, una inspección manual puede ser la única manera de recoger datos sobre el estado del pavimento.

Del mismo modo, la medición continua de deflexiones o FWDs más rápidos también generará datos requeridos más rápidamente. Como se señaló anteriormente, estas tecnologías particulares aún no se han desplegado para evaluar los pavimentos de aeropuertos.

La capacidad de procesar datos y proporcionar resultados más rápidamente es también un avance que está en el horizonte próximo. Los datos de condición del pavimento que se generan en formato digital, deben ser interpretados por software desarrollado para este fin, y en varios casos, así es la práctica actual. Por ejemplo, muchos usuarios de imágenes 2D o 3D utilizan software personalizado para identificar y reportar los deterioros grabados. Cuando es el software el que identifica los deterioros, el proceso se conoce como “automático”, pero si se utiliza la asistencia humana, entonces el proceso se conoce como “semi-automático.” Mientras menor sea la participación del ser humano que se requiere para extraer datos de condición (sin sacrificar la calidad), más rápido el proceso de información puede ser completado. El acortar los pasos de procesamiento de datos e informes, permite poner esos datos útiles en manos de los tomadores de decisiones antes, lo que posiblemente permita tomar decisiones más oportunas con respecto al mantenimiento, rehabilitación y planificación de proyectos de capital.

Costos más Bajos

Lo ideal sería que hubiera ahorros con la implementación de las nuevas tecnologías de recolección y almacenamiento de datos pavimento. Los costos de cualquier fase del proceso de datos de pavimento no se consideraron en este estudio por lo que no es apropiado tratar de comparar aquí los costos de recolección procesamiento de datos. Sin embargo, con las diferentes tecnologías disponibles o que pronto estarán disponibles para el análisis de los datos recopilados del pavimento, sin duda habrá diferencias en los costos. Una agencia tendrá que sopesar el costo de la toma de datos con el

valor de los datos obtenidos.

Mayor Precisión

Los avances en la tecnología no significan automáticamente una mayor precisión, aunque quizás en muchos casos eso es una ventaja implícita. La Tabla 18 identifica como “mejor práctica actual” las tecnologías actuales utilizadas para generar datos esenciales de la condición del pavimento, y también se muestran otras tecnologías alternativas actualmente en uso. Cada una de las tecnologías actuales se considera *en este momento* más precisa que las tecnologías alternativas. Sin embargo, los avances en las tecnologías alternativas se están realizando a un ritmo rápido y con el tiempo éstos tendrán igual o mayor precisión que las prácticas actuales.

Tabla 18. Mejores prácticas (en términos de precisión) y las tecnologías alternativas disponibles para la recolección de datos de pavimento.

Dato de Pavimento	La Mejor Práctica Actualmente	Tecnología Alternativa
Deterioros	Inspección Manual de la Condición	Imágenes láser 3D LiDAR Cámara montada en Vehículo Cámara montada en UAS
Deflexiones	FWD	Deflectómetro a velocidad del tráfico o rodante
Irregularidad	Perfilómetro Inercial	N/A
Fricción	CFME	N/A

Mejor Acceso a los Datos

Conjuntamente con los avances en la tecnología de toma de datos de pavimentos, ha mejorado en gran medida la capacidad de compartiros. Los datos se comparten con facilidad en las bases de datos internas o basadas en la nube o en software personalizado de acceso. En el futuro, los datos a compartir y relacionar a otros datos serán georeferenciados, lo que permitirá que los datos específicos de pavimento sean fácilmente localizados y migrados a una o más capas de datos de pavimento en un SIG. Es posible que la toma y el análisis de datos automatizado también dará lugar a un acceso más rápido a los datos recogidos.

La integración de los datos de pavimento en SIG permite la capacidad de ver las interrelaciones y tener acceso a una amplia gama de datos de pavimento en cualquier momento (por ejemplo, el historial de mantenimiento, comportamiento en el tiempo). Al ser un capa dentro de GIS, los datos del pavimento pueden también ser comparados con otros elementos de la infraestructura, tales como servicios públicos, para comprender mejor el comportamiento y los requisitos de reparación.

Mejores Decisiones

A lo largo de esta guía se describe los usos de los datos de condición del pavimento, incluyendo los capítulos 2, 4 y 5. Varias tecnologías tienen el potencial de contribuir a la mejora de las decisiones al proporcionar datos más precisos de la condición del pavimento o mayores volúmenes de datos útiles.

La capacidad de identificar deterioros con imágenes por láser en 3D, por ejemplo, actualmente no lleva a datos más precisos que los que revelan los datos de inspecciones manuales. Inspecciones manuales realizadas por personal

capacitado distinguen mejor entre los niveles de severidad de los deterioros e identifican algunos deterioros que no son discernibles a partir de imágenes en 3D, pero las inspecciones automatizadas ofrecen las siguientes ventajas:

- Combinación de interpretación automatizada y manual para aumentar la precisión,
- Capacidad de recoger datos sin muestreo,
- Medición más precisa del perfil transversal, y
- Medición del perfil longitudinal (actualmente no es parte de un estudio típico de condición del pavimento).

Se debe tener en cuenta que, si ordenáramos por exactitud los métodos de toma de datos de deterioro del pavimento, actualmente se tiene que colocar en primer lugar las inspecciones manuales de condición, seguidas de estudios basados en imágenes 3D, y luego las inspecciones realizadas por LiDAR y sUAS. Algunos vendedores están atando o combinando estas tecnologías para mejorar aún más sus capacidades de recopilación y procesamiento de datos. El orden sin duda podría cambiar con el tiempo a medida que se desarrollan nuevas tecnologías y las tecnologías existentes se someten a un mayor refinamiento.

Todos los métodos automatizados o semi-automatizados de toma de datos de deterioros tienen la capacidad de generar mayores volúmenes de datos en virtud de su capacidad para recolectar datos en el 100 por ciento de una superficie pavimentada casi tan fácilmente como pueden recoger un subconjunto de ella. Mientras que las inspecciones manuales se basan principalmente en muestreos, sobre todo a nivel de red, estas otras metodologías potencialmente generan muchos más datos.

Dos tecnologías de medición relativamente nuevas para medición de deflexiones también generan más datos sobre la condición estructural pavimento. Estos incluyen dispositivos que miden deflexiones de forma continuo y los FWDs, que operan más rápidamente. A pesar de que generan más datos, su utilidad para los aeropuertos aún no se ha demostrado. En la mayoría de los aeropuertos, la condición estructural de los pavimentos se evalúa con un FWD pesado que puede simular las cargas aplicadas por la aeronave más pesada.

Un aspecto interesante de estas nuevas tecnologías es la aplicación de visión por computador para resolver y extraer deterioros y la condición del pavimento. Por ejemplo, existen una serie de aplicaciones que son capaces de extraer de atributos del agrietamiento para pavimentos de asfalto a partir de imágenes en 3D, sin intervención humana, así como ahuellamiento y parches (Koch et al. 2015). La investigación en esta área está proporcionando mejoras casi continuas, y muchos vendedores ya están utilizando estas tecnologías con distintos grados de precisión y éxito. La aplicación de visión por computador para extraer los datos del estado del pavimento que se recogen a través de medios automatizados ofrece una inmensa promesa de mejorar la precisión de los datos, reducir los costos de recolección de datos, y reducir el tiempo de análisis.

El acceso a más datos y datos más precisos, sugiere que los aeropuertos y sus ingenieros tendrán la capacidad de tomar mejores decisiones. En conjunto, estos disminuyen el riesgo de que la condición no sea reconocida, no sea capturada, o sea mal interpretada.

Recomendaciones para investigación adicional

A medida que la tecnología sigue avanzando, hay muchas áreas adicionales para la investigación que pueden promover todos los aspectos desde la toma, al uso, y al acceso de/a los datos de condición del pavimento. Estos se identifican en las siguientes sugerencias para temas de investigación adicionales:

- Comparaciones entre la precisión de diferentes metodologías de recolección de datos y si las diferencias son significativas.
- Desarrollo de métricas de pavimentos apropiados para las técnicas no estándar de inspección de condición, tales como un PCI por video y PCI digital.

- Desarrollo de una métrica apropiada (por ejemplo, análogo al IRI para carreteras) para rugosidad del pavimento aeroportuario basado en perfilómetros inerciales. Abordar la distinción entre el funcionamiento del avión y la comodidad de los pasajeros, incluyendo la importancia de la comodidad de los pasajeros en el entorno aeroportuario.
- Consideración de las métricas no estándar en requisitos de la FAA para informar de las condiciones del pavimento.
- Examinar la eficacia de las decisiones tomadas a través de la recopilación de datos automatizada.
- Evaluar la relación costo / beneficio de estas tecnologías emergentes de recolección de datos.

A medida que se implementan nuevas tecnologías, se puede anticipar que habrá desafíos para integrar datos similares recogidos mediante los métodos existentes. Por ejemplo, un aeropuerto que ha acumulado muchos ciclos de datos de condición del pavimento por medio de inspecciones manuales puede encontrar que el mismo tipo de datos recogidos con una tecnología automatizada no coincide bien con los datos previos. Esto impactaría el análisis del desempeño futuro modelado y el programa CIP. Cuando se realizan cambios, será necesaria contar con orientación en cuanto a la forma de abordar estas cuestiones.

Referencias

- Dorsey, T. 2018. "35 State DOTs Are Deploying Drones to Save Lives, Time and Money." AASHTO News. American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), Washington, D.C.
<https://news.transportation.org/Pages/NewsReleaseDetail.aspx?NewsReleaseID=1504>
- FAA.n.d. Airport Pavement Roughness Research. Washington, D.C. <https://www.airporttech.tc.faa.gov/Airport-Pavement/Non-destructive-Testing-Technologies/Airport-Pavement-Roughness>
- FAA.2016. Report to Congress. National Plan of Integrated Airport Systems (NPIAS) 2017–2021. U.S. Department of Transportation, Washington, D.C.
- FHWA. 2014. Distress Identification Manual for the Long-Term Pavement Performance Program. FHWA-HRT-13-092. Washington, D.C.
- Gerardi, T., M. Gerardi, D. Freeman, M. Freeman, R. Rasmussen, and G. Chang. 2007. Airfield Concrete Pavement Smoothness—A Reference. IPRF 01-G-002-02-4. Innovative Pavement Research Foundation, Skokie, IL.
- GHD, Inc. 2012. ACRP Report 69: Asset and Infrastructure Management for Airports—Primer and Guidebook. Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C.
- Koch, C., K. Georgieva, V. Kasireddy, B. Akinci, and P. Fieguty. 2015. "A Review on Computer Vision Based Defect Detection and Condition Assessment of Concrete and Asphalt Civil Infrastructure." *Advanced Engineering Informatics*. 29 (2015). pp. 196–210.
- Larkin, A., B. Sheng, P. Higgins, and A. Kuncas. 2018. Future Federal Aviation Administration (FAA) Developments of Roughness Evaluation for In-Service Airport Pavement. Federal Aviation Administration, Washington, D.C.
https://www.erpug.org/media/files/forelasningar_2018/16%20Status%20of%20new%20roughness%20index%20development%20for%20in-service%20airport%20pavement.pdf
- Li, L. W. Luo, K. Wang, G. Liu, and C. Zhang. 2018. "Automatic Groove Measurement and Evaluation with High Resolution Laser Profiling Data." *Sensors*. August. 18(8): 2713. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6111703/>
- UAS Magazine. 2017. UAS Magazine. April 27, 2017. Grand Forks, ND.
- U.S. DOT, Bureau of Transportation Statistics. 2017. Bureau of Transportation Statistics website.
https://www.bts.gov/archive/publications/national_transportation_statistics/table_01_25 html, accessed November 13, 2017.
- Wysocky, K. 2018. "Savannah/Hilton Head Int'l Prepares to Integrate Drones into Airport & Airfield Operations." *Airport Improvement*. Chapel Road Communications, Brookfield, WI.

Glosario

(En la traducción se mantuvo el orden de las definiciones y las palabras originales en el inglés, y se tradujo el significado)

Aircraft Classification Number (ACN): Una expresión numérica del efecto relativo de una aeronave de una configuración dada en una estructura de pavimento, para una resistencia de subrasante estándar especificada. Los ACN son un estándar creado por la Organización de Aviación Civil Internacional.

Backlog: Trabajos necesarios en el pavimento que no se han completado y, por lo tanto, queda por hacer 1 o más años después de que se identificó por primera vez la necesidad.

Branch: Una parte fácilmente identificable de una red de pavimento que tiene una función particular. Por ejemplo, una pista o plataforma es cada una una rama en una red de pavimento.

Capital Improvement Program (CIP) o Programa de mejora de capital (CIP): Un programa de rehabilitación detallado que abarca un período de tiempo específico. Los programas CIP tienen la intención de presentar un cronograma de planificación costo-eficiente que, si se lleva a cabo, mantendrá la red de pavimento en un nivel de desempeño específico.

Continuous friction measurement equipment (CFME): Una familia de dispositivos utilizados para medir y calcular la fricción y la resistencia al deslizamiento de un pavimento. Los equipos CFME se usan típicamente en pistas y calles de rodaje de alta velocidad.

Distance measuring instrument (DMI): Un dispositivo instalado en vehículos terrestres para determinar las distancias y ubicaciones de los datos recopilados.

Falling weight deflectometer (FWD): un dispositivo diseñado para impartir al pavimento una carga tipo impulso similar en magnitud y duración a la de un avión en movimiento y medir la respuesta de deflexión del pavimento a esa carga. Un FWD está compuesto por una placa de carga a través de la cual una masa se deja caer y entrega una carga al pavimento, mientras que los geófonos individuales ubicados en la parte inferior de la placa de carga y a distancias específicas de la placa de carga miden la respuesta del pavimento.

Flexible pavement: Pavimento que consiste en una superficie asfáltica bituminosa o de mezcla en caliente, que se deflecta bajo cargas para distribuir las a través de las capas de base y subrasante.

Geographic information system (GIS) o Sistema de información geográfica (SIG): una base de datos computarizada que define las ubicaciones específicas de varios atributos, características o elementos de datos de forma coordinada.

Global positioning system (GPS): Un sistema de satélites, computadoras y receptores que puede determinar la latitud y longitud de un receptor en la Tierra.

Heavy FWD (HWD): Un tipo de FWD que puede generar una carga dinámica máxima de 54,000 libras, en lugar de la carga dinámica máxima de 34,000 libras generada por un FWD. Las cargas más grandes se utilizan para pavimentos con secciones transversales más gruesas, es decir, mayor espesor.

Large hub: Un aeropuerto de servicio comercial que transporta uno o más por ciento de los abordajes anuales de pasajeros de EE. UU.

Light detection and ranging (LiDAR): Un sistema de láseres y sensores compatibles con cámaras tradicionales, receptores GPS y DMI utilizados para generar imágenes de nubes de puntos de 360 grados del pavimento y de las instalaciones circundantes que permiten la identificación y el análisis de las fallas en el pavimento, así como otras instalaciones incluidas en un sistema de gestión de activos.

Load transfer efficiency (LTE): Un porcentaje que describe la distribución de cargas a través de discontinuidades en pavimentos de concreto tales como grietas o juntas. LTE se calcula como el porcentaje de la deflexión en la losa de aproximación dividido por la deflexión en la losa de salida cuando se aplica una carga.

Longitudinal profile: La medida de las desviaciones en la elevación de la superficie del pavimento en la dirección longitudinal, relacionada o algunas veces denominada suavidad o rugosidad del pavimento.

Macrotexture: Irregularidades en la superficie del pavimento que se desvían de una superficie perfectamente plana en la longitud de onda de la textura, o la distancia entre picos que miden entre 0.02 y 1.97 pulgadas. La macrotextura está presente entre los agregados en la superficie del pavimento.

Medium hub: Un aeropuerto de servicio comercial con entre 0.25 y 1 por ciento de los abordajes anuales de pasajeros de EE. UU.

Megatexture: Irregularidades en la superficie del pavimento que se desvían de una superficie perfectamente plana con la longitud de onda de la textura, o la distancia entre picos, que miden entre 1.97 y 19.69 pulgadas. La megatextura puede reconocerse en la suavidad de la superficie del pavimento y a menudo es causada por el deterioro del pavimento.

Microtexture: Irregularidades en la superficie del agregado con la longitud de onda de la textura, o la distancia entre picos, que mide menos de 0.02 pulgadas. La microtextura es un factor clave en las características de resistencia al deslizamiento de un pavimento.

Mobile mapping system (MMS): Sistema que recopila datos geoespaciales para proporcionar referencias geográficas a otros datos recopilados por un vehículo terrestre.

Network: Un grupo de pavimentos que generalmente serán administrados juntos por un aeropuerto o agencia.

Network-level o nivel de red: Un proyecto que incluiría la evaluación de una mayoría o todos los pavimentos administrados por un aeropuerto o agencia. El desarrollo de un CIP de varios años es un ejemplo de actividad aeroportuaria a nivel de red.

95 percent confidence level: Un término estadístico para la probabilidad de que un nuevo punto de datos en una población seleccionada caiga entre un rango específico de valores. El número de muestras inspeccionadas en una sección de pavimento se puede ajustar hacia arriba o hacia abajo el número total de muestras en la sección y la desviación estándar entre esas muestras para cumplir con un nivel de confianza del 95 por ciento en el PCI de la sección.

Nondestructive testing (NDT): Una variedad de tecnologías y técnicas utilizadas para evaluar las propiedades de los materiales sin causar daños al sistema de pavimento. Los NDT típicos para aeródromos pueden incluir pruebas para medir las deflexiones con equipos FWD o HWD, pruebas para medir la fricción de la superficie con CFME, pruebas para medir la rugosidad con un perfilómetro sin contacto o pruebas para producir imágenes del subsuelo utilizando un radar de penetración en el suelo.

Pavement classification number (PCN): Un número que expresa la capacidad de carga de un pavimento para operaciones sin restricciones. Los números PCN son un estándar creado por la Organización de Aviación Civil Internacional. El PCN de un pavimento se informa como un número entero que indica la capacidad de carga, seguido de una R o una F para indicar si el pavimento es rígido o flexible, seguido de una letra de A, B, C o D que indica la resistencia de la subrasante y una tercera letra que es W, X, Y o Z que indica la presión máxima de los neumáticos soportada por el pavimento.

Pavement deflection: El cambio en la elevación de la superficie del pavimento bajo una carga aplicada. La deflexión de la superficie de un pavimento se usa para calcular la rigidez de la capa estructural y el módulo elástico de subrasante para un pavimento.

Pavement condition index (PCI): Un indicador numérico entre 0 y 100 que refleja la condición funcional de la superficie del pavimento.

Pavement maintenance: Cualquier trabajo preventivo y regular o recurrente necesario para preservar los pavimentos existentes. El mantenimiento del pavimento generalmente puede incluir el sellado de grietas o juntas, parches colocados para reparar defectos o la colocación de tratamientos superficiales.

Pavement management program (PMP): Un amplio espectro de actividades, incluida la planificación y programación de inversiones, diseño, construcción, mantenimiento y la evaluación periódica del comportamiento, utilizadas para proporcionar una red de pavimento eficiente y rentable.

Pavement preservation: Un programa que emplea una estrategia a largo plazo a nivel de red que mejora el rendimiento del pavimento mediante el uso de un conjunto integrado y rentable de prácticas que extiende la vida útil del pavimento y mejora la seguridad. Un programa de preservación del pavimento generalmente consiste en mantenimiento preventivo, rehabilitación menor (no estructural) y algunas actividades de mantenimiento de rutina.

Pavement reconstruction: El reemplazo de una estructura de pavimento después de la eliminación o reciclaje de una estructura de pavimento existente.

Pavement rehabilitation: Mejoras estructurales que se llevan a cabo en un sistema de pavimento para extender la vida útil de un pavimento existente y / o mejorar su capacidad de carga. Los métodos típicos de rehabilitación del pavimento a menudo incluyen la colocación de una capa de asfalto, posiblemente después del fresado en frío de una superficie, o después de agrietar y asentar, o hacer *rubblization* de un pavimento de concreto.

Project-level: Acciones llevadas a cabo en un área pequeña o un unas secciones dentro de una red de pavimento, posiblemente incluyendo inspecciones de deterioros, cálculos de PCI, NDT, o la recolección y evaluación de núcleos (testigos). Un ejemplo de acciones a nivel de proyecto sería investigar las condiciones del pavimento en una sola pista para decidir entre diferentes métodos de rehabilitación o reconstrucción o diseñar métodos de rehabilitación o reconstrucción es.

Right-of-way (ROW) cameras: Cámaras en un vehículo terrestre colocado para tomar imágenes del pavimento y de las características circundantes.

Rigid pavement: Pavimento compuesto de concreto con resistencia suficiente para resistir la deflexión de las cargas y distribuir la carga en áreas relativamente amplias de capas de base o subrasante.

Sample unit o Unidad de muestra: una subdivisión de una sección de pavimento para fines de inspección PCI. Una unidad de muestra para un pavimento de pista, calle de rodaje o plataforma consta de 20 ± 8 losas en pavimentos con superficie de concreto y $5,000 \pm 2,000$ pies cuadrados para pavimentos con superficie de asfalto.

Section: La unidad de gestión más pequeña cuando se considera la aplicación de M&R. Los factores a considerar al dividir una rama en secciones incluyen la estructura del pavimento, el tráfico, el historial de construcción, el ranking del pavimento (o clasificación funcional), el drenaje y los márgenes u hombros, y la condición.

Skid resistance o Resistencia al deslizamiento: la capacidad de la superficie para evitar la pérdida de tracción del neumático. Para tener una buena resistencia al deslizamiento, los pavimentos necesitan una buena macrotextura para proporcionar vías por las que escape el agua y una buena microtextura para proporcionar el grado de agarre necesario para que el neumático rompa la película de agua residual.

Small hub: Un aeropuerto de servicio comercial con entre 0.05 y 0.25 por ciento de los abordajes anuales de pasajeros de EE. UU.

Stopgap: Mantenimiento que se hace como una solución temporal para reparar los deterioros que plantean problemas de seguridad.

Structural capacity: La capacidad de carga de un pavimento que se puede determinar mediante una evaluación en profundidad de las capas y el espesor del material dentro de una estructura de pavimento y / o mediante una evaluación de las deflexiones en la superficie.

Structural condition index (SCI) o Índice de condición estructural: un PCI calculado solo a partir de los deterioros estructurales del procedimiento. El SCI se utiliza en el procedimiento de diseño de rehabilitación de pavimentos de la FAA para caracterizar la condición de un pavimento existente antes de la colocación de una capa de refuerzo.

Pavement friction: La fuerza que resiste el movimiento relativo entre el neumático de un vehículo y la superficie de un pavimento.

Three-dimensional (3D) laser imaging: Un sistema de escáneres láser compatibles con cámaras tradicionales, receptores GPS y DMI utilizados para generar imágenes 3D de la superficie del pavimento que permiten la identificación y el análisis de los deterioros del pavimento.

Trigger: Un nivel de estado del pavimento en el que se necesita mantenimiento, rehabilitación o reconstrucción.

Unmanned aerial system (UAS) or small unmanned aerial system (sUAS) or unmanned aerial vehicle (UAV): Sistema aéreo no tripulado (UAS) o pequeño sistema aéreo no tripulado (sUAS) o vehículo no tripulado (UAV): comúnmente denominados drones, son aeronaves controlados de forma remota sin un piloto humano a bordo. Estos sistemas se pueden equipar con equipos de imágenes como cámaras, LiDAR o imágenes láser 3D para tomar imágenes aéreas detalladas que se pueden analizar para evaluar deterioros.

ANEXO A

Ejemplo de Árbol de Decisión

Decidir qué datos recolectar de condición del pavimento y cómo recolectarlos es un asunto complejo, ya que por una parte está determinado por la necesidad de cumplir con las Regulaciones de la FAA y por otra es algo que se hace en función de las necesidades y prácticas específicas de aeropuertos o agencias. Para ayudar a seleccionar qué métodos de recopilación de datos deben usarse, en el Capítulo 7 se presentaron varios árboles de decisión. Cada árbol de decisión es para una categoría de uso de los datos:

- Datos para cumplir con la FAA,
- Datos para la gerencia del aeropuerto o la agencia,
- Datos para el área de ingeniería u otros departamentos técnicos, y
- Otros usos de los datos.

Un punto de partida para determinar qué métodos de recopilación de datos son apropiados es comenzar considerando cómo se usarán los datos después de haber sido recolectados. Una agencia podría usar el árbol de decisión apropiado para seleccionar los posibles métodos de recolección de datos basada en el uso o usos que se anticipa que se le dará a los datos, y a los otros factores en el árbol de decisión. No todas las ramas de cada árbol de decisión deberán evaluarse si la agencia no está preocupada con ese uso específico de los datos.

Se pueden seguir los siguientes pasos para usar los árboles de decisión:

1. Decida cómo se usarán los datos.
2. Según el uso deseado y las características del aeropuerto, seleccione los posibles métodos de recopilación de datos.
3. Registre las ocurrencias totales para cada método de recopilación de datos.
4. Evalúe los métodos de recopilación de datos disponibles más comunes.
 - a. Determine si los métodos de recopilación de datos más comunes cumplen con todos los usos específicos o si se requerirá una combinación de métodos de recopilación de datos para diferentes tipos de datos.
 - b. Identifique qué otros factores relacionados con la recopilación y el uso de datos deben considerarse para la agencia y su impacto.
 - c. Estime el costo de los métodos de recopilación de datos, incluida la movilización, y el valor de los datos de condición asociados.

Se proporciona un ejemplo para un aeropuerto grande (*large-hub*) donde hay nueve usos potenciales de los datos para el cumplimiento de la FAA, para decisiones de gestión, y para ingeniería u otros departamentos técnicos. La Tabla A-1 presenta los resultados de los pasos 1 y 2. La Tabla A-2 es un resumen de las ocurrencias de cada método de recopilación de datos del paso 3. En este punto, la agencia evaluaría los diversos métodos de recopilación de datos realizando el paso 4.

Con base en los resultados de la Tabla A-2, la agencia examinaría los resultados para cada categoría de tipo de recopilación de datos (por ejemplo, condición del pavimento, condición estructural y características de la superficie). En el ejemplo a continuación, la agencia primero determinaría si se satisfacen las necesidades de su condición de pavimento con una inspección PCI manual con un nivel de confianza inferior al 95 por ciento o una inspección PCI manual con un nivel de confianza del 95 por ciento o superior. Ambos métodos cumplen con los usos de datos deseados.

Si estos métodos de inspección no cumplen con todos los requisitos, sería necesario determinar qué otros métodos podrían complementar la recolección de datos y cómo interactuarían los múltiples métodos de datos de la condición del pavimento. Luego, la agencia identificaría los factores adicionales que serían ventajas o desventajas de los métodos específicos de recopilación de datos, como la forma en que el acceso limitado a una pista afectaría una inspección PCI manual. Por último, si los factores identificados no obstaculizan la efectividad de una inspección PCI manual, deberían calcularse los costos de recopilación de datos para ambas densidades de inspección y debería estimarse el valor de los datos de condición para la agencia. Luego, la agencia puede realizar un análisis de costo-beneficio para seleccionar el método de recolección de datos más efectivo. Del mismo modo, los métodos de recopilación de datos para el estado estructural y las características de la superficie también se examinarían de la misma manera.

Tabla A-1. Uso de árboles de decisión para seleccionar posibles métodos de recolección de datos.

Propósito general del uso de datos	Propósito específico del uso de datos	Tipo de toma de datos	Métodos de recolección de datos
Cumplimiento con la FAA	Reportar datos de fricción en la pista	Características superficiales	Evaluación de datos de fricción con CFME
	Reportar datos de PCN en la pista	Condición estructural	Evaluación con FWD / HWD a nivel de proyecto
			Evaluación con FWD / HWD a nivel de red
	Reportar datos de Condición del Pavimento	Condición del pavimento	Inspección manual de PCI con nivel de confianza inferior al 95%
			Inspección manual de PCI con nivel de confianza igual o superior al 95%
			Inspección manual de PCI con muestreo al 100%
			Inspección manual de PCI con muestreo al 100% y mapeo de deterioros
Evaluación No-PCI de la condición del pavimento con reconocimiento aéreo			
Evaluación No-PCI de la condición del pavimento con imágenes por láser 3D			
Evaluación No-PCI de la condición del pavimento con LiDAR			
Gerencia	Plan Maestro a Largo Plazo de la Agencia o actualización del CIP/Presupuesto	Condición del pavimento	Inspección manual de PCI con nivel de confianza inferior al 95%
			Inspección manual de PCI con nivel de confianza igual o superior al 95%
			Evaluación No-PCI de la condición del pavimento con reconocimiento aéreo
			Evaluación No-PCI de la condición del pavimento con imágenes por láser 3D
	Justificación de Financiación externa	Condición del pavimento	Inspección manual de PCI con nivel de confianza inferior al 95%
			Inspección manual de PCI con nivel de confianza igual o superior al 95%
		Condición estructural	Evaluación con FWD / HWD a nivel de red – opcional
Otro	Reportar PCN a los usuarios	Condición estructural	Evaluación con FWD / HWD a nivel de red
Ingeniería / otros departamentos técnicos	Planificación de Mantenimiento (Identificación de pavimento en la necesidad de reparaciones)	Condición del pavimento	Inspección manual de PCI con nivel de confianza inferior al 95%
			Inspección manual de PCI con nivel de confianza igual o superior al 95%
		Características superficiales	Perfil longitudinal (perfilómetro inercial) - entrada secundaria de datos
			Perfil longitudinal (mira y nivel) - entrada secundaria de datos

Tabla A-1. Uso de árboles de decisión para seleccionar posibles métodos de recolección de datos. (continuación).

Propósito general del uso de datos	Propósito específico del uso de datos	Tipo de toma de datos	Métodos de recolección de datos
Ingeniería / otros departamentos técnicos	APMS (detallado)	Condición del pavimento	Inspección manual de PCI con nivel de confianza inferior al 95%
			Inspección manual de PCI con nivel de confianza igual o superior al 95%
			PCI inspección manual en muestreo 100%
			Inspección manual de PCI con muestreo al 100% y mapeo de deterioros
			Evaluación No-PCI de la condición del pavimento con imágenes por láser 3D
			Evaluación No-PCI de la condición del pavimento con LiDAR
		Condición estructural	Evaluación con FWD / HWD a nivel de proyecto
			Evaluación con FWD / HWD a nivel de red
		Características superficiales	Evaluación de datos de fricción con CFME
	Desarrollo programa CIP	Condición del pavimento	Inspección manual de PCI con nivel de confianza inferior al 95%
			Inspección manual de PCI con nivel de confianza igual o superior al 95%
			PCI inspección manual en muestreo 100%
			Inspección manual de PCI con muestreo al 100% y mapeo de deterioros
			Evaluación No-PCI de la condición del pavimento con reconocimiento aéreo
			Evaluación No-PCI de la condición del pavimento con imágenes por láser 3D
		Condición de la estructura	Evaluación con FWD / HWD a nivel de proyecto
			Evaluación con FWD / HWD a nivel de red
		Características superficiales	Evaluación de datos de fricción con CFME - entrada secundaria de datos
			Medición manual de las ranuras de la pista - entrada secundaria de datos
			Macrotextura (parche arena) - entrada secundaria de datos
			Macrotextura (CT Meter) - entrada secundaria de datos
Perfil longitudinal (perfilómetro inercial) - entrada secundaria de datos			
Perfil longitudinal (mira y nivel) - entrada secundaria de datos			

Tabla A-2. Resumen de Posibles Métodos de Recopilación de Datos.

Tipo de toma de datos	Métodos de recolección de datos	Número de ocurrencias
Condición del pavimento	Inspección manual de PCI con nivel de confianza inferior al 95%	6
	Inspección manual de PCI con nivel de confianza igual o superior al 95%	6
	Evaluación No-PCI de la condición del pavimento con imágenes por láser 3D	4
	Evaluación No-PCI de la condición del pavimento con LiDAR	4
	Evaluación No-PCI de la condición del pavimento con reconocimiento aéreo	3
	PCI inspección manual en muestreo 100%	3
	Inspección manual de PCI con muestreo al 100% y mapeo de deterioros	3
Condición estructural	Evaluación con FWD / HWD a nivel de red	5*
	Evaluación con FWD / HWD a nivel de proyecto	3
Características superficiales	Evaluación de datos de fricción con CFME	2
	Perfil longitudinal (perfilómetro inercial) - entrada secundaria de datos	2
	Perfil longitudinal (mira y nivel) - entrada secundaria de datos	2
	Evaluación de datos de fricción con CFME - entrada secundaria de datos	1
	Macrotextura (CT Meter) - entrada secundaria de datos	1
	Macrotextura (parche arena) - entrada secundaria de datos	1
	Medición manual de las ranuras de la pista - entrada secundaria de datos	1

* 4 ocurrencias primarias +1 de entrada de datos opcional

ANEXO B

Casos de Estudio

El Anexo B se puede encontrar en el sitio web de TRB (www.trb.org) buscando "ACRP Research Report 203."

Abreviaturas y acrónimos utilizados sin definiciones en las publicaciones de TRB:

A4A	Airlines for America
AAAE	American Association of Airport Executives
AASHO	American Association of State Highway Officials
AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials
ACI-NA	Airports Council International-North America
ACRP	Airport Cooperative Research Program
ADA	Americans with Disabilities Act
APTA	American Public Transportation Association
ASCE	American Society of Civil Engineers
ASME	American Society of Mechanical Engineers
ASTM	American Society for Testing and Materials
ATA	American Trucking Associations
CTAA	Community Transportation Association of America
CTBSSP	Commercial Truck and Bus Safety Synthesis Program
DHS	Department of Homeland Security
DOE	Department of Energy
EPA	Environmental Protection Agency
FAA	Federal Aviation Administration
FAST	Fixing America's Surface Transportation Act (2015)
FHWA	Federal Highway Administration
FMCSA	Federal Motor Carrier Safety Administration
FRA	Federal Railroad Administration
FTA	Federal Transit Administration
HMCRP	Hazardous Materials Cooperative Research Program
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
ISTEA	Intermodal Surface Transportation Efficiency Act of 1991
ITE	Institute of Transportation Engineers
MAP-21	Moving Ahead for Progress in the 21st Century Act (2012)
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NASAO	National Association of State Aviation Officials
NCFRP	National Cooperative Freight Research Program
NCHRP	National Cooperative Highway Research Program
NHTSA	National Highway Traffic Safety Administration
NTSB	National Transportation Safety Board
PHMSA	Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration
RITA	Research and Innovative Technology Administration
SAE	Society of Automotive Engineers
SAFETEA-LU	Safe, Accountable, Flexible, Efficient Transportation Equity Act: A Legacy for Users (2005)
TCRP	Transit Cooperative Research Program
TDC	Transit Development Corporation
TEA-21	Transportation Equity Act for the 21st Century (1998)
TRB	Transportation Research Board
TSA	Transportation Security Administration
U.S. DOT	United States Department of Transportation