

*Universidad de Matanzas Sede “Camilo Cienfuegos”
Facultad de Ciencias Técnicas
Departamento de Construcciones*



Trabajo de Diploma en opción al título de Ingeniero Civil

Título: Propuesta de mantenimiento de la pista principal del Aeropuerto Internacional “Juan Gualberto Gómez” de Matanzas

Autor: Abel Trujillo Fernández

Tutor(es): M. Sc. Ing. Manuel Pedroso Martínez

Ing. Evelio Carrasco Santos

Matanzas, 2020

PENSAMIENTO

“El único autógrafo digno de un hombre es el que deja escrito con sus obras”



DECLARACIÓN DE AUTORIDAD

Por medio de la presente declaro que yo, **Abel Trujillo Fernández** soy el único autor de este trabajo de diploma y, en calidad de tal, autorizo a la Universidad de Matanzas a darle el uso que estime más conveniente.

NOTA DE ACEPTACIÓN

Miembros del Tribunal:

Presidente

Secretario

Vocal

DEDICATORIA

A mis padres, por creer en mí sin importar qué tan difícil fuera el camino al éxito, por su apoyo incondicional, por su amor sincero y desinteresado, y por hacerme creer que ningún sueño es demasiado grande y ningún logro demasiado pequeño.

AGRADECIMIENTOS

A mi familia, primeramente a mis padres, por su apoyo tanto en la realización de este trabajo como durante esa gran aventura que fue la universidad.

A mi novia Katia por su paciencia ilimitada, por ser el cimiento principal que me sostuvo en mi vida universitaria y por hacer de mi mundo un lugar más hermoso.

A mis tutores Evelio Carrasco y Manuel Pedroso por dedicar incontables horas de su valioso tiempo a esta investigación, estando disponibles para cada tema, para cada duda, sin peros ni excusas.

A todos mis amigos por estar ahí en los buenos y en los malos momentos, fundamentalmente a mis compañeros de beca, por animarme siempre para que nada ni nadie pueda borrar mi sonrisa.

A los trabajadores del Aeropuerto Internacional “Juan Gualberto Gómez” por brindarme su ayuda cuando la necesité y por su amabilidad en todo momento.

A todos mis profesores de la carrera Ingeniería Civil, quienes de una forma u otra contribuyeron a mi formación como profesional, brindándome los conocimientos necesarios para realizar este trabajo.

RESUMEN

La investigación realizada, estuvo enfocada en la solución de un problema de gran importancia y actualidad; la elaboración de una propuesta de mantenimiento para la pista principal del Aeropuerto Internacional “Juan Gualberto Gómez”, con el objetivo de lograr su integridad y óptimo nivel de servicio, utilizándose el método estándar para la obtención del “Índice de Condición de Pavimentos” (Pavement Condition Index, PCI). Como resultado de su aplicación se logró establecer el nivel de detalle necesario sobre cada porción de la superficie inspeccionada e identificar los deterioros individuales, todos los cuales fueron caracterizados como de baja severidad; tanto para pavimentos de hormigón asfáltico como hidráulico, sobre la base de esos resultados se elaboraron y formularon las acciones de mantenimiento preventivo correspondientes en las zonas requeridas, las cuales constituyen una descripción exacta de las labores a ejecutar. Como aportes principales de esta investigación se destaca, haber realizado un diagnóstico exacto y confiable de los pavimentos con la utilización de un mínimo de recursos humanos, materiales y financieros; así como que a partir de este momento la administración del aeropuerto cuenta con una programación de mantenimiento para la adecuada conservación de los pavimentos. El informe contiene la caracterización del aeropuerto y su pista; así como fotos, tablas y gráficos, algunos de los cuales muestran los resultados del diagnóstico aplicado.

Palabras claves: deterioros; diagnóstico; mantenimiento; pista; pavimento; preventivo; superficie.

ABSTRACT

The research carried out was focused on solving a problem of great importance and topicality; the elaboration of a maintenance proposal for the main runway of the “Juan Gualberto Gómez” International Airport, with the aim of achieving its integrity and optimum level of service, using the standard method to obtain the “Pavement Condition Index” (PCI). As a result of its application, it was possible to establish the necessary level of detail on each portion of the inspected surface and to identify the individual deteriorations, all of which were characterized as of low severity; Both for asphalt and hydraulic concrete pavements, based on these results, the corresponding preventive maintenance actions were developed and formulated in the required areas, which constitute an exact description of the tasks to be performed. The main contributions of this research include having carried out an accurate and reliable diagnosis of the pavements with the use of a minimum of human, material and financial resources; as well as from this moment the airport administration has a maintenance schedule for the proper conservation of the pavements. The report contains the characterization of the airport and its runway; as well as photos, tables and graphs, some of which show the results of the applied diagnosis.

Key words: diagnosis; impairments; maintenance; pavement; preventive; runway; surface.

TABLA DE CONTENIDO

Introducción	1
Capítulo 1 Base teórico conceptual para la conservación de pavimentos	7
1.1 Conservación de aeródromos	8
1.2 Tipos de pavimentos	9
1.2.1 Sistema de Gestión de Pavimentos	14
1.3 Caracterización de los tipos de fallas en los pavimentos	17
1.4 El tránsito aéreo	19
1.5 Principales defectos en los pavimentos.....	21
1.5.1 Características de las actividades de reparación de los pavimentos	23
1.6 Métodos para la evaluación de los pavimentos en los aeropuertos	26
1.7 Medidas de seguridad dictaminadas por la OACI	27
1.8 Características generales del aeropuerto "Juan Gualberto Gómez"	30
Capítulo 2 Propuesta de mantenimiento de la pista principal del aeropuerto.....	33
2.1 Características de la pista principal.....	33
2.2 Descripción del procedimiento para la determinación del PCI	34
2.2.1 Significado y uso	34
2.3 Equipos o herramientas a utilizar.....	36
2.4 Resumen del proceso a seguir para la aplicación del método.....	37
2.4.1 Procedimiento para la inspección	41
2.4.2 Informe	42
2.5 Cálculo del PCI.....	43
2.6 Inspecciones para la determinación del estado de la superficie.....	44
2.6.1 Descripción de las hojas de inspección.....	45
2.7 Determinación del PCI. Pavimento de hormigón asfáltico	46
2.7.1 Resumen de los deterioros detectados (HA).....	46
2.8 Determinación del PCI. Pavimento de hormigón hidráulico	47
2.8.1 Resumen de deterioros detectados (HH).....	47
2.9. Características de los deterioros identificados.....	49
2.9.1 Exudación	49
2.9.2 Fisuras de bloques.....	50
2.9.3 Ondulación.....	51
2.9.4 Depresiones.....	51
2.9.5 Erosión por chorro de turbina	52
2.9.6 Fisuras longitudinales y transversales.....	52
2.9.7 Bacheos.....	53
2.9.8 Agregados pulidos	53
2.9.9 Fisuras por reflexión de juntas.....	54
2.9.10 Peladura y efecto de la intemperie	55
2.9.11 Rotura de esquina.....	56
2.9.12 Fisura de durabilidad "D"	56
2.9.13 Pérdidas repentinas	57
2.9.14 Desprendimiento superficial, mapa de fisuras, fisuras erráticas.....	57
2.9.15 Losa cuarteada (fragmentada)	58
2.10 Fundamentación de la propuesta de mantenimiento.....	59

2.11 Propuesta de mantenimiento para cada deterioro	61
2.11.1 Pavimento de hormigón asfáltico.....	61
2.11.2 Pavimento de hormigón hidráulico.....	63
2.12 Valoración de la investigación.....	66
Conclusiones.....	68
Recomendaciones	69
Bibliografía	
Anexos	

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la tecnología y el constante incremento del transporte aéreo a escala mundial ha conducido al diseño de aeronaves de gran fuselaje, mucho más grandes y pesadas; dotadas de superior capacidad y autonomía que los modelos anteriores, lo cual ha determinado la necesidad de introducir transformaciones en la gestión, diseño y el mantenimiento de las infraestructuras aeroportuarias. (Martin, (2016)).

En el marco de esas transformaciones los aeropuertos han tenido que ampliar sus terminales y accesos, pero fundamentalmente, incrementar el campo de vuelo, o sea; las dimensiones de sus pistas, calles de rodaje y plataformas de estacionamiento; por ser el área donde ruedan, aterrizan y estacionan continuamente las aeronaves, esa razón hace que la Organización de la Aviación Civil Internacional (OACI) conceda tanta relevancia al mantenimiento preventivo de las pistas, porque de no realizarse correcta y oportunamente suelen presentarse costes adicionales al de las propias reparaciones.(Informe de Tráfico Aéreo Mundial ACI 2014).

Federal Aviation Administration (2013), reconoce que las acciones de mantenimiento de los pavimentos resulta con frecuencia complicado, porque casi siempre es necesario detener las operaciones, lo que implica un costo económico importante para los aeropuertos y para el país; además de los gastos de la reparación misma, y para los usuarios la privación de los servicios de la instalación, y resalta que por esas razones se hace tanto énfasis en la calidad óptima de los proyectos de construcción y conservación de aeródromos, para que puedan prestar un servicio continuo y eficiente con el mínimo de interrupciones posibles. En esa perspectiva fue realizada la presente investigación, cuyo hilo conductor está centrado en el sistema de mantenimiento de pavimentos de la pista principal del Aeropuerto Internacional “Juan Gualberto Gómez” de la Aviación Civil de Cuba.

Este enclave aeroportuario, está situada en las proximidades de Varadero, una de las playas más famosas del mundo, y principal polo turístico de Cuba, que por la gran afluencia de excursionistas extranjeros que lo visitan anualmente se ha convertido en uno de los destinos turísticos más apreciados a nivel internacional, y desde el punto de vista

económico en la fuente fundamental de recaudación de divisas de los de su tipo en el país.

Por las razones antes expuestas, la intensidad del tráfico aéreo a que esa instalación se encuentra sometida durante las 24 horas del día por aeronaves; en la mayoría de los casos de gran peso y tamaño hace que sus pavimentos se deterioren con mayor rapidez, por lo que se pudiera suponer que su pista principal no presenta las condiciones óptimas para su explotación en la actualidad, razón por la cual se requiere aplicar un proceso de evaluación atendiendo a los períodos y parámetros establecidos; además de lo anterior se debe tener en cuenta que en el aeropuerto no se dispone de un protocolo oficial para el estudio y mantenimiento sistemático de los deterioros, en ese contexto puede ser reconocido un importante **problema científico**; ¿cómo elaborar una propuesta de mantenimiento de la pista principal del Aeropuerto Internacional “Juan Gualberto Gómez”?

Para la elaboración de una propuesta de mantenimiento de la pista se requiere el diagnóstico de su estado actual, resultando apropiado que se utilice el método Índice de Condición de Pavimentos (PCI), por su fácil aplicación y la baja utilización de recursos materiales y financieros que se necesitan.

I. Hipótesis.

Con el empleo del “Índice de Condición de Pavimentos” en el Aeropuerto Internacional “Juan Gualberto Gómez,” es posible elaborar una propuesta de mantenimiento para la óptima explotación de sus pavimentos.

II. Objeto de estudio: el proceso de evaluación de la superficie de pavimentos de aeropuertos.

III. Campo de acción: el mantenimiento de pistas de aeropuertos.

IV. Variables

Variable independiente:

- Estado actual de la superficie de pavimento de la pista principal del Aeropuerto Internacional “Juan Gualberto Gómez”

Variable dependiente:

- Trabajos de mantenimiento para cada deterioro analizado
- Impacto de dichos trabajos en la circulación diaria de aeronaves debido a la necesidad de detener las actividades de despegue y aterrizaje en el área de la pista a reparar

En correspondencia con el problema formulado se plantea el siguiente **objetivo general:** elaborar una propuesta de mantenimiento de la pista principal del aeropuerto internacional “Juan Gualberto Gómez” en términos de su integridad y nivel de servicio utilizando el método estándar para la obtención del “Índice de Condición de Pavimentos” (Pavement Condition Index, PCI).

Su alcance presupone el cumplimiento de los siguientes **objetivos específicos:**

1. Analizar el estado del arte. Base teórico conceptual para la conservación de pavimentos en aeropuertos.
2. Diagnosticar el estado actual del pavimento de la pista principal del aeropuerto Internacional “Juan Gualberto Gómez” mediante el Índice de Condición de Pavimentos.
3. Elaborar la propuesta de mantenimiento del pavimento de la pista principal del Aeropuerto Internacional Juan Gualberto Gómez sobre la base de los resultados del PCI.

I. **Tareas de investigación.**

1. Valoración de las evaluaciones previas realizadas por otros autores.
2. Caracterización del estado actual del pavimento de la pista principal.
3. Elaboración de una propuesta de mantenimiento a realizar en dependencia de los deterioros detectados.

II. **Valores**

Científico – técnico

Los resultados de la investigación realizada evidencian nuevas manifestaciones de deterioro de pavimentos que constituyen un precedente para continuar profundizando en el tema durante investigaciones futuras, y en esa misma medida favorecer la innovación técnica para el fortalecimiento del mantenimiento de los pavimentos en aeropuertos.

Práctico

La aplicación del método Índice de Condición de Pavimentos (“Pavement Condition Index”, PCI.) posibilitará establecer una estrategia para el mantenimiento del pavimento de la pista principal para el mejoramiento de la circulación de las aeronaves en el Aeropuerto Internacional “Juan Gualberto Gómez,” y su introducción permite además la aplicación de habilidades técnicas en la vida capital del aeropuerto en su etapa de crecimiento y continuo posicionamiento del mercado.

Económico

Se reducen los costos de mantenimiento de los pavimentos a largo y corto plazo, se cuenta con una programación exacta para la planificación de las obras de mantenimiento, mientras el efecto de la calidad técnica del aeropuerto en la seguridad operacional de los vuelos y pasajeros atraerá más ingresos económicos, por otra parte el proyecto integrado que exige la aplicación de este método es factible y de bajos costos de acuerdo a las inversiones que tiene que realizar el país.

III. Métodos científicos:

Métodos teóricos:

- Análisis-síntesis: se utilizó durante el proceso de revisión bibliográfica, sintetizando datos de interés para el cumplimiento de los objetivos y estableciendo a la par una relación directa entre las diferentes temáticas.

- Histórico-lógico: como resultado de la revisión bibliográfica se aprecia la evolución y antecedentes del problema y los estudios patológicos en aeropuertos nacionales e internacionales
- Inducción-deducción: Se tomó como referencia los datos de investigaciones basadas en la detección de deterioros en pavimentos, permite arribar a conclusiones sobre las afectaciones más comunes que se pueden identificar para simplificar el proceso de diagnóstico de las posibles causas de las mismas

Métodos empíricos:

- Observación: para la identificación de los deterioros presentes en el pavimento de la pista principal se realiza previamente una inspección visual en la cual se perciben los tramos más afectados. La misma se ejecuta por personal especializado en el tema
- Entrevista: se utilizó durante los intercambios con especialistas para profundizar en las causas de las diferentes fallas identificadas
- Medición: se empleó para establecer un perímetro alrededor de las zonas afectadas del aeródromo por razones de seguridad y para ello fue necesario utilizar una medición del área a evaluar

Estructura de la tesis:

Introducción.

Capítulo I. Aparece la Base teórico conceptual para la conservación de pavimentos en aeropuertos, para lo cual se analiza la: conservación de aeródromos. Tipos de pavimentos. Sistema de gestión de pavimentos. Funciones del especialista de aeródromos. Caracterización de tipos de fallas de los pavimentos. Tránsito aéreo. Principales defectos en los pavimentos. Características de las actividades de reparación. Métodos para la evaluación de pavimentos; con especial énfasis en el Índice de

Condición de Pavimentos (PCI). Medidas de seguridad recomendadas por la OACI. Por último se describe el Aeropuerto Internacional “Juan Gualberto Gómez”.

Capítulo II. En este capítulo aparece la descripción del PCI como procedimiento fundamental de la investigación, así como el **diagnóstico** actual de la superficie de pavimentos de la pista principal, donde se analizan sus características, los requerimientos del sistema de inspecciones para la determinación del estado de la superficie en general. Aparecen además las hojas de trabajo para la identificación de los deterioros mediante la inspección que detallan los diferentes deterioros como resultado del procedimiento aplicado:

- Determinación del PCI. Pavimento de hormigón hidráulico. Resumen de fallas.
- Determinación del PCI. Pavimento de hormigón asfáltico. Resumen de fallas.

Condición de Pavimentos (PCI).

Por último aparece la propuesta de mantenimiento que contiene las labores de mantenimiento para cada deterioro analizado. Pavimento de hormigón asfáltico. Pavimento de hormigón hidráulico. Valoración de la investigación. Finalmente se plantean:

Conclusiones

Recomendaciones

Bibliografía

Anexos

CAPÍTULO 1 BASE TEÓRICO CONCEPTUAL PARA LA CONSERVACIÓN DE AERÓDROMOS

La finalidad principal de los pavimentos tanto en carreteras como en aeropuertos, es la de distribuir adecuadamente las cargas concentradas, de tal manera que la capacidad soporte de las capas de apoyo no se exceda, así como la de proveer una buena calidad de rodaje y seguridad operacional a las aeronaves que transitan sobre ellos bajo cualquier condición meteorológica.

En cada aeropuerto se establecen programas de mantenimiento a corto, mediano, y largo plazo, condicionados por una evaluación anual del estado de su superficie en aeropuertos internacionales y con periodicidad bienal en el resto, las cuales persiguen tres objetivos fundamentales:

- Prever con precisión cuándo son necesarios los trabajos de mantenimiento o rehabilitación
- Valorar las características residuales de los pavimentos para definir alternativas técnicas y económicas de mantenimiento, reparación o diseño de posibles refuerzos
- Definir el volumen aceptable del tráfico

Los objetivos anteriores son asumidos en la investigación realizada a través del método Índice de Condición de Pavimentos (PCI); por la facilidad de su empleo, el nivel de detalle que permite y la inversión de bajos recursos para su ejecución; cuyos fundamentos se analizarán en este capítulo, junto a otros planteamientos que constituyen la base teórico conceptual para la conservación de los aeródromos. Al final del capítulo se hace la caracterización general del aeropuerto “Juan Gualberto Gómez” acompañada de imágenes, para facilitar la comprensión del problema.

1.1 Conservación de los aeródromos

Según la literatura universal, un aeródromo, es el área definida de tierra o de agua (que incluye todas sus edificaciones, instalaciones y equipos) destinada total o parcialmente a la llegada, salida y movimiento en superficie de aeronaves.

La conservación de los aeródromos ha sido concebida para garantizar la confiabilidad y efectividad de la infraestructura dedicada a la aviación civil, lo cual favorece que las instalaciones conserven una vida útil compatible con lo planificado, aspectos de gran importancia para la seguridad, eficiencia, regularidad y economía de las operaciones aéreas.

El pavimento de un aeródromo está constantemente sometido a la acción de múltiples factores que inciden en su comportamiento, entre ellos están los estructurales, los de causas naturales y los provocados por el hombre. Entre los estructurales se encuentran, fallos por flexión en la losa de hormigón, fatiga producto de las cargas del tráfico, movimiento diferencial de las capas subyacentes y otros.

En la acción de los agentes naturales sobresalen los provocados por la dilatación térmica y el desgaste superficial, mientras en los provocados por el hombre se señalan deficiencias en el drenaje, en la ejecución, el no actuar en el momento adecuado al aparecer un fallo en el pavimento y el uso erróneo de los materiales de construcción.

En la Guía para el Mantenimiento de Pistas (2013), se plantea que estas son infraestructuras clave que requieren que sus superficies se mantengan en condiciones óptimas con el fin de mantener las operaciones de aeronaves continuas y seguras durante el aterrizaje y despegue.

Tal afirmación implica, que en la superficie no existan irregularidades ni desprendimientos de materiales que puedan representar un peligro para el tránsito aéreo, condición que supone mantener una vigilancia continua sobre el estado superficial de los pavimentos para su mantenimiento preventivo (conservación), cuyo aporte representa un menor costo de construcción, menores afectaciones al tráfico diario del aeropuerto y

niveles superiores de seguridad, para lo cual, las labores preventivas que se emprendan deben estar en correspondencia con el tipo de pavimento de que se trate.

1.2 Tipos de pavimentos

Para Miranda Rebolledo (2010) “los pavimentos son estructuras compuestas por un conjunto de capas superpuestas de materiales adecuadamente compactados. Su función es proporcionar una superficie de rodadura cómoda y segura”.

Tanto Miranda como otros autores, se han referido a los diferentes tipos de pavimentos, entre ellos Pérez y Edmundo, Albarracín y Pérez (2011), García Zaldívar (2014) y Gil Barceló (2016), aspecto esencial para efectuar el proceso de diseño y construcción de un aeródromo, empresa imposible si se ignoran las clasificaciones más reconocidas en el mundo, tales como:

- Pavimentos flexibles: el sistema multicapa en este tipo de pavimento está constituido normalmente por una superficie, construida con agregados pétreos aglutinados con un producto asfáltico, una base y una sub-base. Las capas subyacentes a la superficie se constituyen empleando agregados pétreos, debidamente procesados, de calidad adecuada y densificados por medios mecánicos (compactación); en muchos proyectos conviene emplear en estas capas aditivos o cementantes (cal, cemento Portland o asfalto), para mejorar sus características
- Pavimentos rígidos: la estructuración de estos pavimentos se logra mediante la construcción de losas de hormigón de cemento Portland, fabricadas in situ, apoyadas sobre una sub-base; en este caso las losas son, al mismo tiempo, los elementos resistentes y la superficie de rodamiento. La sub-base constituye propiamente una capa de transición entre la rigidez de las losas y la de las terracerías, funcionando como capa drenaje que controla el fenómeno de bombeo y la contracción o expansión de las terracerías, proporcionando también mayor facilidad constructiva. Este tipo de pavimento debe construirse de hormigón simple o reforzado, existiendo también, en muy contados casos, pavimentos de hormigón pretensado

- Pavimentos mixtos: son aquellos en los cuales, sobre la capa de hormigón de cemento Portland, se extiende otra de material bituminoso que actúa de capa de rodaje

Según Torres Vila (1999), la elección de un pavimento depende, de las condiciones del terreno natural, de la economía en la construcción y de las cargas a que será sometido, la tendencia actual en los aeropuertos recomienda la utilización de pavimento rígido en las áreas de hangares y de estacionamiento (donde se efectúan servicios de reabastecimiento de combustibles y mantenimiento de aeronaves), por la mejor resistencia química del hormigón a los combustibles, aceites y lubricantes, mientras en las calles de rodaje y pistas, la preferencia por el pavimento flexible prevalece sobre el pavimento rígido y semirrígido (mixto).

Para Loizos, A., & Charonitis (2000), los pavimentos flexibles al tener menos rigidez se deforman más que los pavimentos rígidos y se producen mayores tensiones en la subrasante. (**Fig. 1.1**).

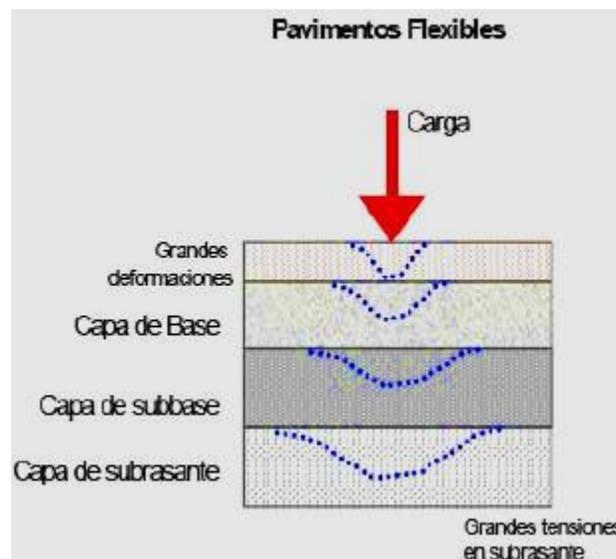


Figura 1.1 Tensiones producidas en pavimentos flexibles

Como puede ser apreciado la estructura de un pavimento flexible consta generalmente de cuatro capas:

- Superficie. (capa de rodadura, capa intermedia)
- Capa de base
- Capa de subbase
- Capa de subrasante

Superficie: esta capa se coloca sobre la base, cuyo objetivo principal es proteger la estructura del pavimento impermeabilizando la superficie para evitar las filtraciones de agua de lluvia que podrían saturar las capas inferiores, evitando que afecte directamente a las otras capas del pavimento. Contribuyendo además a su capacidad de soporte con la absorción de cargas, considerando un espesor mayor de 4 centímetros. Debe ser resistente a las presiones verticales y horizontales impuestas por la acción directa de los neumáticos, resistente a la abrasión, así como soportar sin degradarse, la acción directa y destructiva de los agentes atmosféricos. La superficie resulta la capa más costosa de los pavimentos flexibles.

Capa base: su función principal, es proporcionar un elemento resistente que pueda transmitir los esfuerzos producidos por el tránsito, hacia la subbase y la subrasante, con una intensidad adecuada, reduciendo así el espesor de la carpeta de rodado, el material que la conforma debe ser friccionante y provisto de vacíos, para garantizar la resistencia y permanencia en el tiempo bajo condiciones externas, su espesor mínimo debe ser entre 10 y 15 cm.

Capa de subbase: está constituida por material granular seleccionado de baja plasticidad y resistencia a la humedad, juega un rol meramente económico en los pavimentos flexibles, buscando obtener el espesor necesario utilizando el material más barato posible, lo que trae un aumento en el espesor total del pavimento. Además favorece la transición entre la base y la subrasante; sirviendo como un tipo de filtro para evitar que el material de la base se incruste en la subrasante, a su vez apoya en la absorción de las deformaciones que provienen de la subrasante.

Capa de subrasante: debe ser capaz de resistir los esfuerzos que le son transmitidos por el pavimento, cuya estabilidad estructural solo puede lograrse cuando se alcanzan los niveles de compactación exigidos, y el mantenimiento de esta estabilidad solo es posible

al prever en el proyecto la ejecución de las obras de drenaje que garanticen la uniformidad de las condiciones de humedad de la explanación a lo largo del tiempo.

Estos propios autores sostienen que en los pavimentos rígidos (**fig. 1.2**), debido a la consistencia de la superficie de rodadura, se produce una buena distribución de las cargas, dando como resultado tensiones muy bajas en la subrasante.



Figura 1.2 Tensiones producidas en pavimentos rígidos

Loizos, A., & Charonitis (2004), con independencia de la existencia de diferentes tipos de pavimentos rígidos reconocen que su estructura está compuesta normalmente por tres capas:

- Losa de hormigón hidráulico
- Capa de subbase
- Capa de subrasante

Losa de hormigón hidráulico: sus funciones fundamentales radican en proveer un valor de soporte elevado, para que resista las cargas concentradas que provienen de las ruedas, entregar una textura superficial poco resbaladiza para un mejor agarre de los vehículos, prevenir a la superficie de la penetración de agua, proporcionar a la capa de rodadura una gran resistencia al desgaste y una buena visibilidad para una mayor seguridad. Su espesor

depende del tipo de aeronave de diseño y la categoría del aeropuerto, pueden variar desde 250-400 mm.

Capa de subbase: esta capa básicamente se requiere por la existencia de la subrasante, dentro de las principales funciones se destacan, la eliminación de la acción de bombeo y proporcionar más uniformidad a la losa de concreto.

La elección del tipo de pavimentos a utilizar para cada una de las áreas en la construcción de aeropuertos resulta fundamental, razón por la cual, a juicio del autor de esta investigación, no debe ser ignorado a los efectos de una propuesta de mantenimiento, en virtud de lo cual es válido reiterar su utilización en correspondencia con sus propiedades y funciones.

En resumen, los pavimentos rígidos se utilizan en las plataformas y cabezas de pista de aeropuertos donde circulan aeronaves de reacción y turbohélices. Esto se debe a la cantidad de combustible que se derrama y al efecto producido por las cargas estáticas y de gran peso, afectadas además por el efecto de la vibración que se produce en las cabezas de las pistas durante el proceso de llevar los motores de la aeronave a pleno régimen de trabajo con ella detenida. Mientras, los pavimentos flexibles trabajan mejor en áreas donde las aeronaves se desplazan rápidamente, como son la porción central de las pistas de aterrizaje y de despegue, calles de rodaje, de salida, etc.

Resulta oportuno además, para la construcción de pistas aéreas y las acciones de mantenimiento de sus áreas, presentar un análisis comparativo resumido entre ambos tipos de pavimentos, atendiendo a otros indicadores (**Tabla 1.1.**).

Características por tipo de pavimento		
Descripción	Rígidos	Flexibles
Costo inicial	Elevados	Menos costosos
Vida útil	20 a 25 años	10 a 15 años
Costos de restauración		

(cuando son debidamente operados)	Menores	Mayores
Elemento estructural principal	Losas de hormigón	Varias capas de base
Capas subyacentes revestimiento (composición)	Se puede emplear materiales de bajo costo	Se emplean materiales seleccionados.

Tabla 1.1 Elaboración propia.

El análisis comparativo presentado, pudiera favorecer la comprensión de la importancia del criterio de selección del tipo de pavimento en la construcción de aeródromos atendiendo a las características de cada área, y refuerza la reconocida idoneidad del pavimento flexible para las áreas de rodamiento, porque contribuye entre otros atributos a la prolongación de su vida útil, siempre que su utilización esté asociada a la aplicación de un adecuado sistema de gestión.

1.2.1 Sistema de Gestión de Pavimentos (SGP)

Para Timm, D. & McQueen, J (2004); Kohler, E. (2011); Thenoux Z., G. & Gaete P, R. (2012), los estudios sobre la condición de pavimentos resultan de importancia vital en la gestión de una red de pavimentos, según ellos, proporcionan información para analizar el estado del pavimento, elemento imprescindible para la anticipación de las necesidades futuras que tendrá el firme, y además contribuye a establecer prioridades sobre la distribución del fondo de que se dispone.

Otras fuentes consultadas sobre los métodos de evaluación de la condición del pavimento y reparación de pistas, incluyendo el Anexo 14 de la OACI, Manual OACI Doc. 9137-AN/898. Parte 9 y FAA Advisory Circular 150/5380-6B, coinciden con las ideas expresadas con anterioridad y reconocen la necesidad de la implementación por parte de los aeropuertos de un Programa de Gestión de Pavimento, no sólo para evaluar su condición actual, sino también para predecir su condición en el futuro a través del uso de la información histórica y los indicadores de estado del pavimento (PCI). Según sus autores esos Programas de Gestión de Pavimentos o PMP ayudan a identificar los puntos óptimos de rehabilitación,

haciendo uso de los datos obtenidos de los estudios de las condiciones del pavimento y la predicción de las condiciones futuras, que indica si la falla es una carga del entorno o está relacionada con el tráfico.

En ese sentido en el mencionado documento; Manual OACI Doc. 9137-AN/898 Parte 9, se recomienda como una de las buenas prácticas reconocidas en el mundo para el mantenimiento de aeropuertos, la capacitación de su personal para crear el Programa de Gestión o contratar servicios de consultoría de expertos para cumplir con la tarea, sosteniendo que generará un ahorro a largo plazo como consecuencia de las medidas preventivas.

Las ideas fundamentales analizadas sobre el tema, son reconocidas por Applied Pavement Technology (2013), donde se expresa que los tres objetivos fundamentales del Sistema de Gestión de Pavimentos (Pavement Management System), son los siguientes:

1. Conocer el estado actual del pavimento.
2. Predecir el futuro estado del pavimento.
3. Priorizar la actuación sobre los pavimentos con vista al futuro con el fin de optimizar el uso de los recursos disponibles.

Desde entonces todo el movimiento que se produce en la búsqueda de métodos de gestión aeroportuaria de pavimentos conduce al llamado Airport Management Pavement System.

En ese sistema el especialista en aeródromos debe auxiliarse de un SGP, para lo cual es necesario contar con una base de datos que contenga toda la información existente en cuatro etapas fundamentales:

1. Datos históricos.
2. Evaluación funcional.
3. Evaluación estructural.
4. Evaluación de la condición de los pavimentos.

A continuación se caracterizan brevemente las etapas mencionadas, y se aclara que aunque aparece incluida la evaluación de condición de pavimento, este aspecto se retoma más adelante en el epígrafe correspondiente a los métodos, porque precisamente

constituye el centro de la investigación realizada para la elaboración de la propuesta de mantenimiento en el Aeropuerto Internacional “Juan Gualberto Gómez”.

- **Datos históricos**

En esta área se recupera toda la información con respecto a los antecedentes de las pistas y a los elementos principales de su fase de construcción, como materiales empleados, geometría, datos climáticos, mantenimientos realizados, antecedentes del tráfico, tipos de aeronaves, número de movimientos, etc.; todos los cuales resultan imprescindibles para proceder a la aplicación de las evaluaciones correspondientes.

- **Evaluación funcional**

En esta etapa se realizan investigaciones de macro y microtextura, potencial de acuaplaneo, y regularidades de los aspectos estructurales destructivos e involucra la apertura de pozos para sondeo en los pavimentos y coeficientes de rozamiento.

- **Evaluación estructural**

La evaluación de la capacidad estructural de los pavimentos puede clasificarse como destructiva y no destructiva, dependiendo de la perturbación física inducida en las capas del pavimento.

Generalmente, la evaluación destructiva involucra la apertura de pozos para sondeo en los pavimentos, mientras que la no destructiva emplea la evaluación de la deflexión y curvatura en la superficie del pavimento, utilizando equipos más avanzados como la Viga Benkelman y/o el Deflectómetro de Peso (Falling Weight Deflectometer).

- **Evaluación de la condición de los pavimentos**

Se establece un criterio de la condición superficial del pavimento del aeródromo mediante un análisis independiente de cada uno de los deterioros presentes en la misma. Para ello se utilizará el método Índice de Condición de Pavimentos.

Como parte del Sistema de Gestión de Pavimentos en los aeropuertos, estas etapas son esenciales, de lo contrario imposibilitaría la notificación a los usuarios del estado de las pistas y consecuentemente restaría calidad al servicio, conspirando contra la seguridad aérea.

Esa seguridad se garantiza si en el seguimiento y control del estado de las pistas se parte del principio de que en su superficie no pueden existir irregularidades, ni desprendimiento de material que pueda representar un peligro para el tránsito de las aeronaves, de cuya vigilancia constante depende la identificación y caracterización de las fallas que puedan presentar.

1.3 Caracterización de los tipos de fallas en los pavimentos

Los pavimentos son concebidos como un sistema estructural en el que intervienen muchas variables y cuya respuesta final a la acción de tales variables consiste en la falla del propio sistema; no obstante, ha resultado difícil procesar el momento de falla de un pavimento dado; teniendo en cuenta que puede ser materia de opinión de acuerdo al tipo, extensión y severidad de los daños que exhiba el pavimento o a la exigencia del observador mismo.

En realidad los daños se van generando a lo largo de la vida útil de un pavimento, no son “avisos” que la estructura puede fallar si no se les atiende, manifestándose en los aeródromos principalmente dos tipos o modos de fallas, según la clasificación reconocida; tema abordado por Martínez (2014), en el Informe sobre Tráfico Aéreo Mundial del Consejo Internacional de Aeropuertos en ese propio año y por Gil Barceló (2016):

- Falla estructural

Este tipo de falla implica el colapso de la estructura por la acumulación de deformaciones permanentes excesivas (falla plástica) o por deformaciones elásticas intolerables, en el caso de los pavimentos asfálticos, o bien por la rotura de una o más capas que componen al pavimento rígido, de tal manera que la estructura es incapaz de seguir soportando las cargas impuestas por el tránsito de las aeronaves.

- Falla funcional

El segundo modo que tienen los pavimentos de fallar es el de tipo funcional, que puede o no ir acompañado de falla estructural. La falla funcional consiste esencialmente en la incapacidad del pavimento de seguir cumpliendo con las funciones para las que fue proyectado; involucra los aspectos de seguridad y de comodidad que la superficie de rodamiento debe proporcionar a las aeronaves en operación.

Una superficie de rodamiento con un bajo coeficiente de fricción o con áreas susceptibles de encharcarse, provoca con facilidad el fenómeno de acuaplaneo, que puede resultar muy insegura en su operación y presentar una falla funcional seria.

Irregularidades severas en la misma superficie pueden causar inconvenientes en las aeronaves o determinar decisiones inseguras por parte de los pilotos, en las operaciones de despegue.

La falla funcional en los aeródromos se presenta normalmente antes que las fallas de tipo estructural, debido a que las deformaciones permanentes pequeñas originan irregularidades e inconvenientes para la operación de las aeronaves, sin que por ello se rebase la resistencia a la tensión superficial o al esfuerzo constante de las capas inferiores.

Otra manifestación de la falla funcional en los aeródromos es el desprendimiento de partículas sólidas de la superficie; cuando este fenómeno se generaliza, se acentúa la probabilidad de accidentes por los daños que pueden producir tales partículas en las propelas o turbinas de las aeronaves.

Los criterios de falla funcional para aeropistas son los siguientes:

Coeficiente de fricción, medido con el aparato comercial “Mu Meter”, en condiciones de superficie mojada y velocidad de 75 km/h: 0.30 máximo.

Índice de Perfil, determinado con el perfilógrafo tipo California, en tramos de 160 m: 30 máximo.

Para muchos autores, entre ellos Martínez R. (2014), coincidiendo con el Informe (ACI 2014), las fallas más significativas están relacionadas con la geometría de los aeropuertos, al sostener que los deterioros más severos de una aeropista ocurren en aquellos sitios donde las aeronaves transitan a bajas velocidades o donde se estacionan, razón por la cual resulta necesario conocer la geometría del aeródromo, previamente al diseño de las estructuras que han de soportar el rodamiento de las aeronaves.

En contraste con las carreteras, el mayor número de repeticiones de carga se produce al centro de las áreas pavimentadas de los aeródromos, por otra parte, los efectos de la canalización del tránsito son más evidentes en las calles de rodaje que en el tramo central de la aeropista, estos hechos hacen posible diseñar secciones estructurales de diferente resistencia, dependiendo del área de rodamiento por proyectar para el tránsito aéreo.

1.4 El tránsito aéreo

El Documento de Regulación Aeroportuaria (2017), tiene muy presente en sus disposiciones que en la actualidad la mayoría de los aeropuertos se encuentran sometidos a un tráfico aéreo más intenso de aquel para el que fueron proyectados (Martín 2016), son muchas las fuentes que se ocupan del tema, entre las cuales aparece el artículo Georgia department of transportation (2012), en el cual se concibe el diseño estructural de las aeropistas como una de las variables más significativas, por lo que en su conformación debe tenerse en cuenta:

- El peso total de las aeronaves
- La descarga por ruedas
- El número y arreglo de las ruedas
- La presión de contacto
- El número de repeticiones de las cargas
- El tipo de carga: estática o dinámica
- La mezcla de los diversos tipos de aeronaves
- La tasa de crecimiento

Debido principalmente al indiscutible crecimiento de la aeronáutica civil, los parámetros anteriores tienen una amplísima variación que complica enormemente el problema de evaluar el efecto del tránsito aéreo en los pavimentos, actualmente la Administración Federal de Aviación (FAA) ha elegido el concepto de “Tránsito Equivalente” a la aeronave de diseño, que puede ser la más frecuente o la más pesada, en términos de igualdad de daños, respecto a los que realmente producen las operaciones de las aeronaves que concurren a un aeródromo.

En ese sentido está establecido que la autoridad aeronáutica debe notificar la resistencia de los pavimentos a los usuarios que utilizarán el área de movimiento, dando cumplimiento a la recomendación 3/3 de la Octava Conferencia de Navegación Aérea (1974, Doc. 9102), que solicitaba la elaboración de un método único para la clasificación de la resistencia de los pavimentos, la Organización de la Aviación Civil Internacional (OACI) realizó estudios que resultaron en un método sencillo de clasificación para los pavimentos destinados a aeronaves hasta de 5700 kg (12500 lb) de masa y otro método más detallado para los pavimentos destinados a aeronaves de peso superior, toda vez que las características de estas aeronaves son bien diferentes. Este último se reconoce como el método ACN- PCN.

Por otra parte la OACI establece, que para fijar el parámetro de tránsito se hace necesario conocer las características de las aeronaves, en lo referente a las descargas que transmiten los pavimentos, atendiendo a los principales factores que intervienen tales como:

- a) El peso bruto de la aeronave. Normalmente y para los fines del diseño de espesores estructurales, se considera el peso máximo al despegue y se supone que el 95% de este peso gravita sobre el tren de aterrizaje principal. Estas suposiciones están del lado de la seguridad, debido a las incertidumbres del tránsito y a que pueden presentarse cambios en el uso operacional del aeródromo.
- b) El tipo y geometría del tren de aterrizaje. El tipo de tren de aterrizaje y su configuración determinan de qué modo se distribuye el peso de la aeronave en el pavimento. Cada fabricante de aeronaves define el número, tipo y separación de

llantas en cada tren de aterrizaje. Los arreglos de las llantas pueden ser de rueda simple o tándem.

- c) La presión de contacto. Esta variable define el esfuerzo normal máximo inducido por las llantas en la superficie del pavimento. Se supone idéntica a la presión de inflado de los neumáticos.

Resulta obvio reconocer que por diversas causas los pavimentos resultan agredidos constantemente, por lo que no resultaría ocioso analizar los defectos fundamentales que pueden presentar.

1.5 Principales defectos en los pavimentos

La detección de los deterioros se realiza mediante la utilización de equipos de auscultación (empleados para la detección de defectos en los pavimentos, sistema de señalización e iluminación principalmente) o mediante la inspección visual¹, los cuales pueden encuadrarse en cuatro categorías generales, a saber:

- Rajaduras
- Defectos de desintegración
- Deformaciones superficiales
- Defectos relacionados con la resistencia al patinaje

Todos los defectos de los pavimentos se manifiestan con características propias y sus causas deben ser identificadas con precisión para determinar las medidas adecuadas de mantenimiento, una correcta identificación presupone un registro de los antecedentes de los defectos presentados con relación a:

- La vida física de los pavimentos
- Número de movimientos y peso máximo de despegue de las aeronaves que más exigen de los pavimentos

¹Revista de Arquitectura e Ingeniería. 2017, Vol.11 No.2 ISSN 1990-8830 / RNPS 2125

- La situación del drenaje de los pavimentos

El conocimiento de los defectos más recurrentes en los pavimentos, como premisa para el registro de los indicadores relacionados con los antecedentes de los mismos, posibilita su adecuado control y evaluación.

Por su trascendencia en las irregularidades que puedan presentar resulta conveniente el análisis del ciclo de vida de los pavimentos, no sólo evaluar la condición actual de un pavimento; sino también pronosticar su condición futura. Así en la proyección de una tasa de deterioro puede realizarse un análisis del costo relativo del ciclo de vida para varias alternativas, lo que posibilita la determinación del momento ideal para la aplicación de la mejor de ellas.

Esta decisión es crítica en el sentido de evitar costos más altos de conservación y restauración en el futuro. La **figura 1.3**, ilustra la marcha del deterioro de un pavimento en general y el costo relativo de la reparación en varias ocasiones de su vida. Obsérvese que durante los primeros tres cuartos de la vida de un pavimento su desempeño es relativamente bueno.

Después comienza a deteriorarse rápidamente, el número de años que un pavimento permanece en “buenas” condiciones depende de su conservación, se ha verificado que la relación de los costos anuales totales entre la conservación de un pavimento y la restauración periódica de un mal pavimento es del orden de uno a cuatro o cinco años.

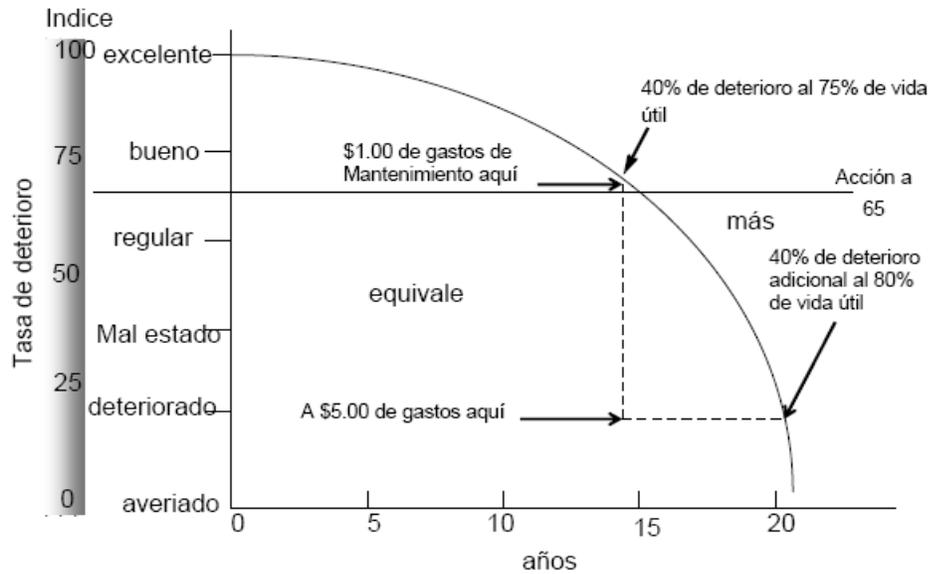


Figura 1.3 Ciclo de vida de un pavimento.

En resumen, es posible afirmar que los pavimentos, como cualquier obra de ingeniería, se deterioran con el tiempo bajo la acción del tráfico o cuando son afectados por la influencia fundamentalmente de los agentes naturales y el hombre, dependiendo del tipo y de sus condiciones técnicas, la pavimentación presentará defectos en mayor o menor espacio de tiempo, un mantenimiento adecuado, y a su debido tiempo favorece su conservación. Podrá prolongar su vida útil y mantenerlos siempre en buenas condiciones, de modo que proporcionen confort y seguridad a los usuarios.

1.5.1 Características de las actividades de reparación de los pavimentos aeroportuarios.

En la 8va Conferencia Internacional sobre Transporte Aéreo (2019), se analizan entre otros aspectos las degradaciones que afectan las pistas de los aeropuertos y los procesos de mantenimiento a que son sometidos, o sea preventivo (conservación) o correctivo (restauración), cuyas diferencias aparecen en la **tabla 1.2**.

Conservación	Restauración
Preventiva	Correctiva
Pequeño volumen de trabajo	Gran volumen de trabajo
Temporal	Permanente

Basada en inspecciones periódicas	Restauración de áreas disgregadas
Incluye limpieza de los sistemas de drenaje	Colocación de capa estructural
Sellado de grietas y juntas	Regularización
Requiere recursos reducidos	Requiere de un mayor volumen de recursos
No requiere de personal especializado	Requiere de personal especializado
Emplea materiales y equipos sencillos	Emplea materiales y equipos especiales
Aplaza la recurrencia del deterioro	Previene la recurrencia del deterioro
En áreas localizadas	En áreas amplias

Tabla 1.2 Características de las actividades de conservación y restauración.

Resumiendo, el análisis presentado, permite afirmar que el mantenimiento preventivo involucra pocos recursos, equipos leves y menos especializados, mientras el correctivo, por el contrario, requiere recursos más voluminosos, equipos pesados y más especializados. La diferencia básica entre los dos tipos de mantenimiento reside, pues, en la extensión de los servicios necesarios para la corrección de los defectos del pavimento.

Para acometer acciones de mantenimiento en instalaciones aeroportuarias debe mediar una vigilancia constante por parte del jefe de mantenimiento, quien deberá mantener bajo control y evaluación, los pavimentos de las pistas y plataformas del aeropuerto, adoptando siempre las medidas necesarias.

La guía de la comunidad aeroportuaria de América Latina y el Caribe (2013), para el mantenimiento de las pistas, de acuerdo con el Anexo 14 de la OACI contiene las mejores prácticas aplicadas en el mundo sobre el tema; entre las que se destacan las siguientes:

- Dependiendo del tamaño y necesidades del aeropuerto (después de una evaluación), se pueden establecer muchos tipos diferentes de organizaciones de mantenimiento. Ejemplo: responsabilidad de mantenimiento bajo el área de Operaciones, mantenimiento como área operativa, etc.; sin embargo se recomienda como una buena práctica que el

mantenimiento del pavimento y el de ayudas visuales sean funcionalmente independientes en el organigrama con sus propios recursos de personal

- Las responsabilidades de mantenimiento del pavimento deben ser gestionados por un ingeniero civil, un experto en pavimento, ingeniero de aeródromo o similar, con amplio conocimiento y experiencia en las técnicas y procedimientos para prevenir y reparar la superficie
- La organización de mantenimiento debe estar fundamentada en términos de eficacia, en los principios de integridad, disponibilidad, fiabilidad y calidad, mejora continua, el compromiso, los procesos y las actitudes basadas en evidencias

El Reglamento Aeronáutico Latinoamericano de Aeródromos (LAR 153), considera que la falta de mantenimiento adecuado y oportuno constituye la causa más simple de deterioro de los pavimentos y genera la necesidad de reparaciones de gran volumen.

Por otra parte, sostiene que las actividades sistemáticas de inspección y evaluación permiten la detección de los defectos en sus estados iniciales, posibilitando la adopción de medidas preventivas y/o correctivas en tiempo hábil, promoviendo consecuentemente condiciones permanentes de seguridad a las operaciones aéreas.

En ese sentido la Organización Internacional de Transporte Aéreo (IATA), destaca la importancia de disminuir los riesgos de accidentes relacionados con irregularidades existentes en las pistas, resultantes en muchos casos por la no atención preventiva y de forma adecuada a las condiciones de los pavimentos; entre otras razones.

Resulta obvio la importancia de atender lo establecido en el mencionado LAR 153, con el objetivo de identificar áreas problemáticas para recomendar medidas preventivas y/o correctivas adecuadas, partiendo del principio de que todo programa de mantenimiento que se elabore debe tenerse en cuenta lo recomendado en el Anexo 16 de la OACI sobre el impacto medioambiental de la actividad aeroportuaria, tema sobre el que se han pronunciado diferentes autores; entre ellos García Cruzado (2013).

Por otra parte no debe olvidarse la relación existente entre tipo de pavimento-defecto, tal relación implica que los defectos deben caracterizarse; temática que será ampliada más adelante, no obstante es preciso que se comprenda la necesidad de tener en cuenta el tipo de pavimento y que las especificidades para la solución de las fallas deben ser determinadas por especialistas en pavimentos, que confirmarían o no las recomendaciones resultantes de un diagnóstico a partir de la aplicación de los métodos, en correspondencia con las condiciones superficiales y estructurales de los pavimentos.

1.6 Métodos para la evaluación de las condiciones superficiales y estructurales de los pavimentos en aeropuertos

Numerosos autores e instituciones internacionales se han referido desde hace algunos años en diferentes documentos, artículos e informes a la evaluación de condición de pavimentos, entre otros; como por ejemplo; Rodarte L. F (1980); Aircraft Loading on Airport Pavements (1983); Ramírez Rodríguez (1986); Reglamento y Regulaciones de la Aeronáutica Civil de Cuba (1998); Morrilla Abad (2000); de Solminihac (2001); Vásquez L. R. (2002) y ASTM. (2012), incluyendo la Norma D5340 Standard Test Method for Airport Pavement Condition Index Surveys (2005), en los que se reconocen distintos métodos de evaluación de las fallas estructurales y superficiales de los pavimentos; con las correspondientes especificaciones en algunos de ellos para su aplicación; sin embargo, en ocasiones existen limitaciones de cómo transformar los resultados alcanzados a través de los índices que puedan ser obtenidos, o de la extensión y severidad de cada tipo de falla con estrategias de mantenimiento de forma racional y económica.

Las fuentes consultadas permiten afirmar que los métodos más utilizados hoy en el mundo, se basan fundamentalmente en los siguientes procedimientos:

- Número de Clasificación de Aeronaves - Número de Clasificación de Pavimentos (ACN – PCN)
- Índice de Estado del Pavimento (IEP)
- Índice Global de Valoración del Nivel de Servicio
- Índice de Perfil en Pistas (IP)
- Índice de Servicio Presente (PSI)

- Índice de Fricción Internacional (IFI)
- Índice de Rugosidad Internacional (IRI)
- Viga Benkelman
- Índice de Condición de Pavimentos (PCI)

Como se declaró desde la introducción, el método Índice de Condición de Pavimentos es el asumido en la investigación realizada, sin embargo se reconoce que el ACN – PCN es el recomendado por la OACI, se reitera que la selección del PCI obedece fundamentalmente a ventajas desde el punto de vista económico y por su fácil ejecución, sobre lo cual se ampliará en el próximo capítulo.

En contraposición el ACN-PCN, por sus siglas en inglés, según Aircraft Loading on Airport Pavements; ha estado condicionado por aspectos técnicos – económicos; la instrumentación y ensayos físicos a escala real para la determinación del mismo, lo realizan contadas compañías en el mundo con el empleo de tecnología de punta, que solo la disponen estas instituciones, mientras el precio del servicio de ingeniería que las mismas ofertan es extremadamente costoso.

Para la ejecución del PCI en su proceso de inspección de la pista se deben tomar las medidas de seguridad establecidas en el Anexo 14 de la OACI para evitar la ocurrencia de accidentes en las personas encargadas de la tarea, máxime cuando se trata de una instalación que como se explicó se encuentra sometida a un constante tráfico aéreo.

1.7 Medidas de seguridad dictaminadas por la OACI

Diferentes trabajos en reconocidos artículos referidos a actividades de mantenimiento en las pistas aéreas como ACRP Report 80 y For Changes; han incluido en sus análisis la importancia de las medidas de seguridad durante su ejecución, problemática que ha sido atendida de forma sistemática por la OACI con la emisión de orientaciones precisas sobre las medidas de prevención de accidentes, las cuales resultan válidas para cualquier tarea que se realice en la pista, y que impliquen el desplazamiento de personas sobre sus pavimentos

En las normativas establecidas en el Anexo 14 de esta organización se plantea, que para realizar cualquier intervención en pistas, o calles de rodaje se acude a las variantes de procedimientos aprobados en la documentación para estos fines, donde se puntualiza que posterior a la evaluación y alcance de los trabajos se adopten los siguientes criterios:

1. Emisión de NOTAM. Procederes.
2. Previa revisión de la operacional, se declara el aeródromo cerrado, en horarios ventanas, por la notificación de NOTAM. Trabajos diurnos o nocturnos (pueden ser pintadas en blanco o lumínicas para casos nocturnos también blancas).
3. Se corre el umbral, mediante señales horizontales que se colocan en la pista (pueden ser pintadas en blanco o lumínicas para casos nocturnos también blancas) y además se notifica un NOTAM.

En aeronáutica se conoce como umbral el comienzo de la parte de la pista utilizable para el aterrizaje.

Más adelante se plantea, como se aprecia en el documento único para advertir de situaciones de trabajos, incidentes, accidentes o cualquier situación que se presente en pistas o calles de rodajes es el NOTAM.

Según el Anexo 14, NOTAM es el aviso distribuido por medio de telecomunicaciones que contiene información relativa al establecimiento, condición o modificación de cualquier instalación aeronáutica, servicio, procedimiento o peligro, cuyo conocimiento oportuno es esencial para el personal encargado de las operaciones de vuelo.

También se declara que para esto, se utilizan dos tipos de señales horizontales, ver **figura 1.4**, imagen tomada de ese anexo.

SEÑALES

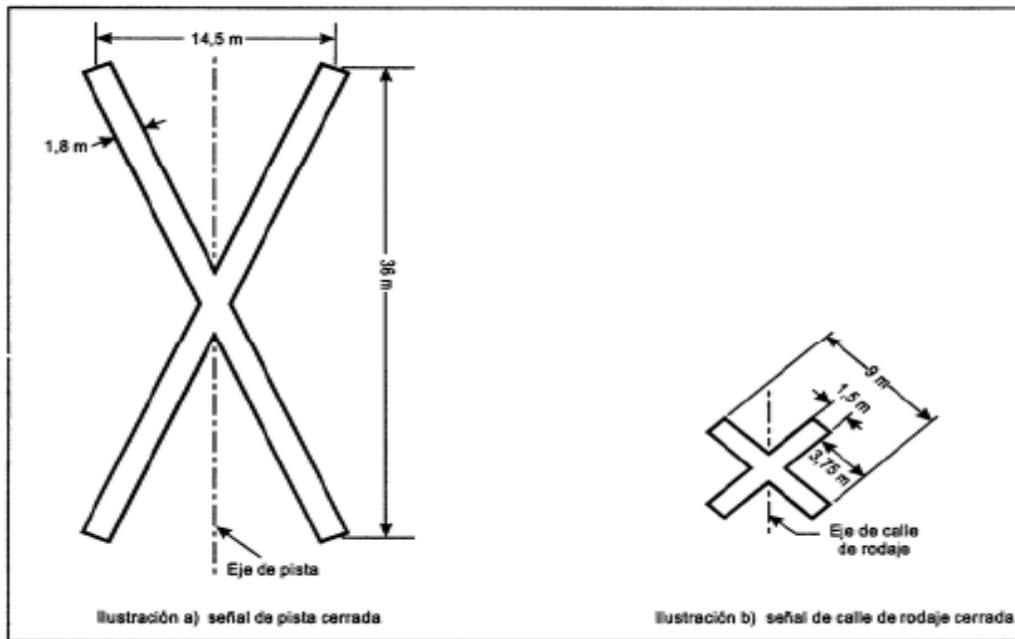


Figura 1.4 Señales de pista y calles de rodaje

Al respecto se indica; se tramita un NOTAM, con el tipo de trabajo a realizar un tiempo estimado y se notifica un desplazamiento de umbral, note una pista con sus zonas declaradas sin modificación ver **figuras 1.5 y 1.6**, lo que permite trabajar en la zona del umbral desplazado con seguridad. (Tomadas de Anexo 14 de la OACI)

SEÑALES

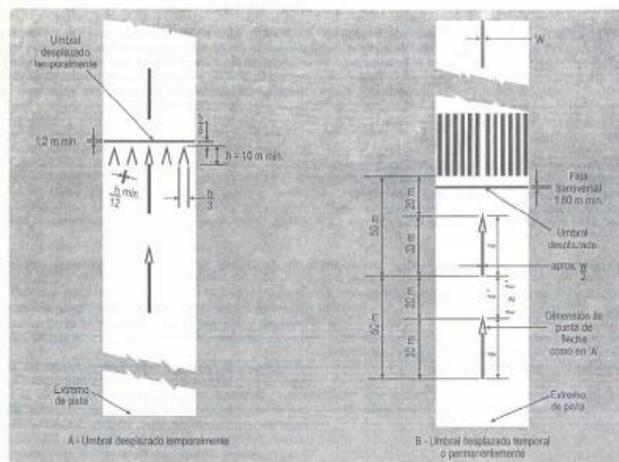


Figura 1.5 Punto de Visada y Toma de contacto

producir y el ruido ensordecedor del tráfico aéreo no afecte a la población ajena a la instalación.

En las imágenes del aeropuerto que aparecen a continuación (**fig. 1.4 y 1.5**) puede ser apreciado, tanto este en su totalidad; como su pista principal.



(Fig. 1.4. Vista aérea del Aeropuerto Internacional “Juan Gualberto Gómez”)



(Fig. 1.5. Pista principal del aeropuerto Internacional “Juan Gualberto Gómez”)

Conclusiones parciales

- El análisis teórico realizado constituye el fundamento científico de la propuesta de mantenimiento de la pista principal del Aeropuerto Internacional “Juan Gualberto Gómez”
- Las ventajas del PCI sobre otros métodos, con respecto fundamentalmente; a su fácil ejecución; con baja inversión de recursos materiales y financieros, y su efectividad para el diagnóstico de las superficies pavimentadas, justifican su utilización durante la investigación realizada
- Las normativas establecidas por el Anexo 14 de la OACI para realizar cualquier intervención de las personas en pistas, constituyen medidas de seguridad que suelen evitar accidentes

CAPÍTULO 2 PROPUESTA DE MANTENIMIENTO DE LA PISTA PRINCIPAL DEL AEROPUERTO INTERNACIONAL “JUAN GUALBERTO GÓMEZ”.

La caracterización del Aeropuerto Internacional de Matanzas constituye un antecedente importante para hacer algunas precisiones sobre su pista principal, que como se conoce, constituye el centro de la investigación realizada, en la descripción se destaca su situación geográfica, sugerente para las reflexiones que pudieran suscitar sobre su impacto en el mercado turístico de una de las playas más importantes del mundo, lo que pudiera contribuir a una comprensión más exacta del problema, el objetivo fundamental del capítulo está enfocado en el proceso de aplicación del método Índice de Condición de Pavimentos, el cual aparece descrito, cuya aplicación permitió la determinación del estado actual de la superficie pavimentada, resultados que se reflejan en las tablas de inspección, tablas resúmenes y gráficos. En el capítulo se representan además imágenes de las características de los tipos de deterioros identificados, y como resultado final de la investigación realizada, la propuesta de mantenimiento elaborada.

2.1 Características de la pista principal (Fig. 2.1)

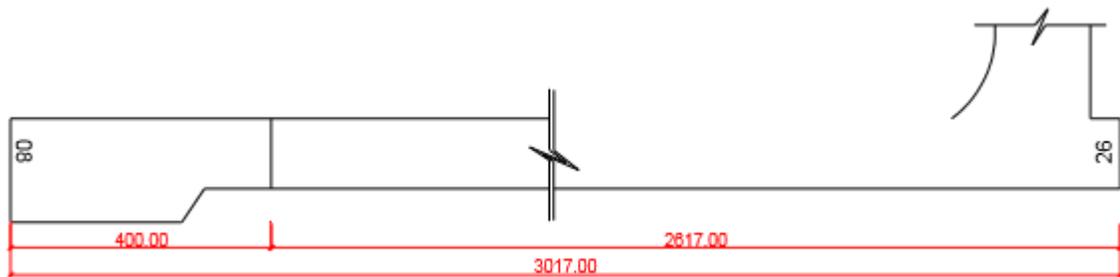


Figura 2.1 Representación gráfica de la pista

Longitud = 3017,0 m.

Ancho = 45,0 m.

Tipo de pavimento: hormigón hidráulico (400,0 m) y hormigón asfáltico (2617,0 m).

Esta pista como otras de su categoría en el mundo, ha sido sometida a distintas reparaciones, conforme a las necesidades que demandan las evaluaciones anuales del estado de la superficie en aeropuertos internacionales, con el fin de mejorar su capacidad

estructural y superficial, con esa perspectiva las pistas de los aeropuertos requieren de la observación diaria y continua para identificar los deterioros, acción fundamental del método Índice de Condición de Pavimentos (PCI), procedimiento aplicado en esta investigación, por lo que resulta oportuna su descripción.

2.2 Descripción del procedimiento para la determinación del Índice de Condición de Pavimentos (PCI)

Esta metodología tiene el propósito de determinar la condición de pavimentos de aeropuertos a través de inspecciones visuales en superficies pavimentadas con hormigón asfáltico (HA), incluyendo capas porosas de alto grado de fricción (porous friction courses) y con hormigón hidráulico (HH), simple o reforzado, con juntas, usando el Índice de Condición de Pavimentos (PCI) como método de cuantificación normalizado.

2.2.1 Significado y uso

El PCI es un indicador numérico que le da una calificación a las condiciones superficiales del pavimento y proporciona una medición de sus condiciones actuales, basada en las fallas observadas en su superficie, indicando también su integridad estructural y condiciones operacionales (rugosidad localizada y seguridad); pero no puede medir la capacidad estructural del pavimento, ni tampoco a través de él es posible la determinación directa sobre el coeficiente de resistencia a la fricción (resistencia al resbalamiento) o la rugosidad general.

Se debe destacar que el PCI proporciona una base objetiva y racional para determinar las necesidades y prioridades de reparación y mantenimiento, su continuo monitoreo permite establecer el ritmo de deterioro del pavimento, a partir del cual se identifican con la debida anticipación las necesidades de rehabilitación mayores, en resumen la información que aporta sobre el rendimiento del pavimento resulta necesaria para su validación o para incorporar mejoras en su diseño y procedimientos de mantenimiento.

Entre las características del método de evaluación del PCI, se pueden citar las siguientes:

- Es fácil de emplear
- No requiere de ningún equipo especial de evaluación

- El procedimiento es enteramente visual
- Ofrece buena repetibilidad y confiabilidad estadística de los resultados
- Suministra información confiable sobre las fallas que presenta el pavimento, su severidad y área afectada

Los pasos requeridos para la evaluación de cada tramo o sección de vía están orientados a:

- Recorrido de toda la pista
- Seleccionar dentro del tramo un subtramo que represente la condición promedio del pavimento en todo el tramo
- Determinar el valor del PCI en una sección del subtramo

Es importante que la sección seleccionada sea lo más representativa posible de la condición promedio del pavimento en todo el tramo.

El PCI califica la condición “integral” del pavimento basado en una escala que varía desde 0 hasta 100. En la **tabla 2.1** se muestra el rango de puntos para su clasificación.

Rango	Clasificación	Intervención
100 – 86	Excelente	Mantenimiento
85 – 71	Muy Bueno	
70 – 56	Bueno	Rehabilitación
55 – 41	Adecuado	
40 – 26	Pobre	
25 – 11	Muy Pobre	Construcción
10 - 0	Fallado	

Tabla 2.1 Rango par Clasificación de pavimentos

- Los trabajos de mantenimiento ($PCI > 70$) están referidos a la actividad de “aumentar” la vida útil de la estructura del pavimento, en términos asociados a comodidad y seguridad. Puede constituir una práctica preventiva y/o correctiva
- Los trabajos de rehabilitación ($70 > PCI > 25$) se refieren a la actividad necesaria para “devolver” a la estructura del pavimento las condiciones de soporte de carga con las que inicialmente se construyó, así como su nivel de servicio en términos de seguridad y comodidad

2.3 Equipos o herramientas a utilizar

Para la realización de esta investigación no se ha requerido de grandes ni costosos recursos ya que los materiales necesarios para emprender la misma son muy simples y de fácil acceso:

- Hojas de datos, o cualquier sistema de almacenamiento de información en campo que permita registrar: fecha, ubicación, componente, sección, tamaño de la unidad de muestra, número y tamaño de losa, tipos de falla, grado de severidad, cantidades, y nombre del encargado de la inspección, ejemplos de este tipo de hojas de datos para pavimentos de hormigón asfáltico (HA) y de hormigón hidráulico (HH) aparecen en este capítulo
- Rueda odómetro manual, que permita leer al más cercano 30 mm (0,1pie)
- Regla o hilo para nivel, solo para pavimentos de hormigón asfálticos, con una longitud de 3,0 m (10 pies). Regla de medición, de 300 mm (12 pulgadas), con precisión de 3 mm (1/8 pulgadas) o mayor. Una regla de 300 mm (12 pulgadas) adicional es necesaria para medir asentamientos en pavimentos de hormigón hidráulico
- Plano de distribución del aeropuerto a ser inspeccionado y en el que se puedan identificar a todos los componentes del pavimento

Un agravante para la aplicación del procedimiento está dado por el peligro que implica el tráfico para los inspectores, los cuales deben caminar por la superficie pavimentada para realizar las inspecciones, durante esa actividad se ven sometidos además a los efectos del ruido producido por las aeronaves; por lo que resulta una condición necesaria el uso de protectores auditivos cuando se realicen trabajos al aire; razones que demandan la coordinación y aprobación de todas las acciones de inspección por el personal de operación del aeropuerto.

2.4 Resumen del proceso a seguir para la aplicación del método

El pavimento se divide en componentes que a su vez se subdividen en secciones y cada una de ellas es dividida en unidades de muestra, el tipo y grado de severidad de las fallas en el pavimento del aeropuerto son establecidos mediante la inspección visual de las unidades de muestra.

La cantidad de las fallas se mide según lo descrito en la Norma ASTM D-5340. La información que se obtiene es utilizada para calcular el PCI de cada unidad de muestra, lo cual se determina sobre la base de los valores del PCI determinados para cada una de las unidades de muestra (muestreo y unidades de muestra).

Para determinar una unidad de muestra se deben seguir los siguientes pasos:

1. Identificar en el plano áreas de pavimento con diferentes usos, como puede ser pistas, rodajes y plataformas.
2. Dividir cada uno de los componentes del pavimento en secciones.

Estas secciones se determinan de acuerdo a su diseño, historia de construcción, tráfico y condición, si las juntas entre losas de hormigón hidráulico tienen separaciones mayores a los 8,0 m (26 pies), se deben subdividir en losas imaginarias, las cuales deben tener un largo menor o igual a 8,0 m (26 pies) y las juntas imaginarias que las dividen deben ser consideradas en perfectas condiciones.

Su aplicación obedece al desarrollo de los valores de reducción para losas de hormigón hidráulico con longitudes menores o iguales a 8,0 m (26 pies).

3. Las unidades de muestra a inspeccionar deben ser marcadas o identificadas de tal forma que permita a los inspectores y al personal de control de calidad ubicarlas fácilmente en la superficie del pavimento.

Las marcas se deben realizar con pintura en el borde del pavimento o a través de esquemas con ubicaciones conectadas a características físicas en el pavimento. El uso de clavos u otros objetos con riesgo de convertirse en objetos voladores peligrosos (FOD, siglas en inglés) no se recomiendan.

Se debe ubicar nuevamente una unidad de muestra para verificar la información de fallas actuales, para examinar cambios en la condición de una muestra en particular con el tiempo, y para permitir futuras inspecciones de las mismas de ser necesarias.

4. Selección de las unidades de muestra a ser inspeccionadas.

El número de unidades de muestra a ser inspeccionadas puede variar desde todas las unidades en una sección hasta el número de unidades de muestra que permita un nivel de confianza del 95 %, o hasta un número menor, es de señalar que todas las unidades de muestra en una sección pueden inspeccionarse para determinar el valor del PCI promedio de la sección; sin embargo, esta posibilidad se limita normalmente por la disponibilidad de mano de obra, recursos económicos y tiempo.

El muestreo total es recomendable para el análisis de proyectos en los que se vayan a estimar las cantidades de mantenimiento y reparación necesarias.

El número mínimo de unidades de muestra a ser inspeccionadas (n) en una determinada sección, para obtener un nivel de confianza adecuado en los resultados del PCI (95 % de confiabilidad), se calcula usando la siguiente fórmula, redondeando el resultado al número entero inmediato superior.

$$n = N^2 (e/4) (N-1) + S^2 A \quad (\text{Exp. 1}).$$

Expresión 1 Determinación del número mínimo de unidades a inspeccionar

Donde:

n = número total de unidades de muestra analizadas.

e = error aceptable en la estimación del PCI de la sección $e = \pm 5$ puntos de PCI.

N = número total de unidades de muestra en la sección.

SA = desviación estándar asumida del PCI entre una unidad de muestra y otra unidad de muestra de la misma sección. Cuando se realiza la inspección inicial la desviación estándar se asume para pavimentos de hormigón asfáltico en 10 y para pavimentos de hormigón hidráulico en 15.

Esta suposición debe ser verificada posteriormente como se describe líneas abajo, una vez se hayan determinado los valores del PCI. Para inspecciones posteriores se adopta el valor de desviación estándar de la inspección anterior en la determinación de n.

Si la obtención de un nivel de confianza del 95 % es crítica, se debe verificar que el número de unidades de muestra inspeccionadas es el adecuado.

El número de unidades de muestra se determina inicialmente sobre la base de una desviación estándar asumida. Se debe calcular la desviación estándar actual de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$SC = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (PCI_i - PCI_f)^2} \quad (\text{Exp. 2}).$$

Expresión 2 Determinación de la desviación estándar.

Donde:

SC = desviación estándar calculada del PCI

PCI_i = PCI de la unidad de muestra i

PCI_f = PCI promedio de las unidades de muestra analizadas

n = número total de unidades de muestra analizadas.

Calcular el número de unidades de muestra necesarias utilizando la expresión 1 y la desviación estándar obtenida con la expresión 2. Si el número de unidades de muestra a ser inspeccionadas es mayor a las ya inspeccionadas, seleccionar e inspeccionar aleatoriamente unidades de muestra adicionales.

Estas unidades deben estar distribuidas uniformemente dentro la sección. Repetir el proceso de verificación del número de unidades de muestra mínimo a ser inspeccionado e inspeccionar unidades de muestra adicionales hasta que el número total de muestras inspeccionadas sea igual o exceda el mínimo requerido de acuerdo a la expresión 1 utilizando la desviación estándar actual.

Un nivel de confiabilidad menor al 95 % puede ser usado dependiendo de las condiciones y objetivos de la inspección. Como ejemplo, **la tabla 2.2** resume el criterio utilizado por una entidad para determinar el número mínimo de unidades de muestra a ser inspeccionadas.

Dadas	Inspeccionar
1 a 5 unidades de muestras	1 unidad de muestra
6 a 10 unidades de muestras	2 unidades de muestra
11 a 15 unidades de muestras	3 unidades de muestra
16 a 40 unidades de muestras	4 unidades de muestra
Más de 40 unidades de muestras	10 %

Tabla 2.2 Criterio alternativo para determinar el número de unidades de muestra

5. Cálculo del intervalo de espaciamiento entre las unidades de muestra seleccionadas para ser inspeccionadas.

Para el cálculo se realiza un muestreo sistemático y aleatorio, éstas estarán distribuidas de manera uniforme en toda la extensión de la sección a partir de la primera muestra seleccionada al azar, el intervalo de espaciamiento (i) entre las unidades a ser inspeccionadas se calcula a través de la siguiente fórmula, redondeando el resultado al número entero inmediato inferior.

$$i = N \quad (\text{Exp. 3}).$$

N Expresión 3 Determinación del intervalo de espaciamiento;

Donde:

I = intervalo de espaciamiento.

N = número total de unidades de muestra en la sección.

n = número total de unidades de muestra a ser analizadas.

La primera muestra en ser analizada es seleccionada al azar del grupo de muestra uno hasta i. Las demás unidades de muestra de una sección que se encuentren ubicadas a incrementos i de espaciamiento también deben ser inspeccionadas.

6. Análisis de unidades de muestra adicionales.

Las unidades de muestras adicionales se deben analizar cuando presentan fallas no representativas de la sección, tal como fuera definido en el Glosario, estas unidades son seleccionadas por el usuario.

Una vez determinadas las muestras se aplica el procedimiento de inspección, durante el cual son aplicables las normas preventivas establecidas en el Anexo 14 de la OACI.

2.4.1 Procedimiento para la inspección

Las definiciones y guías para la cuantificación de fallas y posterior determinación del PCI están detalladas en la Norma ASTM D-5340. Existen diversos textos relacionados con este tema, pero cuando la información en esos textos difiere de las definiciones expresadas en la Norma ASTM D-5340 (Índice de Condición de Pavimentos en Aeropuertos), se utilizan las especificadas de esta norma:

1. Pavimentos de hormigón asfáltico (HA) la cantidad de fallas se mide según Apéndice X1 de la Norma.

Para inspeccionar los pavimentos de concreto asfáltico incluyendo pavimentos con superficies porosas de alto grado de fricción, se debe examinar individualmente cada unidad de muestra elegida, para lo cual se sigue el siguiente proceso:

- Diagramar la unidad de muestra, incluyendo su orientación. Registrar el componente, número de sección, número y tipo (aleatorio o adicional) de la unidad de muestra
- Registrar el tamaño de la misma midiéndola con el odómetro manual
- Realizar la inspección de cada unidad de muestra, caminando por ella y midiendo el grado de deterioro de cada una de las fallas presentes, registrando dicha información, las fallas deben coincidir con los tipos y grados de severidad descritos en el capítulo 2, según la Norma. El método de medición se detalla junto a la descripción de cada falla. Las mediciones se deben realizar con una precisión de +/- 30 mm (0,1 pie) utilizando el odómetro manual
- Resumir cada tipo de falla y grado de severidad en pies cuadrados o pies lineales (metro cuadrado o metro lineal), dependiendo del tipo de falla
- Repetir este procedimiento para cada unidad de muestra a ser inspeccionada. La **tabla 2.3**, que aparece más adelante, ofrece un ejemplo de una hoja de registro de información para inspecciones en pavimentos flexibles

2. Pavimentos de hormigón hidráulico (cantidad de fallas, según Apéndice X2 de la Norma).
- En el caso de los pavimentos de hormigón hidráulico se inspecciona individualmente cada unidad de muestra elegida, se realiza un bosquejo sobre ella mostrando la ubicación de las losas
 - Registrar el tamaño de la unidad de muestra, el componente al que pertenece, el número de la sección, y el número y tipo (aleatorio o adicional) de la unidad de muestra, su número de losas, y el tamaño de las mismas utilizando el odómetro manual. Registrar también, el tamaño de la muestra, usando un odómetro
 - Realizar la inspección de cada losa, caminando por ella y midiendo el grado de deterioro de cada una de las fallas presentes, registrando dicha información, las fallas deben coincidir con los tipos y grados de severidad descritos en el Capítulo II, se resume cada tipo de falla, grado de severidad y número de losas dentro la unidad de muestra que contengan cada tipo y grado de severidad
 - Repetir este procedimiento para cada unidad de muestra que se vaya a inspeccionar. **La tabla 2.4** ofrece ejemplo de una hoja de registro de información para inspecciones de la condición de pavimentos rígidos

Un elemento importante del proceso lo constituye la elaboración del informe de sus resultados.

2.4.2 Informe

Se debe elaborar un reporte resumen para cada tipo de pavimento, el mismo debe incluir ubicación de la sección, su tamaño, el número total de unidades de muestra, las unidades de muestra inspeccionadas, los valores de PCI obtenidos, el PCI promedio de la sección, y la clasificación de la sección.

Precisión y margen de error

- Precisión: hasta el momento no se ha especificado un grado de precisión para este tipo de ensayo, esto estará sujeto a modificaciones en los próximos cinco años según nota 1.

Nota 1: con la utilización de este método de inspección, los inspectores deberían determinar los tipos de fallas con una certeza del 95 %. Las medidas longitudinales deben ser consideradas adecuadas cuando se encuentran dentro de un rango de variación del 10 % si se les vuelve a medir las mediciones de superficie deben ser consideradas adecuadas cuando se encuentran dentro del rango de variación del 20 %.

Tendencia a errores: hasta el momento, no se ha establecido una tendencia de los errores en los que se puede incurrir con la aplicación de este método.

2.5 Cálculo del PCI (para pavimentos de hormigón asfáltico (HA), incluyendo superficies porosas de alto grado de fricción).

Proceso a seguir:

- Se suma la cantidad total de cada tipo de deterioro y su grado de severidad y se registra en la sección total

Ejemplo: se ingresaron cuatro datos para fallas de tipo número 8 “fisuras longitudinales y transversales”, 9M, 10B, 20B y 15B. La suma de las cantidades para cada nivel de severidad se ubica en la columna del total como 14,0 m (45 pie) de baja severidad (B), y 3,0 (9 pies) de media severidad (M). Las unidades de registro para las cantidades, dependiendo del tipo de falla, serán pies (metros), pies cuadrados (metros cuadrados) o número de ocurrencias.

- Dividir el Total de cada falla entre el área de la unidad de muestra inspeccionada (5000 pies cuadrados en este ejemplo) y multiplicar por 100 para obtener el porcentaje de la densidad de cada tipo de falla
- Determinar el valor de reducción (VR) para cada tipo de combinación de deterioro y grados de severidad a partir de los valores de la curva de valor de reducción que se encuentran en la Norma ASTM D-5340

- Determinar el máximo valor de reducción corregido (VRC)

Si solo uno o ninguno de los VR es mayor a 5, la suma de los VRS es utilizada en lugar del VRC para la determinación del PCI. De no ser así, determinar el máximo VRC utilizando el procedimiento descrito en esta sección.

El procedimiento para determinar el máximo VRC para los VR individuales es idéntico tanto para pavimento asfáltico como de hormigón hidráulico.

Como se explicó con anterioridad esta metodología basa la determinación de la condición de pavimentos de aeropuertos a través de inspecciones, proceso que se describe a continuación con sus correspondientes resultados.

2.6 Inspecciones para la determinación del estado de la superficie

Las inspecciones rutinarias visuales del estado de la superficie deben llevarse a cabo como mínimo en las pistas de la forma siguiente: una muy detallada al amanecer, con dos recorridos; siempre en sentido opuesto al que estén operando las aeronaves para que los inspectores puedan advertir un movimiento imprevisto del que no estén avisados. Estas acciones de inspección deben repetirse durante el día, o sea, por la mañana, en la tarde y al anochecer; incluyendo en esta última sesión la iluminación de las pistas. Los resultados de las inspecciones deben ser registrados para la elaboración de un informe sobre los desperfectos detectados en la superficie por mínimo que parezca.

Entre los más comunes pueden ser citados: fisuras longitudinales y transversales, o en el sellado que rellena las juntas de las losas de hormigón; si hay elementos sueltos como gravillas, huellas o trozos de neumático, piezas de aeronaves como tuercas o trozos desprendidos; pero lo más importante es destacar que resulta de interés durante las inspecciones todo cuanto pueda afectar la seguridad operacional de las aeronaves.

El método empleado en Cuba, coincidiendo con el del resto del mundo para la evaluación superficial de los pavimentos es el PCI, cuya base fundamental se asienta en los resultados de la realización de varias visitas a la pista, con el objetivo de identificar los deterioros presentes, los cuales como se señaló con anterioridad se llevan a un informe, el

cuales debe contener una serie de tablas, donde se incluye la ubicación de la sección, su tamaño, los valores de PCI obtenidos y su clasificación.

Para este proceso la pista fue dividida en secciones de 10,0 m por 45,0 m, para así conformar 302 unidades a analizar, 262 son de hormigón asfáltico caliente y las restantes 40 son de hormigón hidráulico.

A continuación se reflejan todas las tablas de las secciones analizadas.

2.6.1 Descripción de las hojas de inspección

PAVIMENTO DE ASFALTO EN AEROPUERTOS HOJA DE INSPECCIÓN DE CONDICIONES PARA UNIDAD DE MUESTRA								DIAGRAMA:	
COMPONENTE: HORMIGÓN ASFÁLTICO SECCIÓN: 2 UNIDAD DE MUESTRA: 1- 11									
Inspeccionado por: Evelio Carrasco				Área de la muestra:					
2.1. Piel de cocodrilo		2.6. Erosión chorro de turbina		2.11. Agregado Pulido		2.16. Hinchamiento			
2.2. Exudación		2.7. Reflexión de juntas		2.12. Peladura					
2.3. Fisura de bloque		2.8. Fisuras long. y transv.		2.13. Ahuellamiento					
2.4. Ondulación		2.9. Derrame de combustible		2.14. PCC expuesto					
2.5. Depresión		2.10. Bacheos		2.15. Fisura por deslizamiento					
UNIDAD DE MUESTRA	TIPO DE FALLA	SEVERIDAD DE FALLA	CANTIDAD	TOTAL	DENSIDAD %	VALOR DE REDUCC	VALOR DE REDUCC C	VALOR PCI	CLASIFICACIÓN

Tabla 2.3 Hoja de inspección para pavimentos de hormigón asfáltico

El análisis de esta hoja de inspección para pavimento de hormigón asfáltico evidencian los resultados de la observación continua de la pista, como premisa necesaria para la determinación del estado actual de los pavimentos.

PAVIMENTO DE ASFALTO EN AEROPUERTOS HOJA DE INSPECCIÓN DE CONDICIONES PARA UNIDAD DE MUESTRA								DIAGRAMA:	
COMPONENTE: HORMIGÓN ASFÁLTICO SECCIÓN: 2 UNIDAD DE MUESTRA: 1- 11									
Inspeccionado por: Evelio Carrasco				Área de la muestra:					

3.1. Fisuras		3.6. Daño en sello de juntas			3.11. Desprendimientos			3.16 Desprendimiento en esquina.		
3.2. Estallidos		3.7. Bacheos<0.5 m ²			3.12. Asentamientos					
3.3. Rotura de esquina		3.8. Bacheos>0.5 m ²			3.13. Losa fragmentada					
3.4. Fisuras longit., transv. y diagonales		3.9. Pérdidas repentinas			3.14. Fisuras por retracción					
3.5. Fisura de durabilidad (D)		3.10. Bombeo			3.15. Desprendimientos en juntas					
UNIDAD DE MUESTRA	TIPO DE FALLA	SEVERIDAD DE FALLA	CANTIDAD	TOTAL	DENSIDAD %	VALOR DE REDUCC	VALOR DE REDUCC C	VALOR PCI	CLASIFICACIÓN	

Tabla 2.4 Hoja de inspección para pavimentos de hormigón hidráulico

Los resultados de la inspección para pavimentos de hormigón hidráulico representados en la **tabla 2.4**, evidencian que existen algunos deterioros que fueron identificados en los pavimentos de hormigón asfáltico, la identificación previa de todas las fallas posibilita la determinación del estado actual de los pavimentos de la pista a través de la determinación del PCI.

2.7 Determinación del PCI. Pavimento de hormigón asfáltico

Los resultados de la aplicación del proceso evaluativo sobre cada deterioro del pavimento de hormigón asfáltico, evidencian un estado de excelencia, atendiendo a que el resultado general del PCI es del 98.9382 % lo que denota la categoría de su condición. (**Ver Anexo I**).

En la **tabla 2.5** se resumen los deterioros identificados durante la inspección en pavimentos de hormigón asfáltico, cuyo nivel de severidad resultó determinado.

2.7.1 Resumen de los deterioros detectados en pavimentos (HA)

Resumen de deterioros detectadas durante la inspección		
Tipo de falla	Nombre	Cantidad
2.2	Exudación	56
2.4	Ondulación	4
2.5	Depresión	9

2.6	Erosión por chorro de turbina	9
2.8	Fisuras longitudinales, diagonales y transversales	59
2.10	Bacheos	2
2.11	Agregados pulidos	1
2.12	Peladura	4

Tabla 2.5 Resumen de deterioros detectados para pavimento de hormigón asfáltico

En la tabla resumen puede ser observado que los deterioros que prevalecen en el pavimento de hormigón asfáltico de la superficie de la pista son la exudación y las fisuras longitudinales, diagonales y transversales, por otra parte en el **gráfico 2.1** que aparece a continuación, se representa en %, el grado de incidencia de los distintos tipos de fallas sobre este tipo de pavimento.

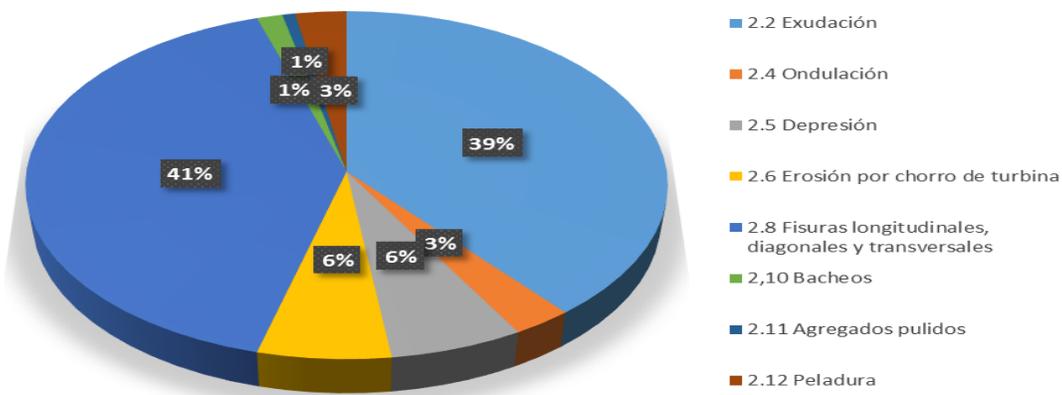


Gráfico 2.1 Comportamiento de fallas. Pavimento de hormigón asfáltico.

2.8 Determinación del PCI. Pavimento de hormigón hidráulico.

Los resultados correspondientes a la determinación del PCI sobre cada deterioro del pavimento de hormigón hidráulico, fueron también clasificados predominantemente como excelentes, a partir de que el resultado obtenido fue de 92,8769. (Ver Anexo II) El resumen de los deterioros de este tipo de pavimentos que fueron identificados durante la inspección puede ser observado en **la tabla 2.5.**

2.8.1 Resumen de deterioros detectados (HH)

Resumen de deterioros detectados durante la inspección		
Tipo de Falla	Nombre	Cantidad
3.3	Rotura de esquina	11
3.4	Fisuras longitudinales, transversales y diagonales	22
3.5	Fisura de durabilidad "D"	4
3.8	Baches	8
3.9	Pérdidas repentinas	1
3.11	Desprendimientos superficiales	5
3.13	Losa fragmentada (cuarteada)	6

Tabla 2.6 Resumen de deterioros detectados para pavimento de hormigón hidráulico

En la tabla 2.6 se evidencia que los deterioros que más inciden en estos pavimentos son la rotura de esquina y las Fisuras longitudinales, transversales y diagonales que también coincidieron estas últimas, como predominantes en pavimentos de hormigón asfáltico, aunque se puede concluir que en número, los deterioros identificados en los pavimentos de hormigón hidráulico son menores con respecto a los identificados en los de hormigón asfáltico.

Con respecto al grado de incidencia en % de los deterioros o fallas sobre el pavimento de hormigón hidráulico aparece representado en el gráfico 2.2.

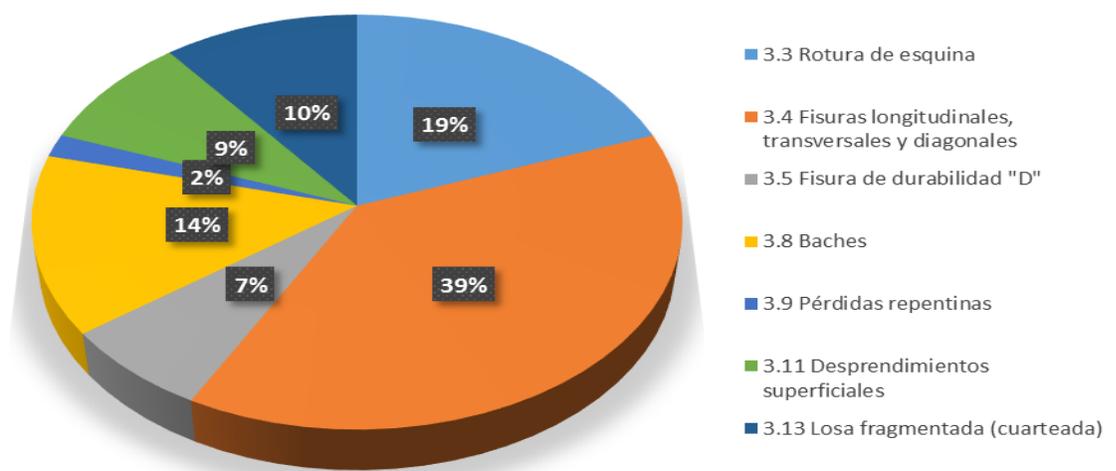


Gráfico 2.2 comportamiento de fallas. Pavimento de hormigón hidráulico

En resumen, ambos pavimentos se encuentran en condiciones excelentes, aunque es necesario que se ejecuten algunas labores de mantenimiento con el fin de prolongar su vida útil, y se reitera que el pavimento de hormigón asfáltico presenta los mayores deterioros en las fisuras longitudinales, diagonales y transversales y la exudación; con el 41 y 39 % de incidencia respectivamente, mientras en el caso de los 400 m de pavimento de hormigón hidráulico, el deterioro más frecuente está presente también en las fisuras longitudinales, transversales y diagonales con un 39 % de la totalidad de las fallas identificadas.

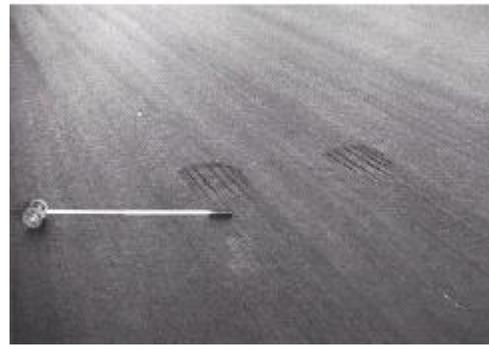
Independientemente de la situación favorable de los pavimentos de la pista principal se hace necesario presentar, la caracterización de los tipos de deterioros detectados, enfatizando en los detalles que los diferencian y las causas que pueden determinar su aparición.

2.9. Características de los deterioros identificados

En la Norma ASTM D-5340 (Índice de Condición de Pavimentos en Aeropuertos) Apéndices XI y XII, se caracterizan las patologías en asfalto y hormigón respectivamente. El diagnóstico aplicado en la pista del Aeropuerto Internacional “Juan Gualberto Gómez”, generó deterioros de baja severidad, cuya descripción, según la mencionada Norma se presenta a continuación. Las imágenes de los deterioros presentados no representan fotos tomadas en el terreno, sino que constituyen muestras que aparecen en los mencionados documentos.

2.9.1 Exudación: la exudación es una película de materia bituminoso en la superficie del pavimento que crea una superficie brillante, en la que se puede producir reflejo, generalmente se torna bastante pegajosa. Se genera por una excesiva cantidad de cemento asfáltico o alquitrán en la mezcla o por bajo contenido de vacíos, o por ambas. No se definen grados de severidad. Ver (**fig. 2.2 y 2.3**). Ocurre cuando el asfalto llena los vacíos en la mezcla durante temperaturas elevadas y luego se expande hacia la superficie del pavimento. Además se plantea que como el proceso de exudación no es reversible

durante climas fríos, el asfalto o alquitrán se acumula en la superficie. La exudación se mide en pies cuadrados (metros cuadrados) del área.



Figuras 2.2 y 2.3 Exudación: no se definen grados de severidad

2.9.2 Fisuras de bloques: Las fisuras en bloques son fisuras interconectadas que dividen el pavimento en piezas aproximadamente rectangulares. El rango de tamaños de los bloques es de 1 x 1 ft a 10 x 10 ft. (De 0.3m x 0.3m a 3m x 3m). Son causadas principalmente por contracción de asfalto y variaciones de temperatura durante el día (que resulta en una variación constante de tensiones). Ocurren normalmente en grandes áreas, pero algunas veces solo aparecerán en áreas sin tráfico. Este tipo de patología se diferencia a la piel de cocodrilo dado que esta última forma piezas pequeñas, de muchos lados y ángulos agudos y además es causada por repetición de cargas de tráfico, por lo que solo aparecen en áreas sometidas a tráfico (áreas críticas). En los niveles bajos los bloques se definen por grietas con poco o ningún desprendimiento de material. Su apariencia puede ser apreciada en (fig. 2.4).



(Fig. 2.4 Fisura en bloque de baja severidad)

2.9.3 Ondulación: está conformada por una serie de valles y picos con poca separación entre sí que ocurren a lo largo del pavimento en intervalos regulares, generalmente menos de 5 ft (1,5m). Los picos o crestas son perpendiculares a la dirección del tráfico. La acción del tráfico combinada con una superficie o base inestable, puede causar este tipo de fallas. En el nivel de baja severidad las ondulaciones son menores y no influyen sobre la calidad de la circulación. La ondulación es medida en ft^2 (m^2) del área de muestra. La (fig. 2.5) representa una ondulación de baja severidad.



(Fig. 2.5 Ondulación de baja severidad)

2.9.4 Depresiones: Las depresiones están localizadas en áreas de superficies pavimentadas que tienen elevaciones ligeramente menor que aquellas del pavimento que las rodea. Pueden ser causadas por asentamientos del terreno de fundación o se pueden producir durante la etapa de construcción. Las depresiones de baja severidad pueden ser observadas o ubicadas por áreas manchadas sobre el pavimento. Afectan ligeramente la calidad de la circulación y pueden causar un potencial problema de hidroplaneo sobre pistas (fig. 2.6).



(Fig. 2.6 Depresión de baja severidad)

2.9.5 Erosión por chorro de turbina: la erosión por chorro de turbina, causa áreas oscuras sobre el pavimento cuando el ligante bituminoso ha sido quemado o carbonizado. Las áreas quemadas pueden variar en profundidad hasta aproximadamente ½ in. (13 mm). No hay niveles de severidad definidos, basta con indicar que existe erosión por chorro (**fig. 2.7**). La erosión por ráfaga de jet, es medida en ft^2 (m^2) del área de muestra.



(Fig. 2.7 Erosión por Ráfaga de Jet)

2.9.6 Fisuras longitudinales y transversales: las fisuras longitudinales son paralelas al “center line” del pavimento o en la dirección preestablecida. Ellas pueden ser causadas por (1) fallas en las fajas constructivas de la pavimentación, (2) contracción de la superficie del asfalto debido a bajas temperaturas o rigidización del asfalto o (3) una fisura refleja que se produce debajo de la superficie en uso, estas incluyen fisuras en la losa de hormigón (pero no producidas por la reflexión de juntas del pavimento de hormigón).

Las fisuras transversales se extienden a través del pavimento aproximadamente en ángulos rectos al “center line” o dirección establecida. Ellas pueden ser causadas por los ítems (2) y (3) mencionados anteriormente. Generalmente no se producen por una repetición de carga. Si el pavimento está fragmentado a lo largo de la fisura, se dice que tiene desprendimiento de material.

En el nivel de severidad baja las fisuras tienen poco o ningún desprendimiento de material (poco o ningún peligro de FOD), y pueden estar sellados o no. Si la fisura no está sellada, debe tener un ancho medio de ¼ in (6,4 mm) o menos. Si lo está, para

considerarla de bajo nivel de severidad, esta puede ser de cualquier ancho pero su relleno debe estar en condición satisfactoria. La Norma establece que las fisuras son medidas en metros lineales. La longitud y severidad de cada fisura debe ser identificada y registrada, En la **(fig. 2.8)** puede ser apreciado este tipo de deterioro.



(Fig. 2.8 Fisuras longitudinales y transversales de baja severidad)

2.9.7 Bacheos: un bache es considerado un defecto, sin importar si se encuentra en perfecto estado. El bache está en buenas condiciones y su funcionamiento es satisfactorio. Con respecto a este deterioro la Norma establece que las labores de reparación con concreto asfáltico de alta densidad (HDA) en Capas Porosas de alto grado de Fricción (PFC), causa un efecto de estancamiento de agua por el bache o baches, que contribuye a generar un valor diferencial de rozamiento superficial. Al respecto se recomienda que aun siendo de severidad baja, deberían ser considerados como de densidad media a causa de los problemas ocasionados por generar un coeficiente de rozamiento diferencial. (Ver **fig. 2.9**).



(Fig. 2.9 Bacheo de baja severidad).

2.9.8 Agregados pulidos: el desgaste de los agregados es producido por efecto del tráfico. El agregado pulido está presente cuando una exhaustiva inspección del pavimento

revela que la porción de agregados que se presentan sobre el asfalto es muy pequeña, no hay rugosidad o las partículas angulares del agregado pierden su resistencia al deslizamiento (rozamiento). Como puede ser apreciado en las figuras (2.10 y 2.11) no se definen niveles de severidad. Sin embargo, el efecto del pulido sobre el agregado deberá ser claramente identificable en la muestra, condición que se verifica al tocar la superficie del agregado y este se presenta suave al tacto. La falla, según la Norma es medida en metros cuadrados dentro del área de unidad de muestra.



(Fig. 2. 10 y 2.11 No se definen niveles de severidad).

2.9.9 Fisuras por reflexión de juntas: en la Norma se especifica que estas fallas ocurren únicamente sobre pavimentos asfálticos construidos sobre un pavimento de losas de hormigón (PCC). Esta categoría no incluye fisuras por reflexión desde algún otro tipo de base (por ejemplo base cementada o HDC, limo estabilizado), estas se consideran en las fisuras longitudinales y transversales. Las fisuras por reflexión de juntas son causadas principalmente por el movimiento de las losas de hormigón por debajo de la superficie asfáltica, ante los cambios térmicos y de humedad, sin relacionarse con la carga a la que son sometidos.

Las fisuras de reflexión de juntas de baja severidad tienen poco o ningún desprendimiento de material (poco o ningún peligro de FOD), y pueden estar sellados o no. Si la fisura no está sellada, debe tener un ancho medio de ¼ in (6,4 mm) o menos. Si lo está, para considerarla de bajo nivel de severidad, ésta puede ser de cualquier ancho; pero su relleno debe estar en condición satisfactoria. (Ver fig. 2.12 y 2.13).



(Fig. 2.12 y 2.13 Reflexión de juntas de baja severidad)

2.9.10 Peladura y efecto de la intemperie: las peladuras y efectos de la intemperie están siempre en la superficie de desgaste del pavimento, causados por el desprendimiento de agregados y pérdida de la capacidad ligante del asfalto. Ellas pueden indicar que el asfalto de liga se ha rigidizado significativamente. En la Norma se considera que es de baja severidad cuando los agregados o el ligante ha comenzado a desgastarse, causando poco o ningún peligro potencial de FOD. La baja severidad se registra cuando el agregado superficial está expuesto a una profundidad de $\frac{1}{4}$ del diámetro de la piedra. Su medición es en ft^2 (m^2) del área de la muestra. Si un tratamiento superficial se está desprendiendo debe ser considerado como peladura. Por otro lado precisa que realizar una inspección para determinar el PCI inmediatamente después de que se haya realizado un tratamiento de tipo superficial no sería relevante, debido a que dicho tratamiento enmascara las patologías existentes. En la (fig. 2.14) puede apreciarse una peladura de baja severidad.



(Fig. 2.14 Peladura de baja severidad)

2.9.11 Rotura de esquina: la rotura de esquinas es una fisura que intersecta las juntas a una distancia menor o igual que la mitad de la longitud de la losa a cada lado, medida desde la esquina de la losa. Las roturas de esquinas son causadas por repetición de cargas, combinadas con la pérdida del soporte y tensiones por alabeo. Una rotura de esquina se diferencia de un desprendimiento de la esquina porque la fisura se extiende verticalmente a través del espesor total de la losa, mientras que el desprendimiento de la esquina intercepta la junta con un ángulo.

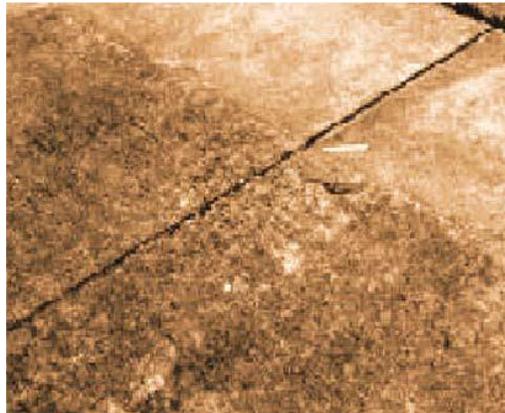
Es de baja severidad cuando la fisura tiene leves desprendimientos (no hay peligro potencial de FOD). Si la fisura está abierta, su espesor medio es menor a aproximadamente 1/8" (3 mm). La fisura puede ser de cualquier espesor si está debidamente rellenada con un sellador en buenas condiciones. El área entre la rotura de esquina y las juntas no está fisurada. En la Norma se precisa que una losa se registra cuando presenta una única rotura de esquina, varias de un nivel de severidad particular o dos o más roturas de diferentes severidades. Cuando se presentan dos o más fisuras de diferente nivel de severidad, debe ser registrada la losa de mayor severidad. En la (fig. 2.15) puede ser apreciada una rotura de esquina de baja severidad.



(Fig. 2.15 Rotura de esquina de severidad baja)

2.9.12 Fisura de durabilidad “D”: usualmente aparece como un patrón de fisuras en proximidad o paralela a una junta o a una fisura lineal. Está causada por la incapacidad del hormigón de soportar factores ambientales como los ciclos congelamiento y deshielo. Generalmente puede observarse un oscurecimiento de la zona alrededor de las fisuras

finas de durabilidad. La de baja severidad se caracteriza por fisuras superficiales localizadas en una o dos esquinas o a lo largo de una junta. El nivel de desintegración es bajo o nulo. No representa peligro de FOD. Cuando se presenta una fisura con un nivel de severidad determinado, se registra como una losa con esa severidad de falla. Cuando se presentan dos o más fisuras de diferente nivel de severidad se registrará la losa de mayor severidad. La (fig. 2.16) representa una fisura de durabilidad “D” de baja severidad.



(Fig. 2. 16 Fisura de durabilidad “D” de severidad baja)

2.9.13 Pérdidas repentinas: Una pérdida repentina se manifiesta por una pequeña pieza del pavimento que se desprende a causa de los ciclos de hielo y deshielo en combinación con agregados expansivos. Las pérdidas repentinas varían aproximadamente entre 25 y 100 mm en diámetro y entre 13 y 51 mm en profundidad. Sus niveles de severidad no están definidos. Sin embargo, su densidad debe alcanzar un mínimo de tres por metro cuadrado en toda el área de la losa antes de ser consideradas como una patología. La densidad de fallas solo debe ser obtenida si se tiene una duda respecto a que si el promedio es mayor a tres fallas por yarda cuadrada (metro cuadrado).

2.9.14 Desprendimiento superficial, mapa de fisuras, fisuras erráticas: un mapa de fisuras o fisuras erráticas se refiere a una red de fisuras poco profundas que se extienden solo a través de la superficie superior del hormigón. Las fisuras suelen intersectarse en ángulos de 120 grados. Las fisuras erráticas resultan usualmente por un curado inapropiado y/o acabado del hormigón y puede llevar al desprendimiento; desgranamiento superficial (scaling).

En un nivel de severidad baja se manifiestan en un área significativa de la losa, no existe desprendimiento superficial y el pavimento se encuentra en buenas condiciones. El patrón de la fisura debe estar claramente definido. Las fisuras deben mostrar señales de desgaste individualmente. Las fases iniciales de esta patología son descartadas. Cuando se presenta una fisura con un nivel de severidad determinado, se registra como una losa con esa severidad de falla. Cuando se presentan dos o más fisuras de diferente nivel de severidad se registrará la losa de mayor severidad. Ver mapa de fisuras de severidad baja (**fig. 2.17**).



(Fig. 2.17 Mapa de fisuras de severidad baja).

2.9.15 Losa cuarteada (fragmentada): una losa cuarteada se define como aquella en la que las fisuras que se interceptan la dividen en cuatro o más piezas. Esto se debe a un exceso de cargas y/o un soporte inadecuado de la fundación. Si todas las piezas o fisuras están contenidas dentro una rotura de esquina, entonces la patología debe ser identificada como una rotura en esquina severa. Se considera de baja severidad cuando la losa está dividida en cuatro o cinco piezas predominantemente definidas por fisuras de baja severidad. (Ver **fig. 2.18**).



(Fig. 2.18 Losa cuarteada de baja severidad)

En resumen, la caracterización de las fallas, con especial énfasis en los deterioros de baja severidad; incluyendo sus imágenes, por corresponderse estas últimas con el tipo de deterioros detectados durante la inspección, justifican la necesidad de formular una propuesta de mantenimiento para la conservación y óptimo funcionamiento de la pista principal del Aeropuerto Internacional “Juan Gualberto Gómez”; cuya fundamentación aparece a continuación.

2.10 Fundamentación de la propuesta de mantenimiento

La propuesta de mantenimiento elaborada se sustenta en el análisis teórico realizado, con especial énfasis en el método Índice de Condición de Pavimentos (PCI). Su aplicación permitió establecer el nivel de detalle necesario sobre cada porción de la superficie inspeccionada para identificar los deterioros individuales y formular las acciones de mantenimiento correspondientes en las zonas requeridas, con el fin de garantizar la conservación de los pavimentos para contribuir a una óptima calidad del servicio.

En la decisión sobre el alcance de las acciones propuestas se tuvo en cuenta la siguiente escala concebida por el PCI para la intervención de los pavimentos:

- $PCI < 25$ Construcción
- $25 < PCI < 70$ Rehabilitación
- $PCI > 70$ Mantenimiento

Teniendo en cuenta los bajos niveles de severidad de los deterioros identificados en los pavimentos de la pista principal del Aeropuerto Internacional “Juan Gualberto Gómez”, evidenciados en que el valor del PCI obtenido fue por encima de 70 puntos (98,9 puntos en pavimento de hormigón asfáltico) y (92,9 puntos en pavimento de hormigón hidráulico) los trabajos concebidos en la propuesta están encaminados hacia el mantenimiento preventivo, lo que a su vez favorece la prolongación de la vida útil de los pavimentos.

A partir de esa realidad se debe tener presente que el mantenimiento preventivo o rutinario ($PCI > 70$): es la actividad tendiente a mantener la vida útil de la estructura del pavimento y comprende las siguientes labores:

- Sellado de fisuras
- Limpieza de drenajes (cunetas, alcantarillas, pozos de inspección, sumideros)
- Limpieza de obras adyacentes (bermas)
- Demarcación horizontal

En esa misma medida no se puede obviar que el mantenimiento periódico ($PCI > 70$): es la actividad tendiente a prolongar en un período de tiempo adicional la vida útil de la estructura del pavimento, en términos de comodidad y seguridad. Puede constituir una práctica preventiva y/o correctiva y comprende los siguientes trabajos:

- Parcheo y reparcho
- Bacheo
- Sobre carpeta
- Técnicas alternativas (fresado, termo-perfilado, termo-generación y reciclado in situ de la carpeta asfáltica)

Con el basamento de los elementos anteriores y los aportados por la entrevista a especialistas se procedió a la formulación de la propuesta de mantenimiento para cada deterioro, que por su baja severidad requieren de labores de carácter preventivo, la siguiente imagen (**Fig. 2.19**), representa un ejemplo de este tipo de labores.



Figura 2.19 Labores de mantenimiento preventivo (imagen tomada de internet).

2.11 Propuesta de mantenimiento para cada deterioro

Los trabajos de mantenimiento propuestos se presentan en el mismo orden en que aparecen en las tablas resúmenes (2.5 y 2.6) presentadas con anterioridad; para pavimentos de hormigón asfáltico e hidráulico respectivamente. Antes de formular cada recomendación se hace una breve descripción del deterioro donde se incluyen las posibles causas que lo provocaron. En las labores propuestas se previó la no afectación del medio ambiente.

2.11.1 Pavimento de hormigón asfáltico

Exudación

Se forma como una película extremadamente lisa, la incidencia de las lluvias tiende a reducir el coeficiente de fricción provocando serios problemas para la circulación. En su aparición puede incidir el exceso de asfalto en la mezcla asfáltica empleada en la construcción, la incorrecta construcción del sello, un riego de liga o de impregnación excesivos, o solventes que le ocasiona el asfalto a la superficie.

Para este deterioro se recomienda el siguiente proceder:

- Remover o raspar el exceso de asfalto aflorado
- Efectuar un tratamiento superficial, en virtud de que los riesgos de sello tipo carretera son peligrosos, ya que pueden dañar las turbinas de los aviones por la ingestión del material pétreo, los tratamientos superficiales deben aplicarse con mortero asfáltico

Ondulación

Su origen radica fundamentalmente por la combinación de una superficie o base inestable con la acción que ejerce el tráfico. Como efecto puede provocar sobreesfuerzos en la estructura del avión y en el pavimento, alteraciones en las lecturas de los instrumentos a bordo e incomodidad para los pasajeros.

Para su eliminación se sugieren labores de mantenimiento preventivo dirigidas a:

- Reparar el pavimento defectuoso

Depresión

Este deterioro puede ser causado por el asentamiento del terreno de fundación o durante el proceso de construcción.

Para su solución se recomiendan trabajos de mantenimiento dirigidos a:

- Demoler y repara el pavimento defectuoso

Erosión por chorro de turbina

Es originada por los motores de las aeronaves.

- Para este tipo de deterioro los trabajos preventivos deben estar dirigidos hacia el restablecimiento de la carpeta asfáltica

Fisuras longitudinales, transversales y diagonales

Entre las causas de estas fallas pueden estar un drenaje defectuoso en el acotamiento que origina procesos de saturado y secado del material que lo constituye, contracciones del suelo de cimentación, una liga defectuosa entre dos franjas de construcción de la carpeta, o a la diferencia de comportamiento entre los materiales cuando se trata de la unión entre un pavimento rígido y uno flexible. También pudieron haber sido provocadas por asentamientos aislados de la subrasante, base o sub-base como por ejemplo en el caso de los pavimentos que son cruzados por tuberías o ductos.

- Se recomienda como trabajos de mantenimiento preventivo reparar el drenaje, limpiar las grietas con cepillo y aire a presión y sellarlas
- Reparar el drenaje, limpiar las grietas con cepillo y aire a presión y sellarlas

Bacheos

Las causas de su aparición pueden ser originadas por cualquiera de los deterioros anteriores o por un defecto de construcción, aunque su severidad sea baja deben ser

considerados debido a los problemas que pueden ocasionar por generar un coeficiente de rozamiento diferencial.

Como labores de mantenimiento preventivo se recomienda lo siguiente:

- Excavar hasta donde sea necesario para rellenar y obtener una mayor resistencia de la base o sub – base, compactar adecuadamente utilizando rodillo metálico si el área es grande, o placa vibratoria si el área es pequeña. Siempre se debe lograr que la superficie del parche coincida con la superficie del pavimento adyacente

Agregados pulidos

Originado por el tráfico de las aeronaves o por mala calidad de la mezcla asfáltica.

La labor de mantenimiento preventivo recomendado es la siguiente:

- Aumento del coeficiente de rozamiento, empleando la granalladora

Peladura

Se produce por el desprendimiento de agregados y la pérdida de la capacidad del ligante de asfalto, puede conducir a que el asfalto se ha rigidice significativamente.

La labor de mantenimiento preventivo es la siguiente:

- Restablecimiento de la carpeta asfáltica

2.11.2 Pavimento de hormigón hidráulico

Rotura de esquina

Se produce fundamentalmente por el fallo estructural provocado por las cargas sobre las esquinas carentes de suficiente apoyo.

Cuando la grieta forma un pequeño triángulo en la esquina de la losa se recomiendan como labores de mantenimiento las siguientes:

- Remover el material dañado y parchar con hormigón asfáltico

- Sellar la junta. Remover el material dañado y parchar con concreto hidráulico y resinas epóxicas u otro adhesivo adecuado

Si la grieta está más al centro de la losa:

- Sellar la grieta con material flexible para evitar infiltraciones
- Rellenar la grieta con adhesivo a base de resinas epóxicas o polímeros eliminando previamente la causa del problema

Fisuras longitudinales, transversales y diagonales

Son originadas fundamentalmente por fallas estructurales, movimiento en la cimentación, alabeos, contracción de fraguado o por cambios de temperatura.

Las labores preventivas recomendadas son las siguientes:

- Sellar las grietas con material flexible, demoler o sustituir la grieta por una junta, o soldar la grieta con adhesivo a base de resinas epóxicas o polímeros

Fisura de durabilidad “D”

Pueden estar originadas debido a la infiltración de materiales no compresibles en la junta procedentes del medio ambiente, concreto poco resistente o manejo defectuoso del concreto.

Se recomienda como mantenimiento preventivo lo siguiente:

- Eliminar de la infiltración y sellado de la junta
- Parchar con concreto asfáltico o con insertos prefabricados fijados con adhesivo epóxico
- Hacer un cajón y reponer el concreto; utilizar resinas epóxicas u otro adhesivo adecuado

Baches

Las características de este tipo de deterioro en pavimento de hormigón hidráulico y las labores de mantenimiento recomendables para su solución son las mismas que se plantearon para pavimento de hormigón asfáltico.

Pérdidas repentinas

Su origen obedece a la utilización de materiales de poca duración, efectos del clima, ciclos de hielo y deshielo, escaso o nulo aire incluido.

- Como labor de mantenimiento preventivo se recomienda demoler y reparar el pavimento defectuoso

Desprendimientos superficiales

Su origen puede estar dado por la utilización excesiva de agua en la colocación del hormigón, acabados excesivos de la superficie, impurezas en los agregados y utilización de productos químicos sobre la superficie.

Se recomienda como labores preventivas las siguientes:

- Aplicar una o más capas de hormigón asfáltico si no hay agujeros profundos
- Parchar con concreto asfáltico
- Parchar con hormigón hidráulico utilizando (granulometría adecuada) y resinas epólicas u otro adhesivo

Losa fragmentada

Son causadas principalmente por el fallo estructural o el movimiento de las capas en la cimentación.

- Se recomienda como mantenimiento preventivo la demolición del pavimento defectuoso y repararlo

Con la determinación de las causas de cada deterioro identificado y la proposición de la labor preventiva de mantenimiento correspondiente para su solución, concluye la propuesta elaborada. Como es conocido en la investigación se utilizó el método Índice de Condición de Pavimentos (PCI) para la evaluación de la superficie (pavimentos), por su importancia resulta pertinente su valoración y la de la investigación realizada.

2.12 Valoración de la investigación

La aplicación del PCI para la evaluación de los pavimentos de la pista principal del Aeropuerto Internacional “Juan Gualberto Gómez” se basó en los resultados de una detallada inspección de toda la superficie de la pista, durante la misma se tuvo en cuenta las normativas para la prevención de accidentes establecidas en el Anexo 14 de la OACI, incluyendo el sistema de señales, lo que propició el cumplimiento de los objetivos para los que este método fue creado.

El seguimiento de los requisitos establecidos para su aplicación permitió identificar la cantidad y severidad de cada tipo de deterioro con el mínimo de recursos, o sea sin la utilización de ningún equipo especial de evaluación; lográndose sin embargo adecuada repetibilidad y confiabilidad estadística de los resultados, y el suministro de información confiable sobre todas las fallas que presenta el pavimento y áreas afectadas, como evidencia de su estado actual.

Entre los deterioros prevalecientes en pavimentos asfálticos estuvieron la rotura de esquina, baches y las fisuras transversales, longitudinales y diagonales, estas últimas, junto a la exudación predominaron también en los pavimentos de hormigón hidráulico, el resto de las fallas concebidas en la Norma ASTM D-5340 se encontraron con menor frecuencia o no fueron identificadas, por otra parte su baja severidad permite afirmar que el estado técnico de estos pavimentos es excelente.

El hecho de haber utilizado escasos recursos materiales, humanos y financieros para el diagnóstico de los pavimentos constituye un importante ahorro para la economía, lográndose como resultado principal de la investigación que la administración del aeropuerto cuente con una programación de mantenimiento para la adecuada conservación de los pavimentos.

Las experiencias compartidas durante el proceso investigativo y el informe resultante, constituyen una herramienta importante para evaluaciones futuras, se reconoce además el alto valor del intercambio constante durante toda la investigación con el personal

involucrado sobre diferentes temas de actualidad; incluyendo aspectos relacionados con la protección al medio ambiente, a lo que no es ajena la propuesta elaborada.

Conclusiones parciales

- El levantamiento de los deterioros en la pista permitió evidenciar qué tramos son los más dañados, sin llegar a efectuar un diagnóstico que expresara la calidad (excelente, buena, mala)
- El nivel de detalle logrado sobre los deterioros de la superficie, mediante la aplicación del PCI y su descripción, contribuyó a la elaboración de la propuesta de mantenimiento
- Las medidas de mantenimiento propuestas satisfacen las necesidades de los deterioros identificados en los pavimentos de la superficie de la pista principal del Aeropuerto Internacional “Juan Gualberto Gómez”

CONCLUSIONES GENERALES

La elaboración de una propuesta de mantenimiento de los pavimentos de la pista principal del Aeropuerto Internacional “Juan Gualberto Gómez” de Matanzas; ha sido el hilo conductor de la investigación realizada. La atención al problema científico planteado en el proceso investigativo, permitió arribar a las siguientes conclusiones:

1. El estudio y análisis de la base teórico conceptual para la conservación de pavimentos en aeropuertos, con especial énfasis en el método Índice de Condición de Pavimentos (PCI), constituyen la fundamentación teórica de la propuesta de mantenimiento elaborada.
2. El estudio exploratorio realizado mediante la aplicación del PCI para determinar el estado actual de la superficie de la pista principal del Aeropuerto Internacional “Juan Gualberto Gómez”, evidenció que los deterioros identificados en sus pavimentos son de baja severidad.
3. Es posible afirmar por los resultados del PCI, que la calificación técnica de los pavimentos de la pista principal del Aeropuerto Internacional “Juan Gualberto Gómez” es excelente, aunque requiere de la aplicación de labores de mantenimiento preventivo para su conservación y prestación de un servicio óptimo.
4. La propuesta de mantenimiento presentada da respuesta a los objetivos del trabajo y al problema científico formulado en el protocolo de la investigación.

RECOMENDACIONES

Se considera conveniente recomendar a la administración del aeropuerto, en relación con la investigación realizada, lo siguiente:

1. Analizar las medidas de mantenimiento preventivo propuestas, para su aplicación en el momento adecuado.
2. Aplicar las medidas de prevención contenidas en el Anexo 14 de la OACI para evitar accidentes durante la aplicación de la propuesta elaborada.
3. Divulgar los resultados de la investigación realizada para la posible aplicación del PCI en otros aeropuertos del país.

BIBLIOGRAFÍA

1. ACI. (2014). Informe de Tráfico Aéreo Mundial del Consejo Internacional de Aeropuertos.
2. ACRP Report 80, Guidebook for Incorporating Sustainability into Traditional Airport Projects, ACRP, Patrocinado por la FAA.
3. Aircraft Loading on Airport Pavements. (1983). ACN-PCN". U: S: Aviation Industry Working Group.
4. Anexo 14, OACI, Capítulo 10, Mantenimiento de Aeródromos
5. Applied pavement technology (2013). Washington Airport Pavement Management.
6. ASTM. D-5340 (2012). Standard Test Method for Airport Pavement Condition Index Surveys. Failure mechanism. . [Consultado 21 febrero 2020]. Disponible en: <https://failuremechanisms.wordpress.com/2012/08/01/d-cracking-durability-cracking/>
7. CAP 791 (2010). Procedures for Changes to Aerodrome Infrastructure, SRG, Civil Aviation authority – UK. 30.
8. Catálogo de deterioros de pavimentos flexibles en aeropuertos para Cuba. Revista de Arquitectura e Ingeniería, vol. 11, núm. 2, agosto, 2017, pp. 1-11. Empresa de Proyectos de Arquitectura e Ingeniería de Matanzas. Matanzas, Cuba. . [Consultado 16 enero2020]. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193954081002>
9. Corros, Maylin (2009). Manual de herramientas para la evaluación funcional y estructural de pavimentos flexibles. Programa de Capacitación Académica. Venezuela: Universidad Nacional de Ingeniería. Facultad de Tecnología de la Construcción. [Consultado 7 enero2020]. Disponible en: (<https://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/manual-de-evaluacion1.pdf>)
10. Cristiano Albarracín, Daniela y Pérez Cristian. (2011). Estado del arte en el diseño de pavimentos aeroportuarios. Proyecto de Grado. Universidad Industrial de Santander. España.
11. Dirección General de Aviación Civil (2012). Método estandarizado para el reporte de resistencia de pavimentos de aeródromos PCN-ACN. 1-13.
12. FAA Advisory Circular 150/5380-6B (or latest version) - Guidelines and Procedures for Maintenance of Airport Pavements. [Consultado 17 de mayo 2020]. Disponible en: http://www.faa.gov/regulations_policies/advisory_circulars/index.cfm/go/document.information/documentID/22556
13. Federal Aviation Administration. (2013). Washington Airport Pavement Management Manual. Traffic Air. [Consultado 14 enero2020]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/search/advanced?qs=Air%20Traffic&show=10>
14. García Saldivar, G. 2014. "Diseño de pavimento para aeropistas".TD, UNAM.

15. García Cruzado, Marcos (2013). Ingeniería Aeroportuaria. 4ta Edición. Fundación Aena.
16. Georgia department of transportation. (2012). Georgia Airport Pavement Management Report. Interstate Pavement Resurfacing. [Consultado 5 marzo 2020]. Disponible en: <http://iprslurryseal.com/services/crack-sealing>
17. Gil Barceló, María de Lourdes. (2016). Propuesta de catálogo para pavimentos flexibles en aeropuertos. Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría. La Habana. Cuba.
18. Herman de Solminihac, T (2001). "Índice de Fricción Internacional". Revista Bit.
19. (IACC 2004), "Índice de Condición de Pavimentos", Primera edición.
20. (IACC 2000), "Regulaciones Aeronáuticas" Cubanas No 14 (RAC-14). Parte 1: Aeródromos.
21. (IACC 1998). "Reglamento de Aeródromos".
22. IATA´s (2013). Runway Excursion Risk Reduction Toolkit. Mejores Prácticas de Aeródromo RERR de la OACI [Consultado 16 de enero2020]. Disponible en: <http://www.iata.org/iata/RERR-toolkit/main.html>
23. Loizos, A., & Charonitis, G. 2000. "Classification of airports pavement a simple methodology" *Public Works Management & Policy*", 115-125.
24. Loizos, A., & Charonitis, G. (2004)."Bearing capacity and structural classification of flexible airport pavements". *Journal of Transportation Engineering (ASCE)*, 34-42
25. Martín, (2016). .itransporte. [Consultado 14 marzo 2020]Disponible en:<http://revistsitransporte.es/larga-vida-a-los-pavimentos-de-tu-aeropuerto/>.
26. Martínez, R. (2014). Tipos de falla en pavimento flexible. . [Consultado 13 febrero 2020]. Disponible en: <http://fallasenpavimentoflexible.blogspot.com.es/2014/05/tipos-de-fallas-en-pavimento-flexible.html>
27. Mejores Prácticas en Aeródromos RERR de la OACI. [Consultado 16 abril 2020]Disponible en:http://www.iata.org/iata/RERRtoolkit/assets/Content/AirportsCAAs/ICAO_Aerodrome_Best_practice_Landscape_format.pdf
28. Ministerio de Fomento (2017). Documento de Regulación aeroportuaria. España.
29. Miranda Rebolledo, R. J. (2010). "Deterioros en pavimentos flexibles y rígidos".TD, Universidad Austral de Chile.
30. Morrilla Abad (2000). Laboratorio de Transporte y Mecánica del Suelo del Centro de Estudio y Experimentación de Obras Públicas de España.
31. Norma ASTM D-5340. Índice de Condición de Pavimentos en aeropuertos. (PCI). Apéndice X1. Evaluación de Pavimentos de Concreto Asfáltico (AC).
32. Norma ASTM D-5340. Índice de Condición de Pavimentos en aeropuertos. (PCI). Apéndice X2. Evaluación de Pavimentos de Hormigón (PCC).
33. 8th International Conference on Air Transport – INAIR (2019). Global Trends in Aviation. Operational Reliability of Aerodrome Pavements. Prioritization of pavement maintenance based on pavement condition.

34. (OACI 2012). Circular de Asesoramiento. *Publicación Técnica*, p. 64.
35. Pérez Jiménez, D. & Félix Edmundo (2011). Pavimentos asfálticos. Vademécum. Edición: 10 Edición. Cátedra de Caminos de la Universidad Politécnica de Cataluña. [Consultado 06, marzo 2020]. Disponible en: http://www.cepsa.com/cepsa/Que_ofrecemos/Asfaltos/Vademecum/
36. OACI Doc. 9137-AN/898 Parte 9, Manual de servicios de aeropuertos, prácticas de mantenimiento de aeropuertos. Capítulo 4.
37. Ramírez Rodríguez, Eugenio. (1986) "Estudios especiales de pavimentos para fines de evaluación ", México.
38. Reglamento Aeronáutico Latinoamericano de Aeródromos. LAR 153 (en desarrollo). [Consultado 07, abril 2020]. Disponible en: <http://www1.lima.icao.int/srvsop/document/lar>
39. Reglamento Aeronáutico Latinoamericano de Aeródromos. LAR 154 (en desarrollo). <http://www1.lima.icao.int/srvsop/document/lar>
40. *Revista de Arquitectura e Ingeniería*. 2017, Vol.11 No.2 ISSN 1990-8830 / RNPS 2125
41. Rodarte L. F. (1980). "Proyecto y Evaluación de pavimentos en aeropuertos".
42. Rodarte L. F. (1987). Conservación de aeropuertos, Sistema aeronáutico terrestre".
43. Thenoux Z., G. & Gaete P., R. (2014). Evaluación técnica del pavimento y comparación de métodos de Diseño de capas de refuerzo asfáltico. 1-6.
44. Torres Vila, J. A. 1999. "Diseño de pavimentos para carreteras y aeropuertos"; La Habana, Editorial Félix Varela.
45. Vásquez L. R. (2012) "Pavement Condition Index (PCI) para pavimentos asfálticos y de concreto en carreteras".
46. Vásquez L. R. (2015) Inspección visual y evaluación de deterioros en pavimentos asfálticos de carreteras con la metodología VIZIR. Universidad Nacional de Colombia.

Anexo I. Resultados del PCI para pavimentos de hormigón asfáltico

PAVIMENTO DE ASFALTO EN AEREOPUERTOS HOJA DE INSPECCION DE CONDICIONES PARA UNIDAD DE MUESTRA								DIAGRAMA:	
COMPONENTE: HORMIGÓN ASFÁLTICO SECCIÓN: 2 UNIDAD DE MUESTRA: 1 – 262									
Inspeccionado por: Evelio Carrasco				Área de la muestra: 117 765 m ²					
2.1. Piel de cocodrilo		2.6. Erosión chorro de turbina			2.11. Agregado pulido			2.16. Hinchamiento	
2.2. Exudación		2.7. Reflexión de juntas			2.12. Peladura				
2.3. Fisura de bloque		2.8. Fisuras long. y transv.			2.13. Ahuellamiento				
2.4. Ondulación		2.9. Derrame de combustible			2.14. PCC expuesto				
2.5. Depresión		2.10. Bacheos			2.15. Fisura por deslizamiento				
UNIDAD DE MUESTRA	TIPO DE FALLA	SEVERIDAD DE FALLA	CANTIDAD	TOTAL	DENSIDAD %	VALOR DE REDUCCIÓN	VALOR DE REDUCCIÓN C	VALOR PCI	CLASIFICACIÓN
1	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
2	2.2	X	1	1	0,22	2	-	97,9	Excelente
	2.10	B(L)	1	1	0,22	2,2	-		
3	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
4	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
5	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
6	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
7	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente

8	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
9	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
10	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
11	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
12	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
13	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
14	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
15	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
16	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
17	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
18	2.5	B(L)	1	1	0,22	0,9	-	99.1	Excelente
19	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
20	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
21	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
22	2.4	M(M)	1	1	0,22	7,6	10	90	Excelente
23	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
24	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
25	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
26	2.2	X	2	2	0,44	4,5	-	95,5	Excelente
27	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
28	2.2	X	2	2	0,44	4,5	-	95.5	Excelente
29	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
30	2.2	X	1	1	0,22	2	-	98	Excelente
31	-	B(L)	1	1	0,22	2,4	-	97,6	Excelente
32	2.2	X	1	1	0,22	2	-	98	Excelente
33	2.2	X	1	1	0,22	2	-	98	Excelente
34	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
35	2.8	B(L)	1	1	0,22	3	-	97	Excelente
36	2.2	X	1	1	0,22	2	-	98	Excelente
37	2.8	B(L)	2	2	0,44	3,5	-	96,5	Excelente
38	2.2	X	2	2	0,44	4,5	-	95,5	Excelente
	2.8	B(L)	1	1	0,22	3	-		
39	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
40	2.8	B(L)	1	1	0,22	3	-	97	Excelente
41	2.2	X	1	1	0,22	2	-	98	Excelente
42	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
43	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
44	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
45	2.2	X	1	1	0,22	2	-	97.5	Excelente
	2.8	B(L)	1	1	0,22	3	-		
46	2.2	X	1	1	0,22	2	-	98	Excelente
47	2.8	B(L)	1	1	0,22	3	-	97	Excelente
48	2.2	X	1	1	0,22	2	-	98	Excelente
49	2.2	X	2	2	0,44	4,5	-	95,5	Excelente
50	2.2	X	1	1	0,22	2	-	98	Excelente

51	2.8	B(L)	1	1	0,22	3	-	97	Excelente
52	2.2	X	1	1	0,22	2	-	98	Excelente
53	2.2	X	1	1	0,22	2	-	98	Excelente
54	2.8	B(L)	1	1	0,22	3	-	97	Excelente
55	2.5	B(L)	1	1	0,22	0,9	-	98.05	Excelente
	2.8	B(L)	1	1	0,22	3	-		
56	2.5	B(L)	1	1	0,22	0,9	-	98.05	Excelente
	2.8	B(L)	1	1	0,22	3	-		
57	2.5	B(L)	1	1	0,22	0,9	-	98.05	Excelente
	2.8	B(L)	1	1	0,22	3	-		
58	2.8	B(L)	1	1	0,22	3	-	97	Excelente
59	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
60	2.8	B(L)	2	2	0,44	3,5	-	96,5	Excelente
61	2.8	B(L)	1	1	0,22	3	-	97	Excelente
62	2.8	B(L)	1	1	0,22	3	-	97.3	Excelente
	2.12	B(L)	1	1	0,22	2,4	-		
63	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
64	2.2	X	1	1	0,22	2	-	98	Excelente
65	2.2	X	1	1	0,22	2	-	98	Excelente
66	2.2	X	1	1	0,22	2	-	98	Excelente
67	2.8	B(L)	1	1	0,22	3	-	97	Excelente
68	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
69	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
70	2.10	B(L)	1	1	0,22	5	-	95	Excelente
71	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
72	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
73	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
74	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
75	2.2	X	1	1	0,22	2	-	98	Excelente
76	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
77	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
78	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
79	2.8	B(L)	1	1	0,22	3	-	97	Excelente
80	2.8	B(L)	1	1	0,22	3	-	97	Excelente
81	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
82	2.8	B(L)	1	1	0,22	3	-	97	Excelente
83	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
84	2.8	B(L)	1	1	0,22	3	-	97	Excelente
85	2.8	B(L)	1	1	0,22	3	-	97	Excelente
86	2.8	B(L)	2	2	0,44	3,5	-	96,5	Excelente
87	2.8	M(M)	1	1	0,22	3,8	-	96,2	Excelente
88	2.2	X	1	1	0,22	2	-	97.5	Excelente
	2.8	B(L)	1	1	0,22	3	-		
89	2.2	B(L)	1	1	0,22	2	-	97,6	Excelente
90	2.2	X	1	1	0,22	2	-	97.25	Excelente

	2.8	B(L)	2	2	0,44	3,5	-		
91	2.2	X	1	1	0,22	2	-	98	Excelente
92	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
93	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
94	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
95	2.2	X	1	1	0,22	2	-	98	Excelente
96	2.2	X	1	1	0,22	2	-	98	Excelente
97	2.2	X	1	1	0,22	2	-	98	Excelente
98	2.2	X	1	1	0,22	2	-	98	Excelente
99	2.2	X	1	1	0,22	2	-	97.5	Excelente
	2.8	B(L)	1	1	0,22	3	-		
100	2.2	X	1	1	0,22	2	-	97.5	Excelente
	2.8	B(L)	1	1	0,22	3	-		
101	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
102	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
103	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
104	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
105	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
106	2.8	B(L)	1	1	0,22	3	-	97	Excelente
107	2.8	B(L)	1	1	0,22	3	-	97	Excelente
108	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
109	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
110	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
111	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
112	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
113	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
114	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
115	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
116	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
117	2.8	B(L)	1	1	0,22	3	-	97	Excelente
118	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
119	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
120	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
121	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
122	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
123	2.5	B(L)	1	1	0,22	0,9	-	99,1	Excelente
124	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
125	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
126	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
127	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
128	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
129	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
130	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
131	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
132	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente

133	2.2	X	1	1	0,22	2	-	98	Excelente
134	2.2	X	1	1	0,22	2	-	98	Excelente
135	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
136	2.2	X	1	1	0,22	2	-	98.25	Excelente
	2.6	X	1	1	0,22	1,5	-		
137	2.2	X	1	1	0,22	2	-	98	Excelente
138	2.6	X	1	1	0,22	1,5	-	98,5	Excelente
139	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
140	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
141	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
142	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
143	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
144	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
145	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
146	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
147	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
148	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
149	2.6	X	1	1	0,22	1,5	-	98,5	Excelente
150	2.6	X	1	1	0,22	1,5	-	98,5	Excelente
151	2.6	X	1	1	0,22	1,5	-	98,5	Excelente
152	2.6	X	1	1	0,22	1,5	-	98,5	Excelente
153	2.6	X	1	1	0,22	1,5	-	98,5	Excelente
154	2.6	X	1	1	0,22	1,5	-	98.5	Excelente
155	2.2	X	1	1	0,22	2	-	97.83	Excelente
	2.6	X	1	1	0,22	1,5	-		
	2.8	B(L)	1	1	0,22	3	-		
156	2.2	X	1	1	0,22	2	-	97.5	Excelente
	2.8	B(L)	1	1	0,22	3	-		
157	2.5	B(L)	1	1	0,22	0,9	-	99.1	Excelente
158	2.5	M(M)	1	1	0,22	0,5	-	98.05	Excelente
	2.12	B(L)	1	1	0,22	2,4	-		
159	2.2	X	1	1	0,22	2	-	98	Excelente
160	2.2	X	1	1	0,22	2	-	97.5	Excelente
	2.8	B(L)	1	1	0,22	3	-		
161	2.2	X	1	1	0,22	2	-	98	Excelente
162	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
163	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
164	2.2	X	1	1	0,22	2	-	98	Excelente
165	2.2	X	1	1	0,22	2	-	98	Excelente
166	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
167	2.8	B(L)	1	1	0,22	3	-	97	Excelente
168	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
169	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
170	2.2	X	2	2	0,44	4,5	-	95,5	Excelente
171	2.8	B(L)	1	1	0,22	3	-	97	Excelente

172	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
173	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
174	2.2	X	1	1	0,22	2	-	97.5	Excelente
	2.8	B(L)	1	1	0,22	3	-		
175	2.8	B(L)	1	1	0,22	3	-	97	Excelente
176	2.8	B(L)	1	1	0,22	3	-	97	Excelente
177	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
178	2.2	X	1	1	0,22	2	-	98	Excelente
179	2.2	X	1	1	0,22	2	-	98	Excelente
180	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
181	2.8	B(L)	1	1	0,22	3	-	97	Excelente
182	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
183	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
184	2.8	B(L)	1	1	0,22	3	-	97	Excelente
185	2.2	X	1	1	0,22	2	-	98	Excelente
186	2.8	B(L)	1	1	0,22	3	-	97	Excelente
187	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
188	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
189	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
190	2.8	B(L)	1	1	0,22	3	-	97	Excelente
191	2.2	X	1	1	0,22	2	-	97.5	Excelente
	2.8	B(L)	1	1	0,22	3	-		
192	2.8	B(L)	1	1	0,22	3	-	97	Excelente
193	2.8	B(L)	1	1	0,22	3	-	97	Excelente
194	2.2	X	1	1	0,22	2	-	98	Excelente
195	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
196	2.11	B(L)	1	1	0,22	10,6	-	89,4	Excelente
197	2.8	B(L)	1	1	0,22	3	-	97	Excelente
198	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
199	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
200	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
201	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
202	2.12	B(L)	1	1	0,22	2,4	-	97.6	Excelente
203	2.12	B(L)	1	1	0,22	2,4	-	97.6	
204	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
205	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
206	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
207	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
208	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
209	2.5	B(L)	1	1	0,22	0,9	-	98.05	Excelente
	2.8	B(L)	1	1	0,22	3	-		
210	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
211	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
212	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
213	2.8	B(L)	1	1	0,22	3	-	97	Excelente

214	2.5	B(L)	1	1	0,22	0,9	-	98.05	Excelente
	2.8	B(L)	1	1	0,22	3	-		
215	2.2	X	2	2	0,44	4,5	-	96	Excelente
	2.8	B(L)	2	2	0,44	3,5	-		
216	2.2	X	3	3	0,66	5,1	-	94,9	Excelente
217	2.2	X	1	1	0,22	2	-	97.5	Excelente
	2.8	B(L)	1	1	0,22	3	-		
218	2.2	X	1	1	0,22	2	-	97	Excelente
	2.8	B(L)	1	1	0,22	3	-		
219	2.2	X	1	1	0,22	2	-	97.5	Excelente
	2.8	B(L)	1	1	0,22	3	-		
220	2.2	X	1	1	0,22	2	-	98	Excelente
221	2.8	B(L)	1	1	0,22	3	-	97	Excelente
222	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
223	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
224	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
225	2.8	B(L)	1	1	0,22	3	-	97	Excelente
226	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
227	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
228	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
229	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
230	2.4	B(L)	1	1	0,22	4,6	-	95.4	Excelente
231	2.2	X	1	1	0,22	2,5	-	97.5	Excelente
232	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
233	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
234	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
235	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
236	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
237	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
238	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
239	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
240	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
241	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
242	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
243	2.2	X	1	1	0,22	2	-	98	Excelente
244	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
245	2.2		1	1	0,22	2	-	97,6	Excelente
246	2.4	B(L)	1	1	0,22	4,6	-	95,4	Excelente
247	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
248	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
249	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
250	2.4	B(L)	1	1	0,22	4,6	-	95,4	Excelente
251	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
252	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
253	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente

254	2.8	B(L)	1	1	0,22	3		97	Excelente
255	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
256	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
257	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
258	2.8	B(L)	1	1	0,22	3	-	97	Excelente
259	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
260	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
261	2.8	B(L)	1	1	0,22	3	-	97	Excelente
262	2.8	B(L)	1	1	0,22	3	-	97	Excelente
PCI Obtenido								98.9382	Excelente

Anexo II Resultados del PCI para pavimentos de hormigón hidráulico

PAVIMENTO DE HORMIGÓN EN AEROPUERTOS									
HOJA DE INSPECCIÓN DE CONDICIONES									
PARA UNIDAD DE MUESTRA									
COMPONENTE: HORMIGÓN HIDRÁULICO SECCIÓN: 2					UNIDAD DE MUESTRA: 1 – 40				
Inspeccionado por: Evelio Carrasco					Área de la muestra: 18 000 m ²				
3.1. Fisuras			3.6. Daño en sello de juntas		3.11. Desprendimientos superficiales			3.16. Desprendimiento en esquina	
3.2. Estallidos			3.7. Bacheos<0.5 m ²		3.12. Asentamientos				
3.3. Rotura de esquina			3.8. Bacheos>0.5 m ²		3.13. Losa fragmentada				
3.4. Fisuras longitudinales, transversales y diagonales			3.9. Pérdidas repentinas		3.14. Fisuras por retracción				
3.5. Fisura de durabilidad (D)			3.10. Bombeo		3.15. Desprendimiento en junta				
UNIDAD DE MUESTRA	TIP O DE FAL LA	SEVERIDA D DE FALLA	CANT IDAD	TOT AL	DENSIDA D %	VALOR DE REDUC CIÓN	VALO R DE REDU CCIÓN	VALO R PCI	CLASIFICA CIÓN
1	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
2	3.4	B(L)	1	1	5,55	5,1	-	94,9	Excelente
	3.5	B(L)	1	1	5,55	4,7	-		
3	3.3	B(L)	2	2	11,11	9,6	-	90,4	Excelente

4	3.3	B(L)	1	1	5,55	4	-	96	Excelente
5	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
6	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
7	3.4	B(L)	2	2	11,11	10	-	90	Excelente
8	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
9	3.9	X	2	2	11,11	9,6	-	90,4	Excelente
10	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
11	3.4	B(L)	1	1	5,55	5,1	-	94,9	Excelente
12	3.4	B(L)	3	3	16,66	12,5	-	87,5	Excelente
13	3.4	B(L)	1	1	5,55	5,1	-	94,9	Excelente
	3.11	B(L)	1	1	5,55	3,2	-		
14	3.4	B(L)	1	1	5,55	5,1	-	94,9	Excelente
15	3.3	B(L)	1	1	5,55	4	-	94,9	Excelente
	3.4	B(L)	1	1	5,55	5,1	-		
	3.5	B(L)	1	1	5,55	4,7	-		
16	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
17	3.11	B(L)	1	1	5,55	3,2	-	96,8	Excelente
18	3.3	B(L)	1	1	5,55	9,6	-	90,4	Excelente
	3.11	B(L)	1	1	5,55	3,2	-		
19	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
20	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
21	-	-	-	-	-	-	-	100	Excelente
22	3.3	M(M)	1	1	5,55	10,1	-	89,9	Excelente
24	3.3	B(L)	1	1	5,55	4	-	94,9	Excelente
	3.4	B(L)	1	1	5,55	5,1	-		
25	3.3	B(L)	1	1	5,55	4	-	90	Excelente
	3.4	B(L)	2	2	11,11	10	-		
	3.11	B(L)	1	1	5,55	3,2	-		
26	3.4	B(L)	1	1	5,55	5,1	-	94,9	Excelente
	3.11	B(L)	1	1	5,55	3,2	-		
27	3.4	B(L)	1	1	5,55	5,1	-	94,9	Excelente
28	3.4	B(L)	1	1	5,55	5,1	-	94,9	Excelente
	3.4	B(L)	1	1	5,55	5,1	16		
29	3.5	B(L)	1	1	5,55	4,7	-	84	Muy Bueno
	3.13	B(L)	1	1	5,55	10	-		
30	3.4	B(L)	2	2	11,11	10	-	90	Excelente
31	3.3	B(L)	2	2	11,11	9,6	15	85	Muy Bueno
	3.4	B(L)	1	1	5,55	5,1	-		
32	3.4	B(L)	2	2	11,11	10	-	90	Excelente
	3.5	B(L)	1	1	5,55	4,7	-		
	3.8	B(L)	1	1	5,55	3,5	-		
33	3.4	M(M)	1	1	5,55	12,6	20	80	Muy Bueno
	3.8	B(L)	1	1	5,55	3,5	-		
	3.13	B(L)	1	1	5,55	10	-		
	3.3	B(L)	1	1	5,55	4	-		

34	3.4	B(L)	1	1	5,55	5,1	-	94,9	Excelente
	3.8	B(L)	1	1	5,55	3	-		
35	3.8	B(L)	1	1	5,55	3,5	-	79,9	Muy Bueno
	3.13	B(L)	3	3	16,66	20,1	-		
36	3.3	B(L)	1	1	5,55	4	-	78	Muy Bueno
	3.4	M(M)	1	1	5,55	12,6	-		
	3.8	B(L)	1	1	5,55	3,5	-		
	3.13	B(L)	1	1	5,55	10	-		
37	3.4	B(L)	1	1	5,55	5,1	-	90	Excelente
	3.8	B(L)	2	2	11,11	9,7	-		
38	3.4	B(L)	1	1	5,55	5,1	-	94,9	Excelente
	3.8	B(L)	1	1	5,55	3,5	-		
39	3.4	B(L)	2	2	11,11	10	10	90	Excelente
	3.13	B(L)	1	1	5,55	10	-		
40	3.8	B(L)	1	1	5,55	3,5	-	90	Excelente
	3.13	B(L)	1	1	5,55	10	-		
PCI Obtenido								92,876 9	Excelente