



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CALIBRACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE PAVIMENTOS EN LOS AEROPUERTOS DE CHIHUAHUA, ZIHUATANEJO Y SAN LUIS POTOSÍ

T E S I S

Para obtener el título de Ingeniero Civil

PRESENTA:

CARLOS IVAN BERNAL TISCAREÑO

ASESOR DE TESIS:

Doctor en Ingeniería Civil. Mario Salazar Amaya

Morelia, Michoacán, Mayo 2015



Dedicatoria

Dedico enteramente todo mi esfuerzo y profundo agradecimiento a mi mamá Ricarda Tiscareño Limón. Siempre ha sido y seguirá siendo por muchos años más fuente de inspiración y ejemplo a seguir no sólo en mi carrera profesional como ingeniero sino en todos los ámbitos de mi vida. Me resulta de lo más increíble y dulce pensar en tanto amor que puede dar una persona en su vida, y por ello, infinitas gracias.

A mi papá José Guadalupe Bernal Reyes, a mis hermanos David, Alejandro y Eder y mis hermanas Mary, Lety, Blanca Gracy, y Vero de quiénes he tenido siempre un apoyo incondicional, mis más sinceros agradecimientos.

A mis pequeños (algunos ya no tan pequeños) sobrinos y sobrinas quienes siempre han sabido regalarme y robarme sonrisas.

Agradecimientos

Por su gran apoyo indispensable para la elaboración de la presente tesis, agradezco al Dr. Mauricio Centeno Ortíz. Ingeniero comprometido con su vocación que abrió el camino de la gestión de pavimentos en aeropuertos con quién siempre ha sido un enorme placer trabajar.

A la Ing. Liliana Juárez González por haber proporcionado la información requerida para la calibración del sistema de gestión y el mejor funcionamiento de éste.

Agradezco al letrado y muy cercano amigo Ricardo Flores Medina por aportar con sus conocimientos en cuestiones relacionadas con la redacción de este trabajo. A quien molesté en repetidas ocasiones y ahora me siento en deuda.

Hermano e Ingeniero Eder Heberto Bernal Tiscareño que con sus conocimientos técnicos en economía me ayudó a resolver algunas cuestiones relacionadas con el tema de inflación.

Gracias al Dr. Mario Salazar Amaya, quien asesoró este trabajo y quién con su experiencia en pavimentos hizo aportaciones importantes.

Índice

Resumen	6
Abstract	7
Objetivo general	8
Objetivos particulares	9
Hipótesis	10
Introducción	12
Breve reseña histórica de los pavimentos en aeropuertos en México y el mundo	16
Comparación de pavimentos en aeropuertos y en carreteras	22
Aeropuertos de México	23
Capítulo I. Sistemas de Gestión de Pavimentos para Aeropuertos	26
1.1 Importancia	26
1.2 Algunos programas de gestión de pavimentos y MicroPAVER	29
1.2.1 HDM-III y HDM-4	29
1.2.2 Pavement Evaluator	31
1.2.3 Sistema de gestión integral para la mantención (GIMP)	32
1.2.4 SAMPU	34
1.3 MicroPAVER	35
1.3.1 Inventario	36
1.3.2 Trabajo	39
1.3.3 Inspección	40
1.3.4 Reporte	50
1.3.5 Modelos de predicción	52
1.3.6 Análisis de Condiciones	52
1.3.7 M&R Plan	53
1.3.8 Extras	53
Capítulo 2. Generalidades de los aeropuertos de San Luis Potosí, Chihuahua y Zihuatanejo	55
2.1 Grupo Aeroportuario Centro Norte (OMA)	55
2.2 Generalidades del Aeropuerto de Chihuahua	56
2.3 Generalidades del Aeropuerto de San Luis Potosí	58
2.4 Generalidades del Aeropuerto de Zihuatanejo	60

Capítulo 3. Sistemas de gestión de pavimentos en los aeropuertos de San Luis Potosí, Chihuahua y Zihuatanejo.....	62
3.1 Inspecciones realizadas.....	62
3.2 Obtención de datos para calibrar el sistema	80
3.3 Análisis de diferentes propuestas de planes de mantenimiento y rehabilitación	108
3.3.1 Aeropuerto de Chihuahua.....	108
3.3.2 Aeropuerto de San Luis Potosí.....	114
3.3.3 Aeropuerto de Zihuatanejo.....	117
Capítulo 4. Calibración del sistema de costos de los aeropuertos estudiados.....	121
4.1 Descripción de las tablas de costos	121
4.1.1 Tablas de costos de M&R correctivos y localizados	122
4.1.2 Tablas de costos de M&R preventivos y localizados	124
4.1.3 Tablas de costos de M&R preventivos globales.....	125
4.1.4 Tablas de costos de M&R mayores	125
4.2 Actualización de las tablas de costos.....	130
Capítulo 5. Calibración de los modelos de comportamiento de PCI para los diferentes aeropuertos.....	136
5.1 Descripción.....	136
5.2 Modelos usados en MicroPAVER.....	138
5.3 Modelos de predicción en los aeropuertos	144
Conclusiones	151
Índice de tablas.....	153
Índice de figuras	156
Bibliografía	158

Resumen

En México los pavimentos han sido mantenidos pero no gestionados. Grupo OMA ha implementado un sistema de gestión para sus pavimentos con asesoría del experto Dr. Mauricio Centeno Ortíz. Este sistema de gestión brinda muchas ayudas al ingeniero: le permite conocer más detalladamente la condición de sus pavimentos, llevar un control de obras de una manera muy ordenada, crear modelos de predicción que le permitan predecir el futuro comportamiento de sus pavimentos y otras funciones más.

Este sistema de gestión implementado es susceptible de mejoras. Requiere de tener registrado el historial de obras que han sido llevadas a cabo, revisar que las inspecciones realizadas estén adecuadamente cargadas al sistema, la creación de modelos de predicción que permiten la predicción del comportamiento de los pavimentos y actualizar tablas de costos con las que trabaja el sistema. Existen otros datos que se deben tener en cuenta y revisar que estén debidamente cargados pero los anteriormente mencionados son los más importantes

Es tarea de esta tesis calibrar el sistema para que los resultados que arroje sean más cercanos a la realidad del comportamiento de los pavimentos. Se escogieron únicamente tres de los trece aeropuertos que opera OMA, dado que calibrar los trece aeropuertos sobrepasa la cantidad de información que conforma una tesis de licenciatura. En base a los resultados positivos esperados y la deseada demostración de la importación de la implementación de sistemas de gestión en pavimentos, se desea que más pavimentos en México sean gestionados en el futuro.

Palabras clave:

Gestión, pavimentos, calibración, resultados correctos.

Abstract

The pavements in Mexico have not been managed, only maintained. Grupo OMA has implemented a management system onto its pavements with advice of expert Ph.D. Mauricio Centeno Ortiz. This management system helps in many ways: it lets the engineer get to know in more detail the pavement condition, keep track in a very ordered way of the work done, it create prediction models that let the engineers predict the future condition of the pavements and many other functions more.

This management system is susceptible of working better. It requires more data about the work done, check that pavement inspections have been done correctly, as well as the input to the system, the creation of the prediction models and update cost tables that the system use. There is other data that also has to be taken care of, but these are the most important issues at the moment.

It is a serious issue that this thesis will try to approach. In it, a calibration is pursued with the intention that the results will be more accurate. Only three airports have been chosen out of the thirteen that Grupo OMA administrates. The reason is that to calibrate the thirteen airport pavements would result in a much larger thesis which is not suitable. It is hoped that with the expected positive results and the importance of a management system implementation proved, more pavements will be maintained in the future.

Key words:

Management, pavements, calibration, correct results.

Objetivo general

Calibrar el sistema de gestión de Pavimentos implementado en los 13 aeropuertos de Grupo Aeroportuario Centro Norte (OMA), para el caso particular de Chihuahua, San Luis Potosí, y Zihuatanejo, buscando optimizar su funcionamiento y determinar con casos reales la importancia de contar con un sistema de gestión de pavimentos para obtener las ventajas inherentes a la aplicación de estos sistemas.

La gestión de pavimentos busca realizar las inversiones de conservación en tiempo óptimo para evitar sobre costos por la aplicación de obras a destiempo y no planificadas; por lo tanto, se pretende que los ingenieros, técnicos, administradores o encargados de preservar y rehabilitar los pavimentos se percaten de lo útil que resulta usar un sistema de este tipo. Para demostrar todo esto se pretende analizar el caso del sistema de gestión implementado en los tres aeropuertos antes mencionados. El sistema se evalúa antes y después de ser calibrado, de esta manera se analiza si se ofrecen resultados más apropiados a las condiciones reales de los pavimentos. Para lograr este objetivo es necesario:

- a. Realizar un inventario de los pavimentos.
- b. Planear auscultaciones adecuadamente.
- c. Determinar las características de los presupuestos para conservar los pavimentos en el estado que se desee.
- d. Identificar requerimientos de obras.
- e. Dar prioridad a proyectos.
- f. Optimizar al máximo los recursos de mantenimiento.

Dado que el sistema de gestión implementado no cuenta aún con una calibración, ya que durante su implementación no se tenía un historial de comportamiento de los pavimentos, en el presente trabajo se realizará un procedimiento de calibración aprovechando el historial que actualmente se tiene para con ello mejorar los resultados que actualmente se tienen por el uso del sistema.

Objetivos particulares

Ya se mencionó el objetivo general, para lograrlo es necesaria la realización de tres objetivos particulares que son descritos a continuación:

- Calibración de las tablas de costos que utiliza el programa para cada uno de los aeropuertos en el programa Micro PAVER, mediante el análisis de la información histórica de obras realizadas en cada uno de los aeropuertos.
- Asignación de ecuaciones de predicción del modelo de PCI para los pavimentos en áreas operativas y no operativas en el programa Micro PAVER.
- Analizar e introducir el historial de obras que se han realizado en cada zona de los 3 aeropuertos para que el programa se adapte a las condiciones actuales y resultados obtenidos a partir de su implementación.
- Analizar los archivos de cada aeropuerto después de ser calibrados y comparar los resultados con los archivos no actualizados para determinar la importancia y el impacto de la gestión de los pavimentos y la conveniencia de llevar a cabo un control ordenado en el registro de obras que se realizan en cada zona de cada uno de los aeropuertos.

Hipótesis

La información histórica con que cuenta cada uno de los aeropuertos analizados es suficiente y se puede ajustar a un comportamiento típico para la calibración del sistema de gestión tanto en los modelos de predicción como en los costos asociados a la conservación de pavimentos. Actualmente se tienen los archivos de los trece aeropuertos que conforman Grupo OMA con valores y datos no actualizados a las obras de mantenimiento y rehabilitación que se llevan a cabo en los aeropuertos. Estos datos son principalmente costos de obra que corresponden a los de hace algunos años; otros corresponden a datos tomados en Estados Unidos, que fue donde se desarrolló el programa MicroPAVER, sistema de gestión adoptado por Grupo OMA. Dado que los datos con los que cuenta el sistema no están actualizados, resulta evidente que no entregará los mejores resultados. Si estos costos son actualizados, se tendrá resultados más apegados a las necesidades reales de cada aeropuerto.

Existen 3 aspectos de gran importancia que se desean atacar:

- a. Actualizar tablas de costos con datos reales que se ejecutan en nuestro país y costos actuales considerando la inflación que hay para zona geográfica donde se encuentra cada aeropuerto en particular.
- b. Ingresar el historial de obras a cada archivo que le permita al programa analizar el comportamiento real de cada pavimento en cada aeropuerto y a su vez que permita a los ingenieros conocer mejor el comportamiento de los pavimentos.
- c. Desarrollar los modelos de predicción en cada zona de cada aeropuerto que permita extrapolar el estado actual. Lo anterior con el fin de predecir el comportamiento de los pavimentos para así realizar programas de mantenimiento de manera más ordenada, eficiente y con la certeza de que el resultado global es un avance en la capacidad ingenieril de mantener los pavimentos en un estado que brinda comodidad pero sobre todo, seguridad a los miles de pasajeros que utilizan directa o indirectamente estas infraestructuras.

Una vez ejecutado todo lo anterior, se pueden comparar los archivos calibrados y actualizados con archivos de años anteriores que no contaban con suficiente

información de historial de obras, modelos de predicción y tablas de costos con valores actualizados. El resultado deseado es la evidencia de la necesidad de mantener un control y una organización que sitúe a cada aeropuerto en un terreno competitivo aprovechando todas las herramientas posibles de la ingeniería y los sistemas computacionales.

Introducción

Las vías de comunicación siempre han sido un pilar en el desarrollo de todas las civilizaciones. Tanto que resulta imposible visualizar una sociedad sin vías de comunicación que se usan para transportar todos los insumos necesarios tanto para nuestra vida cotidiana como para las fábricas de productos muy poco usados. Es por ello que el rápido crecimiento de las poblaciones ha requerido un eficaz aumento en la red carretera. El transporte ha venido a modificar absolutamente todo en nuestra sociedad. Cosas tan sencillas como un motor, una rueda y el combustible que le permiten al hombre recorrer distancias enormes en tiempos muy cortos le han permitido transportar lo que necesite en tiempos cada vez menores. Nuestro lenguaje, nuestra economía, nuestro estilo de vida, nuestra cultura e innumerables aspectos de nuestras vidas están enormemente influenciadas por el transporte.

Por otro lado, México goza de una ubicación privilegiada en el globo terráqueo. Hábitats diversos magnifican la grandeza del país: desde selva tropical hasta desiertos inhabitables, desde ciudades áridas a nivel del mar hasta ciudades en lo alto de las sierras donde el frío y las nevadas no cesan. Se goza el privilegio de tener suelos fértiles que ofrecen frutos, alimento, elementos pesados útiles para la industria termonuclear, metales y minerales valiosos y mucho más. Dos océanos diferentes y variados nos abrazan y recuerdan el valor de la naturaleza. Sobraría mencionar las reservas de petróleo con que cuenta el estado mexicano que nos aportan una estabilidad económica que ya ha sobrevivido a diversas crisis económicas. Los mexicanos somos la frontera entre un país eminentemente poderoso y un continente en vías de desarrollo. Universidades mexicanas prestigiadas preparan a científicos e ingenieros que forjarán el futuro así como artistas que alimentan e immortalizan nuestra identidad.

Para cuidar lo anterior: los pavimentos deben ser gestionados, no solo conservados, aunque puede resultar difícil cambiar nuestros hábitos que empleamos para conservar nuestros pavimentos, definitivamente será aún más difícil explicarle a las futuras generaciones cómo fallamos a la hora de cuidar nuestros recursos y preservar nuestras obras de infraestructura.

Esta tesis ha sido elaborada a partir de la necesidad de que el sistema de gestión MicroPAVER que implementó en 2010 Grupo Aeroportuario Centro Norte (quien opera 13 aeropuertos del país). Sin lugar a dudas, es un gran logro para la ingeniería mexicana haber implementado el sistema de gestión, pero falta mucho trabajo por hacer. En los objetivos están descritos los puntos por mejorar en el sistema de gestión que actualmente está implementado. Esta tarea se aborda en el presente trabajo el cual busca mejorar la información que se tiene actualmente en el sistema, aunque la descripción de las tareas asignadas no es tarea fácil ya que todas las funciones que desarrolla el sistema son dependientes entre sí.

Antes de abordar apropiadamente el tema de pavimentos, aeropuertos y sus configuraciones logísticas se hace una breve mención de los pavimentos en aeropuertos del mundo y en México a lo largo de la historia. La información es escasa. Aunque lo más importante se menciona, como la repartición administrativa aeroportuaria en México, una breve evolución de los aeropuertos y algunas definiciones por parte de la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI).

Son 5 capítulos los que componen este trabajo:

- 1. Sistemas de gestión de pavimentos para aeropuertos.** Se comienza mencionando la importancia de un sistema de gestión y algunos sistemas de gestión que han sido desarrollados. Además se describe el programa MicroPAVER que es usado para gestionar los pavimentos de los aeropuertos. Se hace una breve descripción de los elementos que lo componen y sus capacidades, aunque en capítulos más adelante se llevan a cabo las tareas de ajustar y asignar ciertos datos importantes.
- 2. Generalidades de los aeropuertos de Chihuahua, Zihuatanejo y San Luis Potosí.** Con el objetivo de evitar algunas posibles confusiones en los capítulos posteriores, se mencionan algunas características importantes de los aeropuertos como ubicación o designación IATA.
- 3. Sistemas de gestión de pavimentos en los aeropuertos de Chihuahua, Zihuatanejo y San Luis Potosí.** Un capítulo extenso sin dudas pues en éste se describe el análisis del historial de obras y las inspecciones realizadas. Aunque podría parecer razonable considerar ambas cuestiones en capítulos diferentes, se les describe en

el mismo capítulo por tener una correlación muy grande como se podrá observar al abordar el mencionado capítulo.

- 4. Calibración del sistema de costos de los aeropuertos estudiados.** En este breve capítulo se explica el porqué es importante calibrar las tablas de costos y el procedimiento para llevarlo a cabo.
- 5. Calibración de los modelos de comportamiento de PCI para los diferentes aeropuertos.** Un elemento indispensable en la gestión de pavimentos es modelar por métodos matemáticos el comportamiento de éstos para conocerlos a mayor profundidad y hacer posible la realización de predicciones lo más acertadas posibles. La metodología llevada a cabo es descrita en el último capítulo.

Finalmente se llega a las conclusiones. Hacer una conclusión del trabajo no es tarea fácil. Son muchos los conceptos que se encuentran involucrados y objetivos muy específicos, pero sobre todo en este caso, muy ambiciosos. Se tuvo que llegar a más de una conclusión, por lo que éstas se agrupan en conceptos similares.

Por último, con el propósito de facilitar la lectura de la tesis, se presentan a continuación algunos acrónimos y abreviaturas que serán usadas repetidamente durante la lectura del documento. Se recomienda al lector revisar las definiciones siguientes para evitar posibles confusiones y/o ambigüedades.

- AAC. Asphalt overlay over asphalt concrete (capa de asfalto sobre concreto asfáltico).
- AC. Asphalt concrete (concreto asfáltico).
- AICM. Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México.
- ASTM. American Society for Testing and Materials (Sociedad Americana para Pruebas en Materiales).
- CUU. Código IATA del Aeropuerto de Chihuahua.
- FAA. Federal Aviation Administration (Agencia Federal Estadounidense de la Administración Aerea).
- FHWA. Federal Highway Administration (Agencia Federal Estadounidense de la Administración de Caminos).
- FOD. Foreign object damage (Daño por objeto extraño).

- IATA. International Air Transport Association (Asociación Internacional de Transporte Aéreo).
- M&R. Mantenimiento y Rehabilitación de pavimentos.
- OACI. Organización de Aviación Civil Internacional.
- OMA. Grupo Aeroportuario Centro Norte.
- PCC. Portland cement concrete (concreto de cemento portland).
- PCI. Pavement Condition Index (Índice de Condición del Pavimento).
- PMR&R (rehabilitación y reconstrucción de en la gestión de pavimentos)
- SLP. Código IATA del Aeropuerto de San Luis Potosí.
- ZIH. Código IATA de Aeropuerto de Zihuatanejo.

Breve reseña histórica de los pavimentos en aeropuertos en México y el mundo

En los comienzos de la aviación no hubo pistas pavimentadas y todas las pistas eran de pasto o tierra. Lo anterior permitió a los primeros pilotos despegar y aterrizar contra el viento desde diferentes direcciones. Esto fue una enorme ventaja ya que los motores no eran tan enérgicos y eficientes como ahora lo son. La habilidad de despegar y aterrizar contra el viento, sin importar la dirección del viento respecto a la terminal fue una importante ventaja en los inicios de la aviación sobre todo cuando el desempeño de la aeronave en viento cruzado era más peligrosa que en la actualidad. Con el paso de los años, la experiencia de los pilotos y el personal en tierra se vieron en la necesidad de solicitar a los ingenieros civiles pavimentar las pistas para proporcionar una seguridad mayor a los pasajeros. Lo cual eventualmente significó el considerar los primeros aeródromos obsoletos.

En el caso de los pavimentos, aunque éstos han evolucionado significativamente durante bastantes siglos, la experiencia sigue jugando un papel importante en su diseño de pavimentos. Antes de la década de 1920 el espesor de una carpeta asfáltica o una losa hidráulica estaba basado únicamente en la experiencia. El mismo espesor era usado en una misma sección de un camino aunque se encontraran distintos tipos de suelo, lo que deriva en un pavimento con falta de capacidad estructural o sobrado. A medida que se iba ganando experiencia a través de los años, ingenieros fueron diseñando y desarrollando varios métodos para determinar el espesor adecuado de cada tramo de camino a pavimentar.

Entre los puntos más importantes en el desarrollo de los pavimentos están los siguientes (Solminihac, 1998):

- Alrededor del año 3500 a. C. los pueblos Asirio y Egipto iniciaron el desarrollo de sus caminos con una ruta entre Asia y Egipto. También el historiador griego Heródoto (484 a 425 d. C.) hace mención a los caminos construidos de piedra en Egipto por encargo del rey Keops, los cuales proporcionaron una superficie de

rodamiento adecuada a las piedras con que construían las pirámides y que se estima son los caminos de piedra más antiguos.

- En la isla de Creta en el Mar Mediterráneo existe un camino de piedras construido antes de 1500 a. C.
- Los cartagineses construyeron un sistema de caminos de piedra a lo largo de la costa sur de Mediterráneo (500 a. C.)
- Los etruscos construyeron caminos antes de la fundación de Roma, alrededor de los años 830 y 350 a. C.
- Los babilonios utilizaron por primera vez una mezcla asfáltica como material de pavimentación para sellar las losas de la vía Sacra.
- La vía conocida más antigua, larga y famosa es la llamada Camino Real de los Persas, construida durante un periodo de 400 años y terminada hacia el 323 a. C. Esta vía cubre 2900 km a lo largo del sureste de Asia y Asia Menor.
- En América existen también signos tempranos de la existencia de construcción de caminos: Mayas, Toltecas, Aztecas e Incas dejaron huellas de una avanzada técnica de construcción de caminos para la intercomunicación de sus territorios.

Los primeros en advertir la necesidad de mantener y administrar las vías fueron los romanos. Ellos fueron pioneros en la gestión de caminos al darse cuenta de la enorme importancia que tienen para impulsar el desarrollo y mantener la economía funcionando. Gracias a su gran interés en preservar la compleja red de calzadas y a su administración muy bien organizada entre los gobernadores en las provincias y a los magistrados locales en cada zona municipal se logró el objetivo de mantener en óptimas condiciones la red vial. Otro precursor, y tal vez el iniciador de un sistema de gestión de pavimentos moderna fue Pierre M. Jerome Tresaguet (1716-1796), Inspector General de Caminos de Francia desde 1775, quien reconoció la necesidad de una mantención permanente y continua de las vías para su servicio apropiado; él, con el apoyo de Napoleón, generó el desarrollo de un gran sistema de caminos franceses (Solminihac, 1998).

En Estados Unidos, en 1920, se dio inicio a la organización de un esfuerzo de investigación en el área de los pavimentos, con el fin de mejorar el diseño, El mantenimiento y construcción de caminos. El desarrollo de la investigación comprendió

una variedad de estudios empíricos y teóricos entre los que se incluyen principalmente los desarrollados en los años 1950 y 1960 por la American Association of State Highway Officials (AASHO) conocidos con el nombre de Evaluación de Caminos (Solminihaç, 1998).

En mucho menos de un siglo las cosas han cambiado enormemente: en 1903 los hermanos Wright emprendieron el vuelo con el Flyer I (la primera máquina más pesada que el viento capaz de elevarse). Para lo cual únicamente fue necesario un campo abierto sin obstáculos que resultaran siendo un riesgo.

A 100 años del éxito de Orville y Wilbur Wright, hay miles de aeropuertos alrededor de todo el mundo. Algunos tan grandes como pequeñas ciudades que albergan hasta cinco pistas como el Aeropuerto Internacional de Denver. La clasificación principal de los pavimentos en un aeropuerto es la siguiente:

1. **Pista principal.** Área rectangular definida en un aeródromo terrestre preparada para el aterrizaje y el despegue de las aeronaves.
2. **Calles de rodaje.** Vía definida en un aeródromo terrestre, establecida para el rodaje de aeronaves y destinada a proporcionar enlace entre una y otra parte del aeródromo, incluyendo:
 - a. **Calle de acceso al puesto de estacionamiento de aeronave.** La parte de una plataforma designada a proporcionar acceso a los puestos de estacionamiento de aeronaves solamente.
 - b. **Calle de rodaje en plataforma.** Parte de un sistema de calles de rodaje situada en una plataforma y destinada a proporcionar una vía para el rodaje a través de la plataforma.
 - c. **Calle de salida rápida.** Calle de rodaje que se une a una pista en un ángulo agudo y está proyectada de modo que permita a los aviones que aterrizan virar a velocidades mayores que las que se logran en otras calles de rodaje de salida y logrando así que la pista esté ocupada el mínimo tiempo posible.
3. **Plataforma.** Área definida en un aeródromo terrestre destinada a dar cabida a las aeronaves para los fines de embarque o desembarque de pasajeros,

correo o carga, abastecimiento de combustible, estacionamiento o mantenimiento.

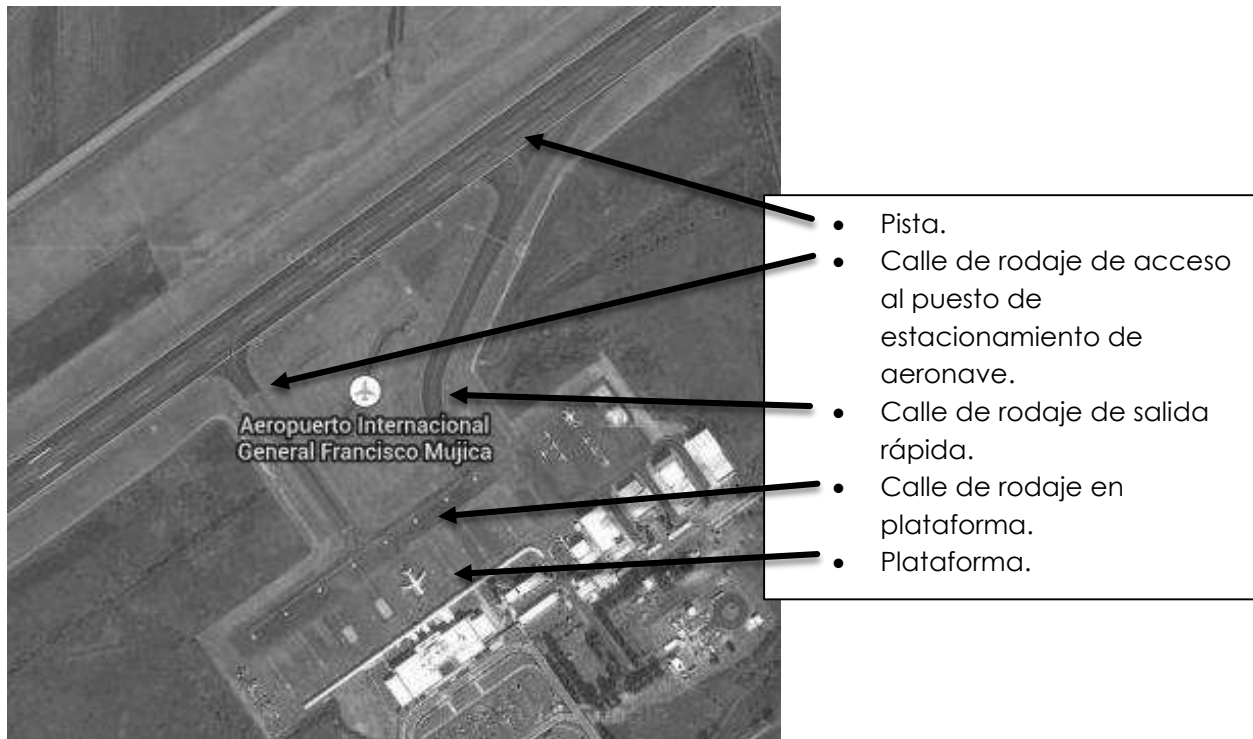


Figura 1 Principales pavimentos en un aeropuerto

Es evidente el desarrollo que ha tenido el diseño de aeropuertos en todo el mundo. El enorme impacto que ha tenido la rápida evolución de la industria aeronáutica ha desarrollado rápidamente la elaboración de un documento que permita concentrar todos los avances en construcción de aeródromos con el fin de garantizar la seguridad aeronáutica. La Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), en su Anexo 14 dedicado a los aeródromos, detalla el proceso que han tenido diversos temas de gran importancia. En 1990, después de 39 enmiendas, el anexo fue dividido en 2 volúmenes. El volumen 1 aborda el tema del diseño y operaciones en aeródromos. El volumen 2 es su homólogo en cuestión de helipuertos. Actualmente son 240 páginas de especificaciones aeronáuticas a las que se deben apegar todos los aeródromos y aeropuertos de todo el mundo para estar certificados (OACI, 2004).

Durante los años de 1953 y 1955 se realizó la quinta conferencia del Departamento de Aeródromos (Dependencia de la OACI), rutas aéreas y ayudas terrestres donde se

definieron, entre otros aspectos, las características físicas más importantes de las principales áreas que son pistas, franjas, zonas libres de obstáculos, zonas de parada, calles de rodaje, plataforma, zonas de viraje, áreas de aproximación (OACI, 2004).

Por otro lado, las aeronaves también han cambiado significativamente su configuración. En la tabla 1 se muestran algunas diferencias en las especificaciones de dos aeronaves muy significativas: el Flyer I de los Hermanos Orville y Wilbur y el Airbus A380 que es en la actualidad el avión más grande destinado a la aviación civil.

Especificación	Flyer I	Airbus A380
Envergadura	12.2 m	79.75 m
Peso	274.4 kg (sin tripulante)	575 ton (máx. despegue)
Longitud	6.4 m	72.72 m
Motor	12 caballos de fuerza	4 x 311 kN
Año de construcción	1903	2004

Tabla 1 Comparación entre Flyer 1 y Airbus A380

Resulta más que evidente que las aeronaves modernas exigen un diseño muy riguroso de las instalaciones que se mencionan anteriormente (pista, calles de rodaje y plataforma). El anexo 14 de la OACI establece principalmente, entre otros aspectos, las disposiciones relativas a las características físicas que deben considerarse como anchura, pendiente de sus superficies y distancias de separación a otras instalaciones. En el anexo 14 de la OACI se encuentran las disposiciones relativas a nuevas instalaciones que eran desconocidas durante los inicios de la OACI (creada en 1944) por ejemplo (OACI, 2004):

1. **Área de seguridad de extremo de pista (RESA).** Área simétrica respecto a la prolongación del eje de la pista y adyacente al extremo de la franja cuyo objeto principal consiste en reducir el riesgo de daños a un avión que efectúe un aterrizaje demasiado corto o un aterrizaje demasiado largo (figura 2).
2. **Zona despejada de obstáculos (OFZ).** Espacio aéreo por encima de la superficie de aproximación interna, de las superficies de transición interna, de la superficie de aterrizaje interrumpido y de la parte de la franja limitada por

esas superficies, no penetrada por ningún obstáculo fijo salvo uno de masa ligera montado sobre soportes frangibles (figura 3).

3. **Zonas de parada.** Área rectangular situada a continuación del recorrido de despegue disponible, preparada como zona adecuada para que se detengan las aeronaves en caso de despegue interrumpido (figura 4).

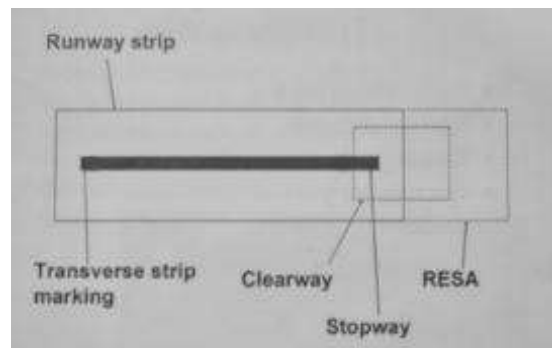


Figura 2 RESA

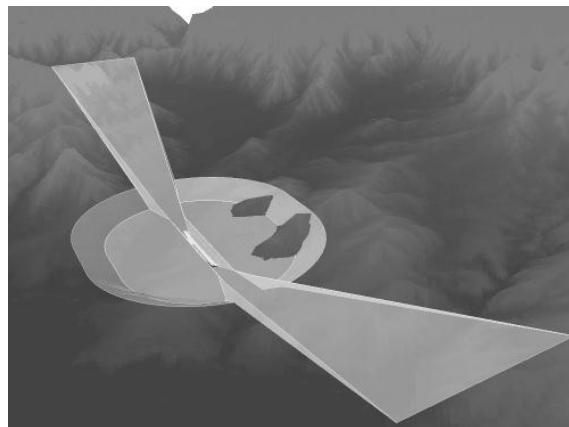


Figura 3 OFZ

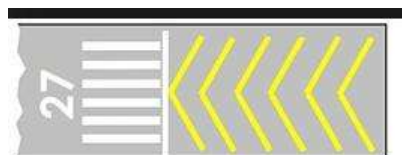


Figura 4 Zona de parada

Otra de las características que fue cambiando fue la clasificación de las pistas. En 1903 se requería un terreno medio regular en su topografía, ahora, la OACI, por medio de su Anexo 14 clasifica las pistas de las siguientes 6 maneras (OACI, 2004):

1. **Pistas de aproximación visual.**
2. **Pistas para aproximaciones que no son de precisión.**
3. **Pistas para aproximaciones de precisión categoría I.**
4. **Pistas para aproximaciones de precisión categoría II.**
5. **Pistas para aproximaciones de precisión categoría III.**
6. **Pistas de despegue.**

Conforme han pasado los años, han ido cambiando muchas características de los aeropuertos y muchos métodos de navegación. Uno de estos cambios son las ayudas visuales que se han implementado en los aeropuertos. Un tipo de estas ayudas visuales son las luces que todos los pilotos del mundo deben conocer y reconocer inmediatamente. Por lo que estas luces de ayuda visual no deben seguir una lógica local sino que deberán estar normalizadas. A medida que transcurre el tiempo y con ello los avances tecnológicos, estas luces son cada vez más parte del pavimento por donde las aeronaves pueden rodar. No solo las luces se incorporan cada vez más al pavimento, también son cada vez más eficientes y ocupan menor tamaño, lo que las hace capaces de ser eficaces durante las operaciones diurnas.

Comparación de pavimentos en aeropuertos y en carreteras

El comportamiento de pavimentos de autopistas y el comportamiento de pavimentos en aeropuertos son en gran parte diferentes. Los pavimentos rígidos en autopistas sobre los cuales transitan volúmenes grandes de tránsito pesado resultan tener casi siempre problemas de bombeo si son contruidos directamente sobre sub-bases de arcilla. Por otro lado, muchos pavimentos contruidos directamente sobre suelos plásticos muestran nada o casi nada de bombeo. Pavimentos flexibles en carreteras presentan problemas serios en sus orillas, mientras que los pavimentos flexibles en aeropuertos no. Los elementos de diseño que deben considerarse en el diseño de

pavimentos en aeropuertos y carreteras son los mismos, sin embargo, existen diferencias con respecto a los valores cuantitativos considerados en el diseño. El peso de una aeronave común supera en centenares el peso de un camión, pero el número de repeticiones de carga es mucho más grande en caminos que en aeropuertos. En el diseño de las carreteras se consideran alrededor de 9000 ejes duales y la expectativa varía mucho pero puede llegar a ser de más de 2000 camiones por día. En contraste un avión puede llegar a pesar hasta 560 toneladas, pero la expectativa de vida de los pavimentos aeroportuarios es de 20,000 a 40,000 tránsitos.

La presión de los neumáticos también se considera un factor importante. La presión en neumáticos de camiones suele variar entre 60 a 90 psi. Un avión comercial puede tener neumáticos con hasta 400 psi (E. J. Yoder, 1975).

Aeropuertos de México

En México existen 3 grupos aeroportuarios que administran algunos de los aeropuertos más importantes del país. Estos aeropuertos pertenecieron anteriormente al estado mexicano pero fueron concesionados para brindar un servicio más adecuado a los usuarios cuando en 1997 el Gobierno Federal comenzó la privatización de la red aeroportuaria nacional (ASUR, 2013).

- a. Grupo Aeroportuario Centro Norte (OMA). Opera los 13 aeropuertos más importantes del país en la parte noreste, además de Zihuatanejo y Acapulco (OMA, 2014).
- b. Grupo Aeroportuario del Pacífico (GAP). Opera los 12 Aeropuertos más importantes en la región del Pacífico de México (GAP, 2015).
- c. Grupo Aeroportuario del Sur (ASUR). Opera los 9 aeropuertos más importantes del sureste de México (ASUR, 2013).

Hay 18 aeropuertos poco menos importantes en el país que no son administrados por ningún grupo aeroportuario y lo son por Aeropuertos y Servicios Auxiliares (ASA), creado por decreto presidencial del 10 de junio de 1965, cuando ya el país estaba

inmerso en la llamada era del jet. Es un organismo descentralizado del Gobierno Federal con personalidad jurídica que opera, administra y construye aeropuertos, presta servicios de suministro de combustible a todos los aeropuertos del país, incluyendo los que pertenecen a grupos aeroportuarios, ofrece asistencia técnica y consultoría, así como instrucción e investigación en materia aeronáutica y aeroportuaria participa en el desarrollo tecnológico y colabora con la Secretaría de Comunicaciones y Transportes en materia de regulación, verificación y supervisión de aeropuertos (ASA, 2014).

El Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México (AICM) no pertenece a ningún grupo aeroportuario. Se opera y se administra sólo. Aunque ASA es el organismo que administra combustible. Una breve historia se presenta a continuación (Suplementos Corporativos, 2014):

El 30 de noviembre de 1911 el Presidente Francisco I. Madero se convirtió en el primer jefe de estado en volar en avión en un vuelo de apenas 11 minutos.

En noviembre de 1915 se inauguró el Aeródromo de Balbuena operado por el ejército que mantuvieron cerrado el aeródromo a la aviación civil que apenas florecía. Ésta tuvo la necesidad de operar en un improvisado campo en la actual colonia Algarín, en el corazón de la Ciudad de México.

En 1928 inició la construcción del Puerto Aéreo Central de la Ciudad de México y el 5 de noviembre del mismo año inició operaciones. No fue sino después de 10 años, el 11 de abril de 1939 cuando se inauguró el edificio del Puerto Aéreo Central y su torre de control.

En los primeros días de julio de 1943 se publicó en el Diario Oficial de la Federación el decreto que declaró "internacional" al puerto Aéreo Central de la Ciudad de México.

En 1951 inició operaciones la nueva pista 05D-23I y al siguiente año la correspondiente torre de control, terminal, plataforma y edificio para autoridades aeronáuticas.

El día 4 de julio de 1960, despegó del Aeropuerto Central de la Ciudad de México el primer jet con matrícula mexicana, inaugurando este servicio regular con aeronaves de retroimpulso.

El 30 de mayo de 2003 se anunció la ampliación del AICM para aumentar su capacidad instalada a 32 millones de pasajeros anualmente, iniciando la construcción de la Terminal 2.

El 25 de noviembre de 2006 por Acuerdo Presidencial el AICM pasó a denominarse: "Aeropuerto Internacional Benito Juárez de la Ciudad de México".

El 15 de noviembre de 2007 se da inicio de operaciones en la Terminal 2. Junto con la inauguración de la T-2 también comenzó a operar el aerotren que conecta ambas terminales de manera totalmente automatizada sobre una vía de tres kilómetros.

Capítulo I. Sistemas de Gestión de Pavimentos para Aeropuertos

1.1 Importancia

Un sistema de gestión para pavimentos es un conjunto de herramientas y métodos para tomar las decisiones correctas que conduzcan al ingeniero a una estrategia efectiva de optimización de recursos económicos y de tiempo para ofrecer a los usuarios un pavimento que brindará seguridad y comodidad. La gestión de pavimentos ayuda a crear un análisis racional de nuestros recursos. Además proveen de información valiosa para fundamentar y justificar peticiones de presupuesto y programas de mantenimiento.

Anteriormente a los pavimentos se les daba mantenimiento, actualmente se les gestiona para optimizar los recursos económicos. Existe una diferencia sustancial. Los ingenieros se limitaban a tomar decisiones de mantenimiento y reparación sin considerar el nuevo ciclo de vida del pavimento o la canalización de recursos económicos hacia pavimentos con requerimientos mayores. En el mejor de los casos se les mantenía una condición adecuada. Actualmente existen muchas herramientas en el mercado que brindan apoyo al cuidado de los pavimentos. Debido a la situación económica mundial actual y al envejecimiento de los pavimentos, es necesaria una aproximación más sistemática, controlada y precisa a las necesidades de las obras de mantenimiento y rehabilitación de los pavimentos.

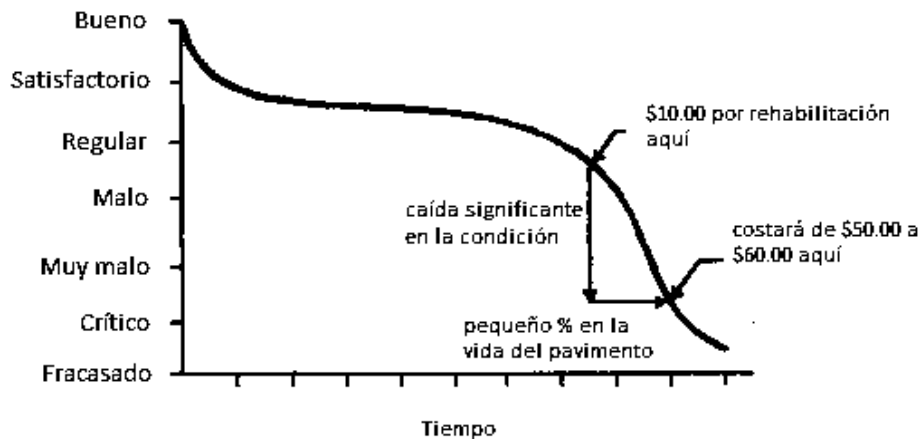


Figura 5 Relación tiempo - PCI

El desarrollo reciente en el mundo de la tecnología y la computación ha provisto las herramientas necesarias para gestionar los pavimentos de una manera mucho más económica.

Un sistema de Gestión de Pavimentos (PMS-por sus siglas en inglés: Pavement Management System) provee un método consistente y sistemático que permite seleccionar de una manera mucho más adecuada las necesidades de rehabilitación y mantenimiento y determinar las prioridades que éstos requieren. Además un PMS hace posible la determinación, de manera precisa, el tiempo óptimo de reparación al predecir la condición futura del pavimento.

Al observar la gráfica en la figura 5 resulta evidente que el deterioro de los pavimentos no es proporcional al tiempo cuando el pavimento se encuentra ya deteriorado en algún grado elevado. Cuando el deterioro es bajo no se deteriorará mucho en un futuro próximo. El problema es cuando ya está deteriorado pues la aceleración del deterioro se acelera y en un breve periodo un pavimento puede pasar de un pavimento deteriorado a uno completamente intransitable.

Un PMS busca realizar obras de mantenimiento o rehabilitación antes de la caída drástica en la curva de la condición del pavimento con el objetivo de prolongar la vida de los pavimentos al costo menor posible, además de garantizar el estado óptimo de los pavimentos que requiere la seguridad deseada tanto por usuarios como ingenieros.

Un PMS no sólo optimiza recursos de todo tipo. Un PMS permite conocer muchos datos acerca de los pavimentos como el estado actual, el comportamiento, los tipos y severidades de diferentes tipos de deterioros en diferentes zonas de la red, la aceleración de los deterioros, y muchos datos más. Un PMS bien calibrado resulta ser una herramienta fundamental del ingeniero que por esta razón ha adoptado un PMS como su herramienta principal en países europeos y el norte de América principalmente.

Los pasos en un sistema de gestión de pavimentos son los descritos a continuación:

1. Definir los límites de la red.
2. Desarrollar un inventario que integre todos los caminos a gestionar.
3. Llevar a cabo inspecciones que permitan evaluar el PCI del pavimento.
4. Desarrollar estrategias de mantenimiento, estimado de costos y expectativa de vida del pavimento gestionado.
5. Determinar las necesidades de las PMR&R (rehabilitación y reconstrucción de en la gestión de pavimentos).
6. Analizar los costos de PMR&R.
7. Determinar las necesidades más importantes de la red.
8. Priorizar las necesidades de PMR&R ajustándonos a los límites de presupuestos.
9. Predecir la condición futura de la red.
10. Implementar un sistema de retroalimentación para actualizar costos y expectativas de vida, revisar estrategias de PMR&R e incrementar la precisión del programa.

Se destacaron los puntos anteriores con el propósito de recordar el alcance de los objetivos general y particulares de esta tesis. El sistema de gestión que está siendo usado para gestionar los pavimentos de los aeropuertos de Chihuahua, Zihuatanejo y San Luis Potosí no tiene completos algunos pasos y es la tarea que se desarrolla en este trabajo.

1.2 Algunos programas de gestión de pavimentos y MicroPAVER

1.2.1 HDM-III y HDM-4

El modelo del Banco Mundial, Highway Design and Maintenance Standards Model (HDM) ha sido ampliamente utilizado por consultores y agencias administradoras de pavimentos para investigar las consecuencias económicas que tienen las inversiones de infraestructura vial. La actual versión III del modelo, denominada HDM-III, fue liberada en 1987 y sus elementos han sido utilizados en más de 98 países diferentes; sin embargo, debido a que solo se puede aplicar a pavimentos asfálticos, en los últimos años se ha estado desarrollando la versión HDM-4 que incluye además pavimentos de hormigón. Estos sistemas son normalmente usados para evaluaciones sociales a nivel red (Solminihaç, 1998).

HDM-III contiene relaciones para predecir el comportamiento de los pavimentos en el tiempo sometido a las cargas de tránsito y para los efectos de las actividades de mantención en las características del camino, particularmente en su condición, también contiene relaciones para predecir el efecto que tiene la condición del camino en los costos de operación, (VOC, Vehicle Operating Costs). Tomando en cuenta el costo de transporte, definido como aquel debido a construcción, mantención y VOC, se pueden establecer las implicaciones económicas de diferentes alternativas de inversión y establecer así la estrategia de inversión que minimiza el costo de transporte total.

Las relaciones contenidas en HDM-III están basadas en investigaciones llevadas a cabo en diferentes países. Para VOC, HDM-III contiene cuatro conjuntos de relaciones de estudios realizados en Kenya (1971-75), el Caribe (1977-82), India (1977-83) y Brasil (1975-84). Los datos utilizados para el desarrollo de estas relaciones fueron obtenidos bajo experimentos controlados y muestreos de costos de usuarios. Las relaciones de deterioro y efectos de mantención en los caminos (RDME, Road Deterioration and Maintenance Effects) fueron desarrollados en estudios de largo plazo conducidos

principalmente en Brasil y ampliamente verificadas en estudios de terreno independientes, llevados a cabo en diferentes países (Solminihac, 1998).

Algunas limitaciones de los modelos VOC y RDME incluidos en HDM-III:

- La tecnología de los vehículos y sus neumáticos incluida en el modelo VOC son diferentes a la de los vehículos modernos.
- Algunos componentes de costo son modelados en forma muy simplista.
- HDM-III no considera congestión, efectos ambientales o seguridad en el tránsito.
- El modelo RDME no incluye todos los tipos de pavimentos o tratamientos de mantención comúnmente encontrados en los países desarrollados o en vías de desarrollo.
- El modelo RDME no incluye los pavimentos de hormigón.
- HDM-III no considera los efectos que puede tener la textura del pavimento.

En el modelo conceptual del HDM, tres conjuntos de costos interactúan: son sumados en el tiempo y descontados el valor presente, ellos son: construcción, mantención y costos de los usuarios. Los costos se determinan prediciendo las cantidades físicas de los recursos, los cuales son multiplicados por los costos y precios unitarios. Según Solminihac (1998, pág. 379)

ENTRADAS	SALIDAS
Características de los tramos	Resumen de la mantención
Proyectos y costos de construcción	Cantidad física anual de trabajos y sus costos
Estándares y costos unitarios de mantención	Tránsito anual
Características de la flota vehicular	Condición anual del tramo
Volúmenes y crecimiento del tránsito	Costo anual de los usuarios
Costos y beneficios exógenos	Costo financiero
Informes requeridos	Costo económico
Período de análisis	Comparación entre alternativas

Tabla 2 Entradas y salidas de HDM-III

Existen en el mercado diferentes programas para gestionar los pavimentos. Estos programas funcionan tanto para gestionar carreteras como pavimentos de aeropuertos. Si bien las solicitudes a ambos pavimentos son muy diferentes, en aeropuertos que en carreteras, se ha observado y comprobado que los pavimentos muestran los mismos tipos de deterioros, salvo muy pocas excepciones. Además, las técnicas de construcción, mantenimiento, reparación, rehabilitación y reconstrucción son las mismas.

1.2.2 Pavement Evaluator

Programa computacional de gestión de pavimentos creado por la Federación Interamericana del Cemento (FICEM) que inició en 1995 y se desarrolló hasta 1999. Conformar la estructura del módulo de evaluación de concreto basándose en el HDM4. Para su funcionamiento clasifica los pavimentos rígidos según su superficie y estructura en 4 tipos diferentes: Concreto simple con juntas, sin barras de traspaso de cargas, Concreto simple con juntas con barras de traspaso de cargas, Concreto reforzado con juntas y Concreto continuamente reforzado.

Las actividades de conservación incorporadas al sistema publicadas en 1996 son tres (Solminihaq, 1998):

- a. Restauración preventiva.** Ayuda a prevenir el deterioro sin la incorporación de cambios significativos que alteren la condición funcional del pavimento. Considera 4 métodos:
 - Restauración de transferencia de carga
 - Colocación de bermas
 - Colocación de drenes laterales
 - Sellado de grietas y juntas
- b. Restauración correctiva.** Disminución del valor de uno o más indicadores de deterioro:
 - Reemplazo de losas
 - Reparación de espesor completo

Reparación de espesor parcial

Cepillado con diamante (auxiliar en la corrección de la rugosidad)

c. Rehabilitación. Corresponde a las obras de mejoramiento global de la condición estructural y funcional de los pavimentos:

recapado de concreto adherido

recapado no adherido (con una capa intermedia entre pavimentos existente y nuevas losas de recapado)

Es necesario hacer una evaluación global a fin de mejorar diferentes características de los pavimentos sin perjudicar otras. Esto se obtiene generalmente asignando dos o más métodos de restauración o rehabilitación en el programa de gestión.

Promete ser un programa de gestión completo aunque su funcionamiento está basado en el HDM-4 para realizar los modelos de deterioro, los modelos de costos de operación vehicular, la calibración de modelos y la estructura general del programa computacional.

Existe una correlación muy estrecha entre el HDM-III y el HDM-4 al usar los modelos que utilizan estos últimos para su análisis.

1.2.3 Sistema de gestión integral para la mantención (GIMP)

Otro sistema que le permite al ingeniero gestionar sus pavimentos es el GIMP. Este programa puede ser usado para pavimentos rígidos y para pavimentos flexibles. Similar al modelo anterior, el GIMP incorpora diseño propio pero además hace uso del HDM-III al incorporar los modelos VOC (costos de operación vehicular) y EBM (Modelo de presupuestos gastados).

El objetivo del diseño fue crear un sistema de información que permitiera visualizar y coordinar detalladamente la información y todos los procedimientos involucrados. Tiene la ambición de tener un alcance bastante grande al incluir en su gestión desde la

medida de un terreno hasta la implementación de un programa de conservación nacional.

Tiene como objetivo la capacidad de predecir el momento oportuno para realizar las conservaciones necesarias y los tipos de solución, permitiendo un adecuado manejo de recursos destinados a la conservación y/o rehabilitación de caminos.

En su desarrollo computacional, organiza la información de inventario, antecedentes de construcción, mantención y comportamiento de los pavimentos de la auscultación sistemática (irregularidad superficial, deflexiones e inspección visual), así como las solicitudes de tránsito y efecto del clima. Nuevamente, hace uso del modelo HDM-III para crear los modelos de deterioro y realizar los indicadores económicos.

Está estructurado por seis elementos básicos (Solminihaq, 1998):

- a. Información de inventario de la red.** Es la información que nos indica las características de los caminos que permanecen, en cierta medida, constantes en el tiempo y que tienen características similares en cuanto al tipo de pavimento, capas constitutivas, suelo de fundación fechas de construcción, etc.
- b. Información de auscultación.** Información acerca del estado de los deterioros que se presenten en el pavimento y el grado de severidad que aumente con el tiempo, así como el mejoramiento debido a las obras de conservación. Esta información incluye deterioro superficial, características de rodadura y capacidad estructural. Es decir, involucra auscultación visual y con equipos especializados. El programa actualiza constantemente los datos.
- c. Modelos de predicción.** Modelos matemáticos que permiten conocer el comportamiento futuro de los pavimentos basándose en el comportamiento conocido de éste.
- d. Estándares de conservación.** Medidas necesarias y estandarizadas de conservación ejecutadas o programadas a los pavimentos como riego de niebla, reemplazo de losas, reconstrucción, etc.
- e. Evaluación económica de las alternativas de conservación.** En esta etapa del programa

- f. Módulo de explotación.** Es el módulo donde se obtiene la información deseada con información del estado de los pavimentos de la red, de los costos asociados y la formulación de programas de mantenimiento.

Está compuesto por cuatro etapas fundamentales: etapa de información, etapa de evaluación técnica y diagnóstico, etapa de simulación y la etapa de gestión. En cada una de estas etapas se llevan a cabo los pasos fundamentales de la gestión de pavimentos siendo la última etapa la más significativa por ser el resultado de las primeras 3 etapas.

1.2.4 SAMPU

El desarrollo de este Sistema de gestión fue el resultado del objetivo de diseñar un programa integrado que pudiera realizar 3 tareas básicas:

- Una adecuada y oportuna forma de detección de los problemas de mantenimiento vial
- Una eficiente planificación de las inversiones
- Un cuidadoso seguimiento de las obras realizadas

Se pretende, por medio de este Sistema de gestión, abordar las necesidades de construir un registro detallado de las redes viales urbanas, mantener actualizada la información acerca del estado de los pavimentos, identificar los tramos de la red urbana que requieran de inversión más urgente de capital para su oportuno mantenimiento.

Está compuesto por siete subsistemas que son (Solminihaq, 1998):

- 1. Base de datos.** Conjunto de archivos que ordena, estructura y relaciona los datos que describen adecuadamente las vías, las intervenciones de mantenimiento, el resultado de las intervenciones y los datos asociados a aspectos económicos.
- 2. Subsistema de consulta y actualización de datos.** Funciones computacionales que hacen posible el ingreso, la modificación y la obtención de datos de definición, caracterización y operación de las diferentes vías.

3. **Subsistema de tramificación.** Tareas con apoyos computacionales y metodologías que ayudan en la definición de proyectos de intervención sobre las vías. Le permite al usuario, a través de sus métodos gráficos, definir tramos de vía que tienen comportamiento homogéneo.
4. **Subsistema de evaluación.** Funciones computacionales que le permiten al técnico, después de haber seleccionado el tramo o proyecto, modelar su comportamiento en el tiempo
5. **Subsistema de preparación del programa de inversiones.** Permite visualizar los resultados de cada proyecto o tramo y priorizar de acuerdo a los aspectos que más nos importen.
6. **Subsistema de gestión.** Genera la información del programa de inversiones y otras tareas importantes.
7. **Subsistema exterior.** Programas computacionales que trabajan en paralelo a SAMPU. Éstos no fueron integrados a SAMPU pero permiten realizar funciones asociadas a éste de forma independiente. Esto hace posible el ingreso de datos de manera autónoma.

1.3 MicroPAVER

Micro PAVER es un sistema de gestión de pavimentos desarrollado por US Army Corps of Engineers, Engineer Research and Development Center y Construction Engineering Research Laboratory (CERL). EL MicroPAVER ha sido desarrollado con el apoyo de las siguientes agencias estadounidenses (Shahin, 2005):

- US Air Force
- US Army
- US Navy
- Federal Aviation Administration (FAA)
- Federal Highway Administration (FHWA)
- American Public Works Association (APWA)
- The Ohio Department of Transportation, Office of Aviation

Micro PAVER es una herramienta indispensable para el ingeniero que cuida de sus pavimentos pues tiene 4 capacidades principales:

1. Desarrollar y organizar inventario de los pavimentos que conforman la red que nos interesa gestionar.
2. Evalúa la condición actual de los pavimentos.
3. Desarrolla modelos que permiten predecir las condiciones futuras.
4. Realizar reportes del desarrollo y comportamiento futuro y pasado del pavimento.
5. Desarrollar escenarios para mantenimiento y rehabilitación basados en presupuesto o requerimientos de condición.
6. Planear proyectos.

El sistema de investigación a la gestión y desarrollo del programa Micro PAVER ha estado en progreso desde inicios de la década de 1970.

El menú principal nos permite ver de manera muy general como está conformado y de qué es capaz el programa, aunque más adelante en este mismo capítulo describo más a fondo las etapas de la gestión que maneja el programa:



Figura 6 Menú principal de MicroPAVER

La figura 6 muestra el menú principal donde se observan las diferentes etapas del trabajo que son descritas a continuación:

1.3.1 Inventario

El primer paso a establecer un PMS es la identificación de la red. Una red de pavimentos es un agrupamiento lógico. El ingeniero que gestiona es responsable de caminos, estacionamientos, pavimentos aeroportuarios y otros sitios pavimentados. Y es importante que el ingeniero sepa delimitar el alcance de su gestión pues es en la sección de inventario donde se dan de alta los pavimentos que componen la red que se desea gestionar. Es la primera etapa desarrollada en el programa y es muy

importante conocer muy bien cuales pavimentos componen la red y cuáles son sus características (área, material de construcción y fecha de construcción). El inventario está basado en una logística jerárquica compuesta de redes, ramas y secciones.

Network: AERO ZIH-PISTA-08_26_A0

1. Network | 2. Branch | 3. Section

Properties | Conditions / Families

Section ID: 08_26_A0 From: Cabecera 08 To: Cabecera 26

Surface Type: AAC Rank: S Last Constr. Date: 12/30/2005

Length: 76.85 Width: 76.85 M

Calc. Area: 5,905.92 Area Adjustment: 0.00 SqM True Area: 5,905.92 SqM

Category: Zone: Lanes/ Spaces: 0

Shoulder: Street Type: Grade: 0

Comment:

User Defined Fields:

You are editing: ☒ Current Values ☐ Historical Values

Images (0) New Copy Delete Close

Figura 7 Interfaz de Inventario

Como ejemplo, una red puede ser un aeropuerto o una ciudad, una rama podría ser una calle de rodaje, una pista aérea o una avenida en una ciudad. Las secciones son las unidades más chicas. Son subdivisiones de las ramas que corresponden a diferente material de construcción, diferentes fechas de construcción, cantidad de tránsito, etcétera.

La opción de inventario provee las herramientas para ver, editar y definir la red de pavimentos. En esta sección se dan de alta los pavimentos, en este caso de un aeropuerto, y toda su información posible con el fin de conocer bien y definir qué se está gestionando.

Los aeropuertos son divididos en dos partes:

- a. Lado Tierra. Son todos los pavimentos a donde los vehículos comunes tienen acceso. La mayoría son libres al tránsito aunque hay algunas áreas restringidas. Como ejemplo de este tipo de pavimentos está el entronque que

comunica el aeropuerto con alguna carretera, los estacionamientos para empleados, estacionamientos para usuarios, etc.

- b. Lado Aire. El lado aire lo conforman los pavimentos donde el área está completamente restringida a los civiles. Ejemplos de lado aire son plataforma, calles de rodaje, helipuertos, pistas, etc.

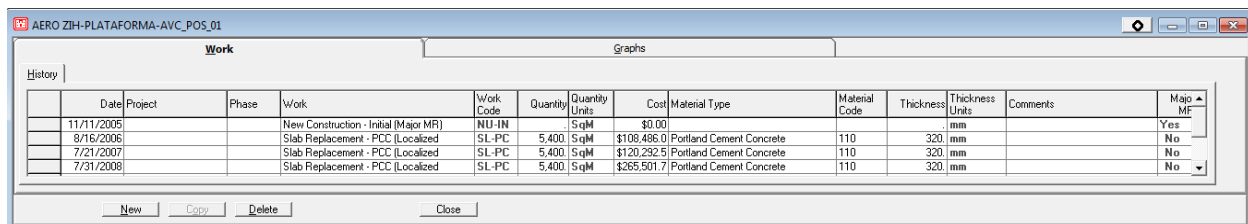
Es muy importante tener en cuenta que existen pavimentos clasificados como Lado Tierra y que se encuentran en lado aire. Estos pavimentos son secciones donde las aeronaves no tienen acceso, únicamente vehículos, y por lo tanto son clasificados como pavimentos de lado tierra. Como ejemplo de estos pavimentos está el estacionamiento del Cuerpo de Rescate y Extinción de Incendios (CREI), zona de combustibles donde únicamente las pipas tienen acceso, las vialidades que conectan al CREI y zona de combustibles con plataforma y otras zonas designadas únicamente al paso vehicular.

El inventario a nivel de red debe incluir toda la información acerca de los pavimentos a gestionar. Esta información incluye el lugar, límites, áreas, conectividad con otras secciones y la clasificación funcional para cada sección

Esta información generalmente no se cambia, a menos que ocurra un cambio considerablemente grande para hacerlo como una reconstrucción.

1.3.2 Trabajo

El programa MicroPAVER relaciona muy estrechamente la construcción del pavimento con la predicción del PCI. El sistema debe conocer lo más detalladamente posible el historial de obras del pavimento para ser capaz de predecir el comportamiento futuro, los requerimientos de mantenimiento costos de mantenimiento y el calendario de inspecciones de este.



Date	Project	Phase	Work	Work Code	Quantity	Quantity Units	Cost	Material Type	Material Code	Thickness	Thickness Units	Comments	Map MF
11/11/2005			New Construction - Initial (Major MR)	NIU-IN		SqM	\$0.00						Yes
8/16/2006			Slab Replacement - PCC (Localized)	SL-PC	5,400	SqM	\$108,486.0	Portland Cement Concrete	110	320	mm		No
7/21/2007			Slab Replacement - PCC (Localized)	SL-PC	5,400	SqM	\$120,292.5	Portland Cement Concrete	110	320	mm		No
7/31/2008			Slab Replacement - PCC (Localized)	SL-PC	5,400	SqM	\$265,501.7	Portland Cement Concrete	110	320	mm		No

Figura 8 Interfaz de Trabajos Realizados

La figura 8 muestra la interfaz que permite registrar las obras de mantenimiento, rehabilitación y reconstrucción que se han realizado en alguna zona del aeropuerto o carretera. La información necesaria es: fecha, nombre de proyecto, fase, tipo de trabajo, cantidad (en metros cuadrados o lineales), monto, material y espesor.

Las obras de mantenimiento, reparación y reconstrucción son registradas en la pestaña que corresponde a historial. Existe otra pestaña que aparece con el nombre de "requerido", que permite al ingeniero registrar las obras que son necesarias. En caso de haber concluido exitosamente las obras programadas se hace clic en "si" al finalizar la obra y automáticamente el programa lo transfiere al historial de obras.

En el capítulo 3.2 se abordará este tema de manera más detallada.

1.3.3 Inspección

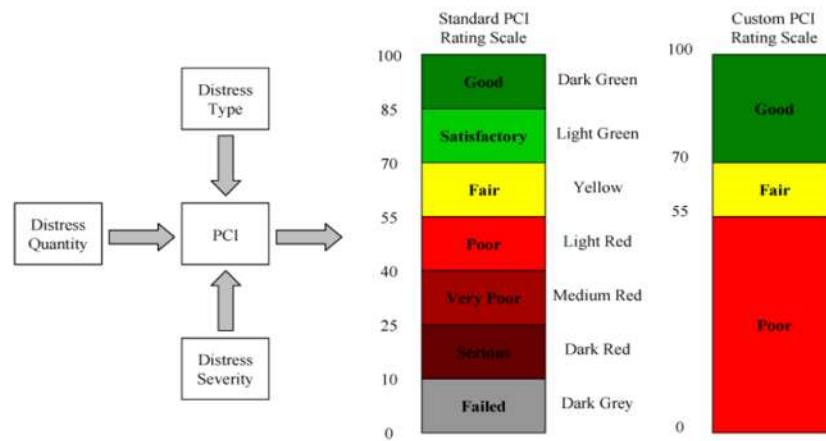


Figura 9 Uso de PCI

Esta etapa fundamental de la gestión de pavimentos comienza con la recolección de información para determinar el tipo, cantidad, nivel de severidad y lugar de los deterioros, integridad estructural, calidad de transporte, y coeficiente de fricción. La información del estado actual de los pavimentos es necesario para determinar las necesidades de los M&R. la condición es normalmente medida usando los siguientes factores:

- a. **Deterioros en la superficie.** Suele hacerse mediante inspecciones visuales descritas a fondo más adelante. (figura 10)
- b. **Capacidad estructural.** Normalmente se lleva a cabo con un deflectómetro de impacto el cual resulta ser un método de mucha confianza. (figura 11)
- c. **Calidad de transporte.** La rugosidad es el parámetro que mide este concepto. Existe equipo de medición para medir el IRI (International Roughness Index). Este índice suele ser el aspecto más notable para los usuarios de un camino. Además es un calificativo esencialmente importante para vialidades con límites de velocidad elevados. Más aun, en las pistas de aterrizaje y despegue de un aeropuerto, el IRI se convierte en un factor de gran importancia a la seguridad aeronáutica. Se mide con un perfilómetro o un perfilógrafo. (figura 12)

- d. **Fricción superficial.** La resistencia al deslizamiento es la habilidad del pavimento de brindar la fricción necesaria para evitar accidentes relacionados con el deslizamiento, especialmente en climas mojados. Se mide el coeficiente de fricción mediante varias técnicas, sin embargo, el equipo que brinda más confianza por su semejanza a la realidad es el Mu METER. (figura 13).



Figura 10 Inspecciones visuales



Figura 11 Deflectómetro de impacto



Figura 12 Perfilómetro



Figura 13 Mu Meter

Los pavimentos sufren diferentes tipos de deterioros. Algunos deterioros únicamente se encuentran en pavimentos asfálticos mientras que otros únicamente se encuentran en pavimentos rígidos. Algunos deterioros se encuentran en ambos pavimentos y otros no. Es un logro, para el ingeniero, que a través de los años haya logrado identificar patrones de deterioro en los pavimentos y descubrir la causa. El programa Micro PAVER necesita contar con un historial de inspecciones visuales realizadas en años previos (Grupo Aeroportuario OMA realiza una inspección anual) para ofrecer el servicio correctamente. La tabla 3 indica la relación que hay entre un deterioro y su causa para pavimentos asfálticos y pavimentos rígidos (Shahin, 2005).

Deterioros en Pavimentos y sus causas			
Asfálticos		Rígidos	
Deterioro del Pavimento	Causa del deterioro	Expansión de losa	Clima/durabilidad
Piel de cocodrilo	Carga	Rotura de esquina	Carga
Exudación	Otro	Losa dividida	Carga
Grieta en bloque	Clima/durabilidad	Grieta de durabilidad	Clima/durabilidad
Bultos y hundimientos	Otro	Escalonamiento	Otro
Corrugación y bultos	Otro	Daño de sello de juntas	Clima/durabilidad
Depresiones	Otro	Desprendimiento de hombro	Otro
Agrietamiento en orillas	Carga	Agrietamiento lineal	Carga
Fisuras por reflexión	Clima/durabilidad	Bacheo mayor	Otro
Desprendimiento de hombro	Otro	Bacheo menor	Otro
Grietas longitudinales y transversales	Clima/durabilidad	Pulimiento de agregado	Otro
Bacheos	Otro	Palomeo	Otro
Pulimiento de agregados	Otro	Bombeo	Otro
Baches	Carga	Agrietamiento mayor	Carga
Cruce de ferrocarril	Otro	Cruce de ferrocarril	Otro
Roderos	Carga	Fisuras erráticas	Otro
Corrimiento de asfalto por losas de PCC	Otro	Fisuras por encogimiento	Clima/durabilidad
Corrimiento de asfalto por carga	Otro	Astillamiento de esquinas	Clima/durabilidad
Abultamiento	Otro	Astillamiento en juntas	Clima/durabilidad
Intemperismo	Clima/durabilidad		
Erosión por turbina	Otro		
Derrame de combustible	Otro		

Tabla 3 Deterioros en pavimentos flexibles y rígidos

Los procedimientos usados para realizar las inspecciones de condición de PCI varían dependiendo del tipo de pavimento que es. Para todos los pavimentos, la sección del pavimento primero debe ser dividida en secciones de muestreo y las

secciones escogidas como ya quedó establecido en la sección anterior. En todas las inspecciones visuales el único equipo necesario es un odómetro para medir distancias grandes, una regla para medir distancias pequeñas como el ancho de una grieta, cámara fotográfica, manuales de inspección, formatos de llenado y bolígrafos. Una vez en campo, el ingeniero debe recorrer las áreas asignadas para inspeccionar y registrar los deterioros que observe. Algunos deterioros, como es de esperarse, se miden en metros cuadrados, otros en metros lineales y en otros casos únicamente se registra que se observó el deterioro sin especificar la cantidad (ASTM INTERNATIONAL, 2010).

La metodología usada para llevar a cabo las inspecciones visuales está dada en dos normas ASTM (American Society for Testing and Materials) (ASTM INTERNATIONAL, 2010):

- a. D5340-10 Standard Test Method for Airport Pavement Condition Index Surveys
- b. D6433-09 Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys.

1.3.3.1 Pavimentos asfálticos

Una unidad de muestreo es inspeccionada identificando el tipo de deterioro y severidad de acuerdo al manual de deterioros y registrando el deterioro en el formato correspondiente. La figura 14 es un ejemplo de un llenado de un formato para aeropuertos de asfalto. Los códigos de deterioro son propios del programa Micro PAVER. Cada renglón corresponde a un deterioro con su nivel de severidad correspondiente. Por ejemplo, como se muestra en la figura 14, en la unidad de muestreo 008 de la sección B01 de la Pista R1230, la cual mide 5000 pies cuadrados, existen 3 registros 48 con nivel de severidad bajo y otros 2 (en el segundo renglón) con nivel de severidad medio. En el manual de inspecciones, el cual está basado en la norma ASTM-D5340-10 el código 48 corresponde a grieta longitudinal en pavimento asfáltico. De manera que en la unidad de muestreo 008 se registraron 3 grietas longitudinales, una de 10 metros, otra de 20 y otra de 17, sumando un total de 47 metros lineales en grietas longitudinales con nivel de severidad bajo.

Pavimento Asfáltico Lado Aire Hoja de información de inspección de condición por unidad de inspección					Croquis:					
Rama		R1230		Sección	B01			Unidad de Muestreo		008
Supervisor		MYS		Fecha	MAR/15/1992			Area de muestreo		1500 m ²
41. Piel de cocodrilo		45. Depresión		49. Derrame de comb.		53. Roderas				
42. Exudación		46. Erosión por turbina		50. Bacheo		54. corr. De AC por losas				
43. Grieta en bloque		47. fisuras por reflexión		51. Pul. de Agregado		55. Corr. De AC por carga				
44. Corrugación		48. Grietas long. y trans.		52. Intemperismo		56. Abultamientos				
Deterioro Severidad		Cantidad					Total	Densidad %	Valor deductiv	
48 L		10	20	17			47	0.94	4.8	
48 M		7	9				16	0.32	6.7	
41 L		53					53	1.06	21.0	
45 L		10	5				15	0.3	1.6	
53 L		20	45	10			75	1.5	17.1	
53 M		25					25	0.5	20.1	

Figura 14 Formato para inspección de pavimentos asfálticos lado aire

Dos grietas con nivel de severidad medio se encuentran registradas en el segundo renglón del formato de llenado de inspecciones visuales. Una, la primera de ellas tiene una longitud de 7 metros lineales y la segunda y última mide 9 metros lineales. La suma algebraica es igual a 16 metros lineales en grietas longitudinales con nivel de severidad medio. Cabe mencionar que en este deterioro, y en algunos más, aporta el mismo resultado registrar varios deterioros que son identificados con el mismo código y nivel de severidad a registrar uno sólo de longitud igual a la suma de los deterioros por separado.

En la norma ASTM se encuentran todos los parámetros establecidos para definir tipo de deterioro y su nivel de severidad. Se toma como ejemplo el mismo deterioro: la grieta longitudinal para pavimentos asfálticos en aeropuertos como ejemplo de la descripción de la metodología para llevar a cabo inspecciones visuales.

Las grietas longitudinales son paralelas al eje del pavimento. Pueden ser ocasionadas por las siguientes razones:

1. Construcción pobre de la junta.
2. Encogimiento de la carpeta asfáltica debido a bajas temperaturas o endurecimiento del asfalto.
3. Reflexión de grietas en carpetas inferiores hacia la carpeta superior. Esto incluye grietas por reflexión de losas de concreto hidráulico que se puedan encontrar debajo de la carpeta asfáltica (si es que hay losas debajo). Pero no incluye grietas provocadas por juntas de losas que puedan estar debajo de la carpeta. Si se

identifica una grieta por reflexión de junta de losa se registra como deterioro diferente con su respectivo código.

Las grietas transversales se extienden a través del pavimento en ángulos rectos respecto al eje del pavimento o dirección de tendido. Este tipo de grietas no suele estar asociado a las cargas que se aplican de los neumáticos al pavimento. Si el pavimento está fragmentado a lo largo de la grieta se dice que ésta está astillada.

Las grietas longitudinales y transversales, así como la mayoría de los deterioros, son clasificados en 3 niveles de severidad:

- **Nivel bajo (L de Low en inglés).** Las grietas tienen astillamiento menor (lo que significa poco o nada de riesgo de daño a las aeronaves por objeto ajeno a la aeronave o FOD por sus siglas en inglés). Las grietas pueden estar o pueden no estar calafateadas. Las grietas que no están calafateadas deben tener un ancho menor a un cuarto de pulgada (6mm). Las grietas que si están calafateadas pueden tener cualquier ancho pero el sello de calafateo deberá estar en condiciones óptimas. (figura 15).
- **Nivel Medio (M).** Para clasificar una grieta longitudinal o transversal con nivel de severidad medio se tienen dos opciones:
 1. Las grietas están moderadamente astilladas. Lo cual significa que existe algún riesgo de daño por FOD. Y pueden estar calafateadas o no calafateadas de cualquier ancho.
 2. Las grietas que estén calafateadas no están astilladas o están ligeramente astilladas pero el calafateo no está en condiciones adecuadas.
 3. Grietas no calafateadas no están astilladas o lo están ligeramente pero algunas grietas son mayores a un cuarto de pulgada (6mm).
 4. Fisuras pequeñas al azar están conectadas con la grieta principal. (figura 15).
- **Nivel Alto (H de High en inglés).** Las grietas están severamente astilladas. Causando definitivamente riesgo de daño por FOD. Pueden estar calafateadas o no calafateadas de cualquier ancho. (figura 15).



Figura 15 Niveles de severidad para grietas longitudinales y transversales

Este tipo de grietas se miden en metros lineales. La longitud y severidad de cada grieta debe ser registrada. Si la grieta no tiene el mismo nivel de severidad a lo largo de toda la grieta, se deben registrar los tramos que sean de severidad diferente por separado.

El procedimiento es exactamente el mismo para la mayoría de los demás deterioros, aunque algunos se miden y se registran de manera diferente, en el manual de inspecciones se especifica cómo medir y registrar cada deterioro. Los parámetros que definen el nivel de severidad de cada deterioro también están definidos en los manuales de inspección.

Las últimas dos columnas de la tabla de registro cuyos nombres son densidad y valor de deducción se pueden ignorar por el momento. Son importantes para que el programa haga sus análisis debidamente. Existe todo el procedimiento para obtener esos valores a partir de nomogramas y algunas fórmulas. Sin embargo, el programa MicroPAVER los hace automáticamente. A continuación: una breve explicación para hacer la inspección en pavimentos de concreto hidráulico la cual se realiza de manera ligeramente distinta a los pavimentos asfálticos.

1.3.3.2 Pavimentos de concreto hidráulico.

Pavimento Rígido Lado Aire Hoja de Información de Inspección de condición por unidad de inspección					
Rerra	X1230	Sección	B05	Unidad de Muestreo	005
Supervisor	NYS	Fecha	MAR/15/1992	Área de Muestreo	20
Tipos de Deterioro 61. Expansión 62. Rotura de esquina 63. Grieta longitudinal 64. Grieta de durabilidad 65. Sello de juntas 66. Bacheos menores 67. Bacheos mayores 68. Palmeos 69. Bombeo 70. Grietas en las cas 71. Escalamientos 72. Losa dividida 73. Fisuras por encojimiento 74. Astillamiento en juntas 75. Astillamiento en esquinas		Croquis:			
Deterioro	Severidad	No. Losas	Densidad	Valor	Deductivo
65	H	2	10	20	2.0
62	L	2	10	20	2.0
62	M	1	3	3	0.3
63	L	3	15	45	4.5
63	M	3	20	60	6.0
72	L	1	5	5	0.5
74	L	2	10	20	2.0
75	L	3	15	45	4.5
75	M	1	5	5	0.5

Figura 16 Formato para inspección de pavimentos rígidos lado aire

El equipo es igual al equipo para pavimentos asfálticos, con la excepción de que en pavimentos de concreto hidráulico no es tan necesario el odómetro: el manual de inspección correspondiente, una regla, cámara fotográfica, formato de llenado, y bolígrafo

El primer paso en la inspección es realizada igualmente que para pavimentos asfálticos: se identifican las unidades de muestreo que se inspeccionarán y se recorre la zona con cuidado de identificar y registrar todos los deterioros.

El registro de los deterioros es diferente. Se registra el deterioro encontrado en cada losa de concreto. El ingeniero que inspecciona el pavimento recorre la unidad de muestreo y registra los deterioros pero no sus dimensiones. Únicamente registra el número de losas que sufren determinado deterioro y su nivel de severidad. La figura 16 muestra un ejemplo de una inspección en concreto hidráulico. En la parte superior se observa la misma información principal (unidad de muestreo, fecha, nombre o iniciales del ingeniero que inspecciona, etc.). Debajo el código de cada deterioro y debajo de éstos los deterioros encontrados en la unidad de muestreo correspondiente.

En el segundo renglón se encuentra registrado el código 62, el cual corresponde a rotura de esquina de nivel de severidad bajo. El número de losas que sufren este tipo de deterioro son dos y también se registra el nivel de severidad que en este caso es bajo. Obsérvese que para pavimentos rígidos no se mide la dimensión del daño. En lugar de

eso se cuentan las losas que sufren dicho deterioro en la unidad de muestreo que esté siendo inspeccionada. En el tercer renglón se ve el mismo deterioro: código 62 que corresponde a rotura de esquina. Pero a diferencia del anterior, éste es de nivel de severidad medio. Sólo se identificó una losa con este deterioro así que se registra en su columna correspondiente.

El procedimiento es el mismo con los demás deterioros. Se observa que en esa unidad de muestreo también se tienen registradas losas con fisuras longitudinales o transversales (código 63), losa cuarteada (código 72), losas con daño en los bordes y en las orillas (códigos 74 y 75 respectivamente).

Existe también un deterioro que se mide de manera diferente a los demás. Este deterioro se llama "daño en el sello de juntas" y su código es 65. Se mide de manera diferente en el sentido de que no se cuentan las losas que padecen este deterioro. Con un sello de juntas que se observe que esté deñado en la unidad de muestreo, se registra toda la unidad de muestreo. Si se analiza un poco: el daño en el sello de juntas no significa un deterioro del pavimento en sí. Sin embargo, un sello de junta dañado significa un potencial de daño a las losas. Alguna roca pequeña u otro tipo de basura que ingrese a la junta limitará a la losa a expandirse correctamente. Una losa que no tiene permitido completar correctamente sus ciclos de expansión y contracción está potencialmente expuesta a sufrir un daño irreparable como un agrietamiento. Por lo anterior, si se observa una unidad de muestreo con daño en el sello de alguna de sus juntas, no es necesario contar cuantos sellos están dañados, en vez de eso, se registra toda la unidad de muestreo como dañada en este aspecto y los ingenieros encargados del mantenimiento deben solucionar el problema lo antes posible si no quieren reemplazar losas en un futuro a mediano plazo.

El nivel de severidad que se registra en el formato es el de mayor grado de potencial de daño por FOD. Si en un área de muestreo se encuentra un sello de junta dañado con nivel de severidad bajo y en otra losa un nivel medio, toda la unidad se registra como nivel medio. Análogamente, si se observa una junta dañada nivel de severidad alto y en otros lugares nivel bajo o medio, el que queda registrado es el nivel alto.

En la parte derecha de la hoja de inspección se observa un espacio para dibujar un croquis muy simple donde el ingeniero que realiza la inspección debe registrar en cual losa identificó el deterioro que está registrando.

Figura 17 Interfaz de registro de PCI

La evaluación de la condición del pavimento tiene como herramienta principal el PCI (Índice de Condición del Pavimento – por sus siglas en inglés) que tiene una escala de 0 a 100 siendo 0 un pavimento completamente deplorable y 100 un pavimento en excelentes condiciones. Se inspeccionan los pavimentos para registrar los deterioros superficiales y se registran en el programa para que conozca cómo se comportan los pavimentos.

1.3.4 Reporte

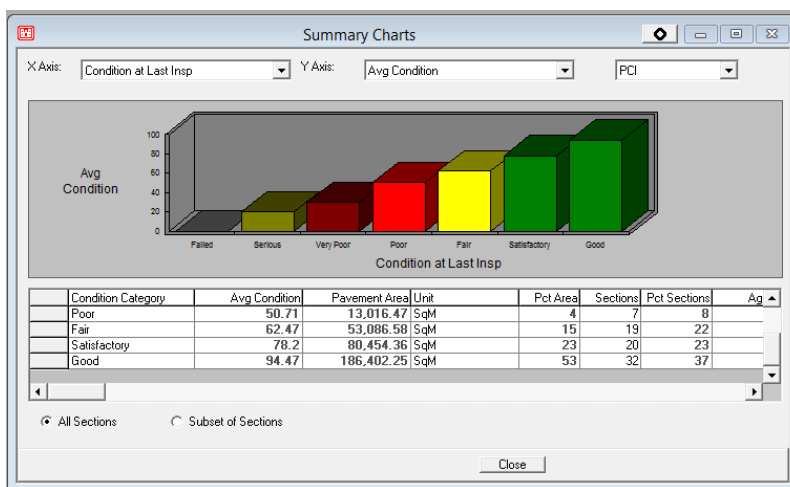


Figura 18 Interfaz de Reporte

En esta sección, el programa MicroPAVER permite hacer reportes que expresen aspectos muy diferentes de los pavimentos. Se puede conocer, si se desea, el historial de obras que se han realizado en determinada área, el PCI global, áreas donde el PCI está por debajo del nivel crítico y varios conceptos más.

El programa MicroPAVER brinda 4 tipos de reportes:

- a. Graficas de resumen.** Estas gráficas permiten comparar dos atributos de distintas bases de datos. La figura 18 muestra una relación entre condición de los pavimentos en la última inspección y el promedio del estado de los pavimentos del aeropuerto de Chihuahua.
- b. Reportes estándar.** Estos a su vez se dividen en otras 4 categorías:
 - Reportes de listado de ramas. Produce un listado de todas las ramas e información asociada que incluye uso, numero de secciones, área total, etc. La última página es un resumen de todas las ramas de la red.
 - Reporte de historial de obras. Produce un reporte de todos los trabajos completados de cada sección dentro de la vida de la base de datos, incluye tipo de trabajo, fecha y costo.
 - Reporte de condición de rama. Muestra la condición media de cada rama, incluyendo desviación estándar.
 - Reporte de condición de sección. Similar al anterior pero con información acerca de las secciones.
- c. Reportes definidos por el usuario.** Le permite al usuario crear sus propios reportes y mostrarlos en forma de una gráfica la cual puede ser después impresa o exportada a otro programa como Excel.
- d. Reportes GIS (sistemas de información geográfica).** Le permiten al usuario ver una variedad de información acerca de la base de datos en visualización gráfica.

1.3.5 Modelos de predicción

El capítulo 5 está dedicado exclusivamente a esta etapa de la gestión, por lo que se verá más detallada en ese apartado. Por el momento conviene explicar brevemente que los modelos de predicción son funciones matemáticas que predicen, con base en el historial del pavimento, la manera en que los pavimentos se deteriorarán.

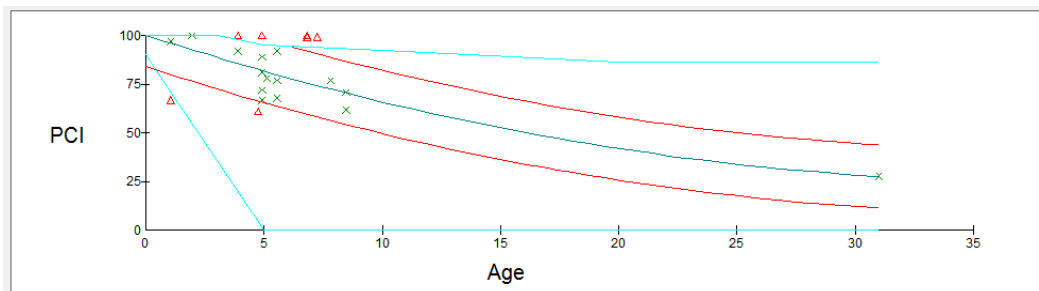


Figura 19 Modelo de predicción

A manera de ejemplo, se expone en la figura 19 la curva de comportamiento de las calles de rodaje en el aeropuerto de San Luis Potosí. El eje de las abscisas representa la edad en años y el eje de las ordenadas el PCI.

1.3.6 Análisis de Condiciones

La opción de condición de análisis le permite al usuario ver la condición de su red de pavimentos. El análisis está basado en inspecciones previas, valores interpolados entre inspecciones previas y condiciones proyectadas basadas en la asignación a una familia (capítulo 5). Una vez que el pavimento a analizar y el intervalo han sido escogidos, MicroPAVER puede predecir el deterioro del pavimento.

Se puede hacer para una zona en específico, o bien, generalizar si se desea conocer el historial de PCI de toda la red en estudio.

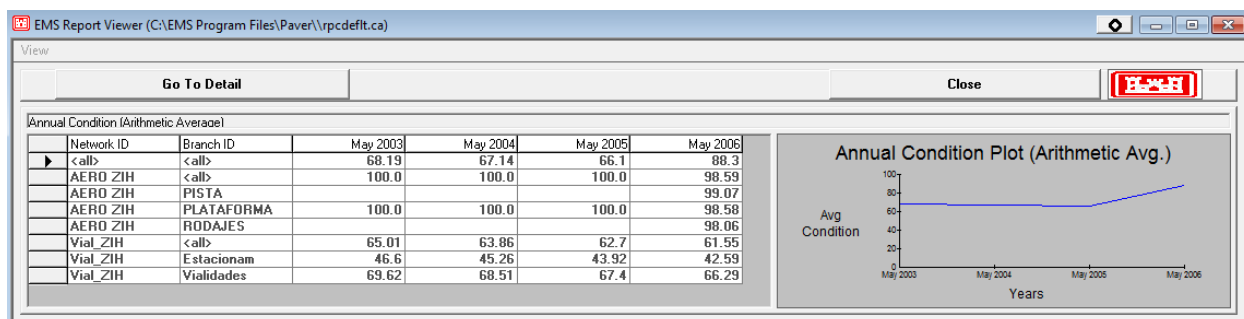


Figura 20 Interfaz de análisis de condiciones

1.3.7 M&R Plan

La herramienta M&R Work Plan de MicroPAVER ha sido diseñada para planear, programar, presupuestar y analizar actividades alternativas de reparación y mantenimiento (M&R) a pavimentos. El plan M&R hace uso de información básica del inventario combinada con información de las inspecciones, políticas de mantenimiento, costos de mantenimiento y predicciones futuras de la condición del pavimento.

Son herramientas que permiten hacer planes de mantenimiento y rehabilitación de una manera más eficiente. Se pueden hacer planes de mantenimiento ajustándonos a presupuestos limitados, se puede conocer cuánto costaría elevar el PCI a determinado valor deseado, se pueden hacer planes de mantenimiento y reparación (M&R) con diferentes criterios para analizar qué es lo mejor que se puede hacer con los recursos y otras opciones más. En el capítulo 3 se harán planes M&R para los 3 aeropuertos y serán analizadas y descritas.

1.3.8 Extras.

- GIS/Tree Sel. Micro PAVER incluye capacidades internas de mapeo para producir archivos "shape" de reportes como inventario, inspección análisis de condiciones y planes de trabajo que pueden ser visualizados en programas comerciales GIS. Esta interface además nos permite seleccionar y asignar información de secciones individuales del pavimento a información GIS.

- Genios. Es un conjunto de herramientas que ayudan al usuario paso a paso para realizar varias tareas como:
 - Genio para establecer planes de inspecciones. Establece formas de inspección para inspecciones visuales futuras.
 - Genio de registro de Trabajos. Registra obras realizadas múltiples o individuales que permiten al usuario crear reportes de historial de obras.
 - Cálculo de última fecha de reconstrucción. Esta interface es capaz de calcular la última fecha de reconstrucción con base en el historial de obras y comportamiento del pavimento.
 - Establecer propiedades en zonas múltiples del inventario.

En México apenas está comenzando la era de gestionar los pavimentos con la ayuda de un programa, como Micro PAVER. En el caso de los grupos aeroportuarios, OMA es el primero en establecer un programa como su herramienta principal de gestión.

Capítulo 2. Generalidades de los aeropuertos de San Luis Potosí, Chihuahua y Zihuatanejo

2.1 Grupo Aeroportuario Centro Norte (OMA)

Grupo Aeroportuario Centro Norte S.A. de C.V. conocido como OMA es una empresa que opera, administra y mantiene 13 aeropuertos principales de 9 estados de la República Mexicana, brindando servicio a más de 10 millones de pasajeros al año. Grupo Aeroportuario OMA se creó en 1998 como resultado de la liberación en el sistema aeroportuario mexicano que lo abrió a la inversión privada y emplea a 900 personas aproximadamente.

- Acapulco, Guerrero
- Ciudad Juárez, Chihuahua
- Culiacán, Sinaloa
- Chihuahua, Chihuahua
- Durango, Durango
- Mazatlán, Sinaloa
- Monterrey, Nuevo León
- Reynosa, Tamaulipas
- San Luis Potosí, San Luis Potosí
- Tampico, Tamaulipas
- Torreón, Coahuila
- Zacatecas, Zacatecas
- Zihuatanejo, Guerrero



Figura 21 Aeropuertos operados por OMA

2.2 Generalidades del Aeropuerto de Chihuahua

El Aeropuerto Internacional de Chihuahua **General Roberto Fierro Villalobos**, localizado a 18 km dirección noreste de Chihuahua, Chihuahua.

Coordenadas Geo posicionales:

28°42'11'' Norte

105°57'49'' Oeste

Recibe un estimado de 855 mil pasajeros al año.

Designación IATA: CUU

Altitud: 1360 msnm

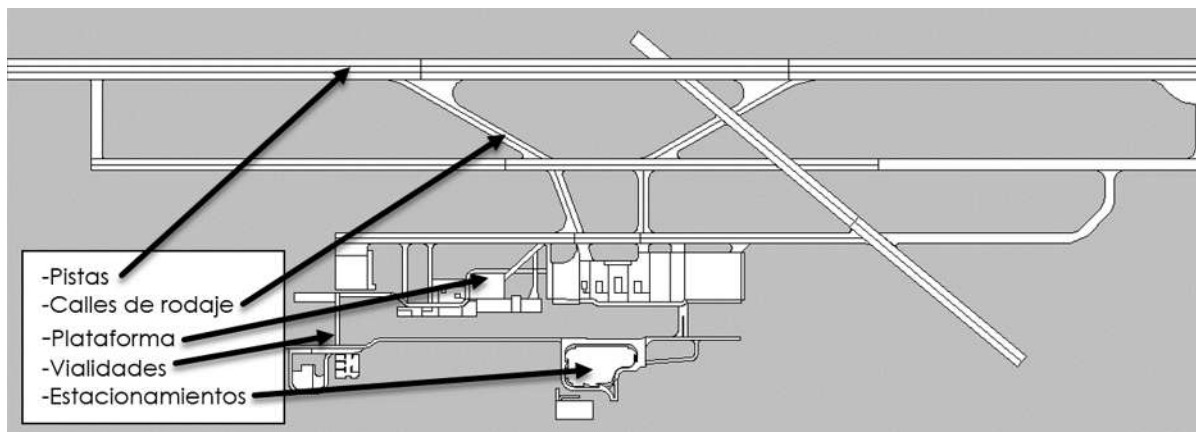


Figura 22 Pavimentos principales del Aeropuerto de Chihuahua

- El aeropuerto de Chihuahua cuenta con 3 pistas de aterrizaje y despegue.
- 9 calles de rodaje.
- Plataforma norte y sur para aviación general, plataforma para aviación de carga y plataforma para aviación comercial.
- Vialidades.
- Estacionamientos.

Los pavimentos del aeropuerto de Chihuahua han sido inspeccionados en 4 ocasiones: 2010, 2012, 2013 y 2014. Brindando así un historial de inspecciones suficiente para que el programa Micro PAVER logre identificar el comportamiento real de los pavimentos.

Otro aspecto importante a considerar es el tipo de pavimento que se encuentra en los aeropuertos. La figura 23 muestra un plano de los pavimentos del aeropuerto haciendo uso de la herramienta "REPORTES GIS" del sistema para visualizar el tipo de pavimento.

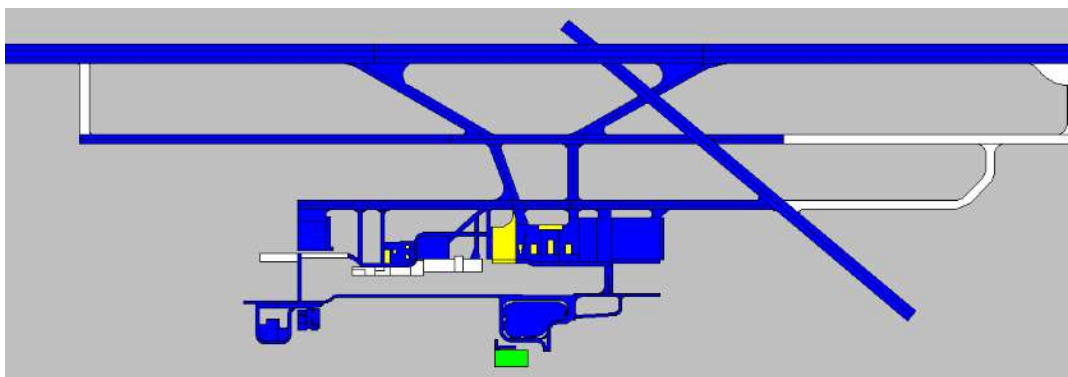


Figura 23 Plano de pavimentos acorde al tipo de pavimento en CUU

Los pavimentos en color azul denotan pavimento AAC

Los pavimentos en color verde denotan AC

Los pavimentos en color amarillo denotan PCC

2.3 Generalidades del Aeropuerto de San Luis Potosí

El Aeropuerto Internacional de San Luis Potosí **Ponciano Arriaga**, localizado a 28 km dirección norte de la ciudad de San Luis Potosí.

Coordenadas Geo posicionales:

22°15'25'' Norte

100°56'03'' Oeste

Recibe un estimado de 270 mil pasajeros al año.

Designación IATA: SLP

Altitud: 1839 msnm

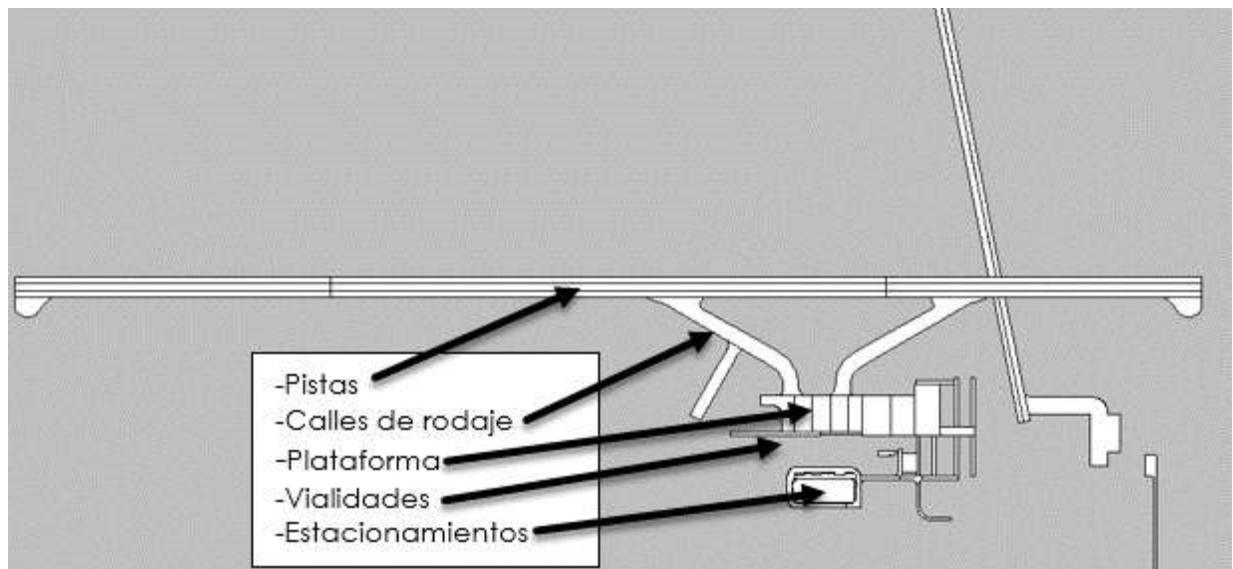


Figura 24 Pavimentos principales del Aeropuerto de San Luis Potosí

- El aeropuerto de San Luis Potosí tiene una pista principal y una secundaria.
- Tres calles de rodaje.
- Plataforma para aviación general y comercial.
- Vialidades.
- Estacionamientos.

Los pavimentos del aeropuerto de San Luis Potosí han sido inspeccionados en 4 ocasiones: 2011, 2012, 2013 y 2014. Brindando así un historial de inspecciones suficiente para que el programa Micro PAVER logre identificar el comportamiento real de los pavimentos.

Otro aspecto importante a considerar es el tipo de pavimento que se encuentra en los aeropuertos. La figura 25 muestra un plano de los pavimentos del aeropuerto haciendo uso de la herramienta "REPORTES GIS" del sistema para visualizar el tipo de pavimento.

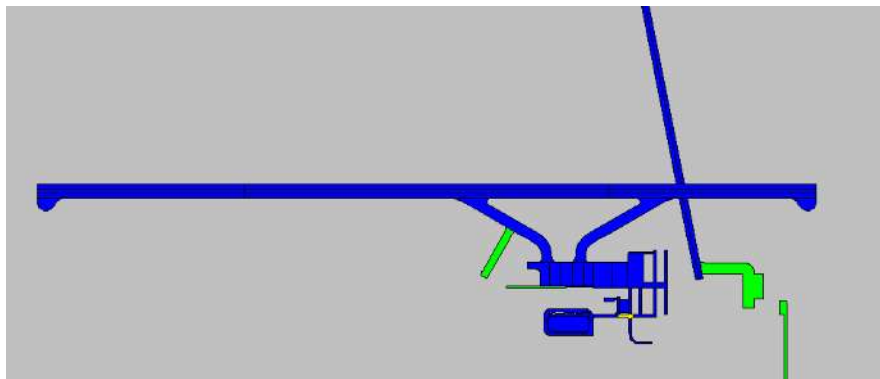


Figura 25 Plano de pavimentos acorde al tipo de pavimento en SLP

Los pavimentos en color azul denotan pavimento AAC

Los pavimentos en color verde denotan AC

Los pavimentos en color amarillo denotan PCC

2.4 Generalidades del Aeropuerto de Zihuatanejo

El **Aeropuerto Internacional de Ixtapa-Zihuatanejo**, localizado a 6 km dirección este de Zihuatanejo, Guerrero.

Coordenadas Geo posicionales:

17°36'23'' Norte

101°27'49'' Oeste

Recibe un estimado de 458 mil pasajeros al año.

Designación IATA: ZIH

Altitud: 8 msnm

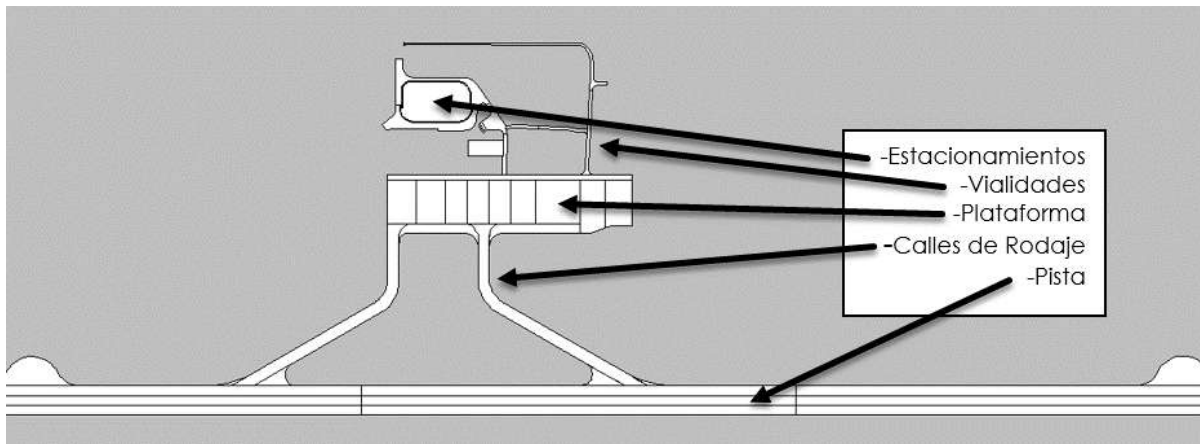


Figura 26 Pavimentos principales del Aeropuerto de Zihuatanejo

- El aeropuerto de Zihuatanejo cuenta con una pista de despegue.
- calles de rodaje.
- Plataforma para aviación comercial y para aviación general.
- Vialidades
- Estacionamientos.

Los pavimentos del aeropuerto de Zihuatanejo han sido inspeccionados en 4 ocasiones; en 2010, 2012, 2013 y 2014. Brindando así un historial de inspecciones suficiente para que el programa Micro PAVER logre identificar el comportamiento real de los pavimentos.

Otro aspecto importante a considerar es el tipo de pavimento que se encuentra en los aeropuertos. La figura 27 muestra un plano de los pavimentos del aeropuerto haciendo uso de la herramienta "REPORTES GIS" del sistema para visualizar el tipo de pavimento.

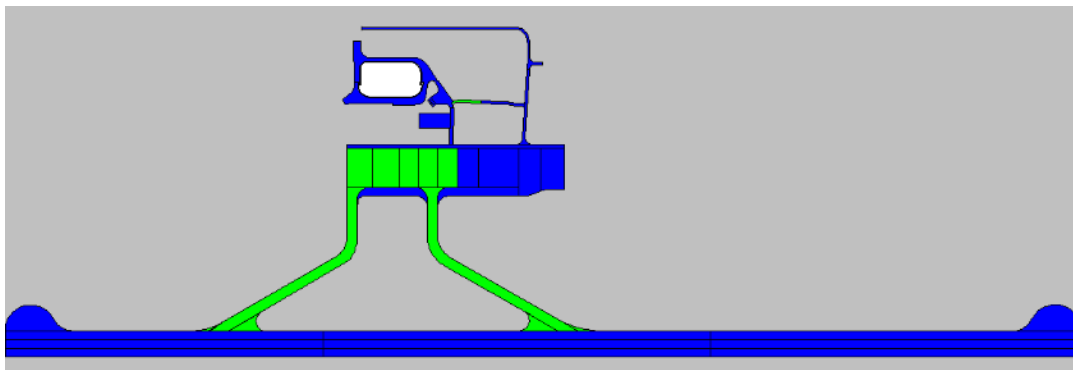


Figura 27 Plano de pavimentos acorde al tipo de pavimento en ZIH

Los pavimentos en color azul denotan pavimento AAC

Los pavimentos en color verde denotan AC

Los pavimentos en color amarillo denotan PCC

Capítulo 3. Sistemas de gestión de pavimentos en los aeropuertos de San Luis Potosí, Chihuahua y Zihuatanejo

Todos los aeropuertos de Grupo OMA están siendo gestionados con el programa MicroPAVER. Son 13 aeropuertos importantes, sin embargo, para la presente tesis, se asignó la tarea de únicamente calibrar el sistema de gestión en 3 aeropuertos que son los de Zihuatanejo, Chihuahua y San Luis Potosí. Recordando uno de los objetivos particulares de la presente tesis:

Analizar los archivos de cada aeropuerto después de ser calibrados y comparar los resultados con los archivos no actualizados para determinar la importancia y el impacto de la gestión de los pavimentos y la conveniencia de llevar a cabo un control ordenado en el registro de obras que se realizan en cada zona de cada uno de los aeropuertos.

Tras hacer la comparación y dejar claro lo fundamental que es calibrar las tablas de cada aeropuerto se busca continuar la labor de calibrar los archivos para los demás aeropuertos de Grupo OMA.

3.1 Inspecciones realizadas

La primera tarea a realizar después de recibir la información por parte de OMA fue revisar en cuales años se habían realizado las inspecciones visuales. Esta tarea es muy fácil de ser realizada: se abre el archivo PAVER y se dirige al botón PCI. Al hacer clic se abre la ventana con la información de todas las inspecciones realizadas en el área de muestreo que esté asignada, la figura 28 muestra la ventana donde se registran los deterioros encontrados durante la inspección.

PAVER 6.1.6

File Tables Preferences Add-Ins Window Help

Inventory Workbooks **PCI** Reports Pred. Modeling Cond. Analysis M&R Plan GIS/Tree Sel. List Sel. Wizard

PCIAERO ZIH-PISTA-08_26_A0

Summary data at time of inspection

Branch Use: RUNWAY Section Surface Type: AAC Section True Area: 5,905.92 SqM
 Section Length: 76.85 M Section Width: 76.85 M

Inspection Date: 7/29/2014 Edit Inspections Detailed Inspection Comments Calculate Conditions

Sample Unit: 1 Edit Sample Units

Sample Unit Size: 5905.92 SqM No distresses found during inspection Remaining Samples Have No Distress

Distress Type

☐ 41 ALLIGATOR CR ☐ 46 JET BLAST ☐ 51 POLISHED AG ☐ 56 SWELLING
☐ 42 BLEEDING ☐ 47 JT REF. CR ☐ 52 WEATH/RAVEL
☐ 43 BLOCK CR ☒ 48 L T CR ☐ 53 RUTTING
☐ 44 CORRUGATION ☐ 49 OIL SPILLAGE ☐ 54 SHOIVING
☐ 45 DEPRESSION ☐ 50 PATCHING ☐ 55 SLIPPAGE CR

Distress Severity ☒ Low ☐ Medium ☐ High ☐ N/A

Distress Quantity 16.50 M

Distress	Description	Severity	Quantity	Units
48	LONGITUDINAL	L	16.5	M
48	LONGITUDINAL	M	261.6	M
50	PATCHING	L	81.44	SqM

Add Distress
 Delete Distress
 Replace Distress

Previous Sample Unit Next Sample Unit Smp Images (0) Insp Images (0) Close

Figura 28 interfaz de PCI

En los 3 aeropuertos había registradas fechas de inspección que carecían de datos de inspección. Es muy probable que se haya dado de alta alguna fecha por error y no se haya eliminado. La primera tarea fue revisar todas las unidades de muestreo que sí tuvieran datos de inspección. Al hacer lo anterior, se eliminaron las inspecciones vacías y se dejaron las inspecciones que sí tenían datos. Como resultado se obtuvieron las tablas que se presentan a continuación para cada aeropuerto donde está indicado que parte del aeropuerto fue inspeccionada en que año. Existen celdas vacías que indican que esa parte del aeropuerto no estaba construida. Otras celdas vacías donde ya se tiene un registro de un año anterior indican que la zona no se inspeccionó debido a alguna obra que haya sido realizada durante la inspección o simplemente no se permitió el acceso a la brigada de inspección:

Aeropuerto de Chihuahua

Vialidades y Estacionamientos del Aeropuerto de Chihuahua			
Estacionamientos			
Estacionamiento 1			
22 de febrero de 2011	10 de octubre de 2012	7 de noviembre de 2013	5 de julio de 2014
Estacionamiento 2			
10 de octubre de 2012	31 de enero de 2012	7 de noviembre de 2013	24 de febrero de 2014
Estacionamiento 3			
		5 de julio de 2014	24 de febrero de 2014

Tabla 4 Aeropuerto de Chihuahua - Estacionamientos

Vialidades y Estacionamientos del Aeropuerto de Chihuahua				
Vialidades				
Acceso a Plataforma Comercial				
22 de noviembre de 2010	22 de febrero de 2011	10 de octubre de 2012	7 de noviembre de 2013	
Hangar Norte				
22 de noviembre de 2010	22 de febrero de 2011	10 de octubre de 2012	7 de noviembre de 2013	5 de julio de 2014
Hangar Sur				
22 de noviembre de 2010	22 de febrero de 2011	10 de octubre de 2012	7 de noviembre de 2013	
Vía Interior 1C				
		1 de febrero de 2012	10 de octubre de 2012	
Vía en Estacionamiento 1				
		1 de febrero de 2012	10 de octubre de 2012	5 de julio de 2014
Vía en Estacionamiento 2				
	1 de febrero de 2012	10 de octubre de 2012	7 de noviembre de 2013	5 de julio de 2014

Vía en Estacionamiento				
	22 de febrero de 2012	10 de octubre de 2012	7 de noviembre de 2013	5 de julio de 2014
Vía Interior 1				
22 de noviembre de 2010	22 de febrero de 2011	10 de octubre de 2012	7 de noviembre de 2013	5 de julio de 2014
Vía Interior 2				
	22 de febrero de 2011	10 de octubre de 2012	7 de noviembre de 2013	
Acceso a Aduana				
			24 de febrero de 2014	6 de julio de 2014
Andén Ad 1				
			24 de febrero de 2014	5 de julio de 2014
Andén Ad 2				
			25 de febrero de 2014	5 de julio de 2014
Andén OMA				
				24 de febrero de 2014
Calle de Rodamiento 1				
31 de enero de 2012	10 de octubre de 2012	6 de noviembre de 2013	24 de febrero de 2014	4 de julio de 2014
Calle de Rodamiento 2				
			24 de febrero de 2014	5 de julio de 2014
Calle de Rodamiento 3				
			24 de febrero de 2014	5 de julio de 2014
Via de Acceso a Hangar				
				25 de febrero de 2014

Via Interior Ad				
			24 de febrero de 2014	5 de julio de 2014
Via a Plataforma				
			25 de febrero de 2014	5 de julio de 2014
Via a Plataforma 1				
			24 de febrero de 2014	5 de julio de 2014
Via a Plataforma 2				
			24 de febrero de 2014	5 de julio de 2014
Via a Plataforma 3				
			25 de febrero de 2014	5 de julio de 2014
Via-Resid				
				25 de febrero de 2014
Via de Servicio a Plataforma				
				24 de febrero de 2014

Tabla 5 Aeropuerto de Chihuahua - Vialidades

Aeropuerto de Chihuahua		
Helipuerto		
Helipuerto		
31 de enero de 2012	10 de octubre de 2012	5 de julio de 2014
Helipuerto C1		
		5 de julio de 2014
Helipuerto C2		
		5 de julio de 2014

Tabla 6 Aeropuerto de Chihuahua - Helipuerto

Aeropuerto de Chihuahua			
Pistas			
04_22_A1			
28 de diciembre de 2010	10 de octubre de 2012	6 de noviembre de 2013	5 de julio de 2014
04_22_A2			
28 de diciembre de 2010	10 de octubre de 2012	6 de noviembre de 2013	5 de julio de 2014
04_22_B1			
28 de diciembre de 2010	10 de octubre de 2012	6 de noviembre de 2013	5 de julio de 2014
04_22_B2			
28 de diciembre de 2010	10 de octubre de 2012	6 de noviembre de 2013	5 de julio de 2014
04_22_C			
28 de diciembre de 2010	10 de octubre de 2012	6 de noviembre de 2013	5 de julio de 2014
18D_36I_A1			
28 de diciembre de 2010	10 de octubre de 2012	6 de noviembre de 2013	5 de julio de 2014
18D_36I_A2			
10 de noviembre de 2010	10 de octubre de 2012	6 de noviembre de 2013	5 de julio de 2014
18D_36I_B1			
10 de noviembre de 2010	10 de octubre de 2012	6 de noviembre de 2013	5 de julio de 2014
18D_36I_B2			
10 de noviembre de 2010	10 de octubre de 2012	6 de noviembre de 2013	5 de julio de 2014
18D_36I_C1			
10 de noviembre de 2010	10 de octubre de 2012	6 de noviembre de 2013	5 de julio de 2014
18D_36I_C2			
10 de noviembre de 2010	10 de octubre de 2012	6 de noviembre de 2013	5 de julio de 2014

18I_36D_A1			
16 de diciembre de 2010	10 de octubre de 2012	6 de noviembre de 2013	4 de julio de 2014
18I_36D_A2			
16 de diciembre de 2010	10 de octubre de 2012	6 de noviembre de 2013	4 de julio de 2014
18I_36D_A3			
16 de diciembre de 2010	10 de octubre de 2012	6 de noviembre de 2013	4 de julio de 2014
18I_36D_B1			
16 de diciembre de 2010	10 de octubre de 2012	6 de noviembre de 2013	4 de julio de 2014
18I_36D_B2			
16 de diciembre de 2010	10 de octubre de 2012	6 de noviembre de 2013	4 de julio de 2014
18I_36D_B3			
16 de diciembre de 2010	10 de octubre de 2012	6 de noviembre de 2013	4 de julio de 2014
18I_36D_B3			
16 de diciembre de 2010	10 de octubre de 2012	6 de noviembre de 2013	4 de julio de 2014
18I_36D_C1			
16 de diciembre de 2010	10 de octubre de 2012	6 de noviembre de 2013	4 de julio de 2014
18I_36D_C2			
16 de diciembre de 2010	10 de octubre de 2012	6 de noviembre de 2013	4 de julio de 2014
18I_36D_C3			
6 de octubre de 2010	10 de octubre de 2012	6 de noviembre de 2013	4 de julio de 2014

Tabla 7 Aeropuerto de Chihuahua - Pistas

Aeropuerto de Chihuahua			
Plataforma			
Aviación General 1			
23 de diciembre de 2010	10 de octubre de 2012	6 de noviembre de 2013	5 de julio de 2014
Aviación General Sur			
23 de diciembre de 2010	10 de octubre de 2012	6 de noviembre de 2013	6 de julio de 2014
Carga			
23 de diciembre de 2010	10 de octubre de 2012	6 de noviembre de 2013	
Comercial 1			
22 de febrero de 2011	10 de octubre de 2012	6 de noviembre de 2013	6 de julio de 2014
Comercial 2			
22 de febrero de 2011	10 de octubre de 2012	6 de noviembre de 2013	6 de julio de 2014
Comercial 3			
22 de febrero de 2011	10 de octubre de 2012	6 de noviembre de 2013	6 de julio de 2014
Comercial 4			
22 de febrero de 2011	10 de octubre de 2012	6 de noviembre de 2013	6 de julio de 2014
Comercial 5			
22 de febrero de 2011	10 de octubre de 2012	6 de noviembre de 2013	6 de julio de 2014
Comercial 6			
22 de febrero de 2011	10 de octubre de 2012	6 de noviembre de 2013	6 de julio de 2014
Comercial 7			
22 de febrero de 2011	10 de octubre de 2012	6 de noviembre de 2013	6 de julio de 2014
Comercial de Concreto 3			
			25 de febrero de 2014
Comercial de Concreto 4 A			
			25 de febrero de 2014
Comercial de Concreto 4 B			
			25 de febrero de 2014
Comercial de Concreto 5			
			25 de febrero de 2014
Comercial de Concreto 6			
			25 de febrero de 2014

Tabla 8 Aeropuerto de Chihuahua - Plataforma

Aeropuerto de Chihuahua			
Rodajes			
Alfa A1			
27 de diciembre de 2010	10 de octubre de 2012	6 de noviembre de 2013	5 de julio de 2014
Alfa A2			
27 de diciembre de 2010	10 de octubre de 2012	6 de noviembre de 2013	
Alfa B1			
27 de diciembre de 2010	10 de octubre de 2012	6 de noviembre de 2013	5 de julio de 2014
Alfa B2			
27 de diciembre de 2010	10 de octubre de 2012	6 de noviembre de 2013	
Alfa C1			
27 de diciembre de 2010	10 de octubre de 2012	6 de noviembre de 2013	5 de julio de 2014
Alfa C2			
27 de diciembre de 2010	10 de octubre de 2012	6 de noviembre de 2013	
Charly A1			
27 de diciembre de 2010	10 de octubre de 2012	6 de noviembre de 2013	5 de julio de 2014
Charly A2			
27 de diciembre de 2010	10 de octubre de 2012	6 de noviembre de 2013	5 de julio de 2014
Charly B1			
27 de diciembre de 2010	10 de octubre de 2012	6 de noviembre de 2013	5 de julio de 2014
Charly B2			
27 de diciembre de 2010	10 de octubre de 2012	6 de noviembre de 2013	5 de julio de 2014
Delta A1			
27 de diciembre de 2010	10 de octubre de 2012	6 de noviembre de 2013	5 de julio de 2014
Delta A2			
27 de diciembre de 2010	10 de octubre de 2012	6 de noviembre de 2013	5 de julio de 2014
Delta B1			
27 de diciembre de 2010	10 de octubre de 2012	6 de noviembre de 2013	5 de julio de 2014
Delta B2			
27 de diciembre de 2010	10 de octubre de 2012	6 de noviembre de 2013	5 de julio de 2014
Delta C1			
27 de diciembre de 2010	10 de octubre de 2012	6 de noviembre de 2013	5 de julio de 2014
Delta C2			
27 de diciembre de 2010	10 de octubre de 2012	6 de noviembre de 2013	5 de julio de 2014

Rodaje a Aviación General Norte			
31 de enero de 2012	10 de octubre de 2012	6 de noviembre de 2013	6 de julio de 2014
Rodaje a Aviación general Sur			
31 de enero de 2012	10 de octubre de 2012	6 de noviembre de 2013	6 de julio de 2014
Rodaje a Plataforma de Carga			
31 de enero de 2012	10 de octubre de 2012	6 de noviembre de 2013	6 de julio de 2014
Rodaje a Plataforma Comercial de Concreto 1			
31 de enero de 2012	10 de octubre de 2012		6 de julio de 2014
Rodaje a Plataforma Comercial de Concreto 3			
31 de enero de 2012	10 de octubre de 2012	6 de noviembre de 2013	6 de julio de 2014
Rodaje a Plataforma Comercial de Concreto 6			
31 de enero de 2012	10 de octubre de 2012	6 de noviembre de 2013	5 de agosto de 2014
Rodaje a Helipuerto			
31 de enero de 2012	10 de octubre de 2012	6 de noviembre de 2013	

Tabla 9 Aeropuerto de Chihuahua - Rodajes

Aeropuerto de San Luis Potosí

Aeropuerto de San Luis Potosí			
Pistas			
04_22_A1			
15 de febrero de 2011	22 de octubre de 2012	26 de octubre de 2013	19 de junio de 2014
04_22_A2			
15 de febrero de 2011	22 de octubre de 2012	26 de octubre de 2013	19 de junio de 2014
04_22_B1			
15 de febrero de 2011	22 de octubre de 2012	26 de octubre de 2013	19 de junio de 2014
04_22_B2			
15 de febrero de 2011	22 de octubre de 2012	26 de octubre de 2013	19 de junio de 2014
14_32_A1			
29 de septiembre de 2010	22 de octubre de 2012	26 de octubre de 2013	20 de junio de 2014
14_32_A2			
17 de febrero de 2011	22 de octubre de 2012	26 de octubre de 2013	20 de junio de 2014
14_32_A3			
17 de febrero de 2011	22 de octubre de 2012	26 de octubre de 2013	20 de junio de 2014
14_32_B1			
17 de febrero de 2011	22 de octubre de 2012	26 de octubre de 2013	21 de junio de 2014
14_32_B2			
17 de febrero de 2011	22 de octubre de 2012	26 de octubre de 2013	21 de junio de 2014
14_32_B3			
17 de febrero de 2011	22 de octubre de 2012	26 de octubre de 2013	20 de junio de 2014
14_32_C1			
19 de febrero de 2011	22 de octubre de 2012	26 de octubre de 2013	21 de junio de 2014
14_32_C2			
19 de febrero de 2011	22 de octubre de 2012	26 de octubre de 2013	21 de junio de 2014
14_32_C3			
19 de febrero de 2011	22 de octubre de 2012	26 de octubre de 2013	20 de junio de 2014

Tabla 10 Aeropuerto de San Luis Potosí - Pista

Aeropuerto de San Luis Potosí			
Plataforma			
Comercial 1			
10 de febrero de 2011	23 de octubre de 2012	25 de octubre de 2013	18 de junio de 2014
Comercial 2			
10 de noviembre de 2010	23 de octubre de 2012	25 de octubre de 2013	18 de junio de 2014
Comercial 3			
10 de noviembre de 2010	23 de octubre de 2012	25 de octubre de 2013	18 de junio de 2014
Comercial 4			
			18 de junio de 2014
Comercial 5			
			18 de junio de 2014
General 1			
10 de febrero de 2011	23 de octubre de 2012	25 de octubre de 2013	18 de junio de 2014
General 2			
10 de noviembre de 2010	23 de octubre de 2012	25 de octubre de 2013	18 de junio de 2014
General 3			
10 de febrero de 2011	23 de octubre de 2012	25 de octubre de 2013	18 de junio de 2014
Gota de Cabecera 14			
			18 de junio de 2014
Gota de Cabecera 32			
			21 de junio de 2014

Tabla 11 Aeropuerto de San Luis Potosí - Plataforma

Aeropuerto de San Luis Potosí			
Rodajes			
Rodaje Alfa			
29 de septiembre de 2010	23 de octubre de 2012	26 de octubre de 2013	19 de junio de 2014
Rodaje Alfa 1			
28 de febrero de 2011	23 de octubre de 2012	26 de octubre de 2013	
Rodaje Bravo			
28 de febrero de 2011	23 de octubre de 2012	26 de octubre de 2013	19 de junio de 2014
Rodaje Delta			
Sin Inspecciones			

Tabla 12 Aeropuerto de San Luis Potosí - Rodajes

Aeropuerto de San Luis Potosí			
Vialidades			
Vialidad A			
16 de noviembre de 2010	23 de octubre de 2012	26 de octubre de 2013	16 de agosto de 2014
Vialidad B			
16 de noviembre de 2010	23 de octubre de 2012	26 de octubre de 2013	16 de agosto de 2014
Vialidad C			
16 de noviembre de 2010	23 de octubre de 2012	26 de octubre de 2013	
Vialidad D			
16 de noviembre de 2010	23 de octubre de 2012	26 de octubre de 2013	
Vialidad E			
16 de noviembre de 2010	23 de octubre de 2012	26 de octubre de 2013	
Vialidad F			
			18 de junio de 2014
Vialidad hacia Hangares			
Sin Inspecciones			
Vialidad 1			
3 de febrero de 2011	25 de noviembre de 2013		17 de junio de 2014
Vialidad 2			
3 de febrero de 2011	25 de noviembre de 2013		17 de junio de 2014
Vialidad 3			
	10 de febrero de 2011	25 de octubre de 2013	17 de junio de 2014

Vialidad 4			
16 de noviembre de 2010			18 de junio de 2014
Vialidad 5			
16 de noviembre de 2010			
Vialidad 6			
	10 de febrero de 2011	25 de octubre de 2013	17 de junio de 2014
Vialidad 7			
	10 de febrero de 2011		18 de junio de 2014
Vialidad 8			
			16 de agosto de 2014
Exclusa en Aviación Civil			
			18 de junio de 2014
Vía en Aviación Comercial			
			18 de junio de 2014
Vialidad en Estafeta			
			18 de junio de 2014

Tabla 13 Aeropuerto de San Luis Potosí - Vialidades

Aeropuerto de San Luis Potosí			
Estacionamientos			
Estacionamiento 1			
3 de febrero de 2011	23 de octubre de 2012	25 de octubre de 2013	17 de junio de 2014
Estacionamiento 2			
10 de febrero de 2011	23 de octubre de 2012	25 de octubre de 2013	17 de junio de 2014
Estacionamiento 3			
10 de febrero de 2011	23 de octubre de 2012	25 de octubre de 2013	17 de junio de 2014

Tabla 14 Aeropuerto de San Luis Potosí - Estacionamientos

Aeropuerto de Zihuatanejo

Aeropuerto de Zihuatanejo			
Pista			
08_26_A0			
11 de noviembre de 2010	27 de octubre de 2012	25 de noviembre de 2013	29 de julio de 2014
08_26_A1			
6 de diciembre de 2010	27 de diciembre de 2012	25 de noviembre de 2013	29 de julio de 2014
08_26_A2			
15 de febrero de 2011	27 de octubre de 2012	25 de noviembre de 2013	29 de julio de 2014
08_26_A3			
15 de febrero de 2011	27 de octubre de 2012	25 de noviembre de 2013	22 de julio de 2014
08_26_B1			
11 de noviembre de 2010	27 de octubre de 2012	25 de noviembre de 2013	29 de julio de 2014
08_26_B2			
11 de noviembre de 2010	27 de octubre de 2012	25 de noviembre de 2013	29 de julio de 2014
08_26_B3			
11 de noviembre de 2010	27 de octubre de 2012	25 de noviembre de 2013	29 de julio de 2014
08_26_C0			
11 de noviembre de 2010	27 de octubre de 2012	25 de noviembre de 2013	29 de julio de 2014
08_26_C1			
11 de noviembre de 2010	27 de octubre de 2012	25 de noviembre de 2013	29 de julio de 2014
08_26_C2			
11 de noviembre de 2010	27 de octubre de 2012	25 de noviembre de 2013	29 de julio de 2014
08_26_C3			
11 de noviembre de 2010	27 de octubre de 2012	25 de noviembre de 2013	29 de julio de 2014

Tabla 15 Aeropuerto de Zihuatanejo - Pista

Aeropuerto de Zihuatanejo			
Plataforma			
Aviación Comercial 01			
23 de febrero de 2011	27 de octubre de 2012	25 de noviembre de 2013	28 de julio de 2014

Aviación Comercial 02			
23 de febrero de 2011	27 de octubre de 2012	25 de noviembre de 2013	28 de julio de 2014
Aviación Comercial 03			
23 de febrero de 2011	27 de octubre de 2012	25 de noviembre de 2013	28 de julio de 2014
Aviación Comercial 04			
23 de febrero de 2011	27 de octubre de 2012	25 de noviembre de 2013	28 de julio de 2014
Aviación Comercial 05			
6 de diciembre de 2010	27 de octubre de 2012	25 de noviembre de 2013	28 de julio de 2014
Aviación Comercial 06			
23 de febrero de 2011	27 de octubre de 2012	25 de noviembre de 2013	28 de julio de 2014
Aviación General 01			
11 de noviembre de 2010	27 de octubre de 2012	25 de noviembre de 2013	28 de julio de 2014
Aviación General 02			
11 de noviembre de 2010	27 de octubre de 2012	25 de noviembre de 2013	28 de julio de 2014
Aviación General 03			
11 de noviembre de 2010	27 de octubre de 2012	25 de noviembre de 2013	28 de julio de 2014

Tabla 16 Aeropuerto de Zihuatanejo - Plataforma

Aeropuerto de Zihuatanejo			
Rodajes			
Alfa_01			
11 de noviembre de 2010	27 de octubre de 2012	25 de noviembre de 2013	29 de julio de 2014
Alfa_02			
23 de febrero de 2011	27 de octubre de 2012	25 de noviembre de 2013	29 de julio de 2014
Alfa_03			
23 de febrero de 2011	27 de octubre de 2012	25 de noviembre de 2013	
Rodaje a Aviación Comercial			
11 de noviembre de 2010	27 de octubre de 2012	25 de noviembre de 2013	29 de julio de 2014
Rodaje a Aviación General			
11 de noviembre de 2010	27 de octubre de 2012	25 de noviembre de 2013	29 de julio de 2014
Bravo_01			
23 de febrero de 2011	27 de octubre de 2012	25 de noviembre de 2013	29 de julio de 2014
Bravo_02			
23 de febrero de 2011	27 de octubre de 2012	25 de noviembre de 2013	29 de julio de 2014

Bravo_03			
23 de febrero de 2011	27 de octubre de 2012	25 de noviembre de 2013	29 de julio de 2014

Tabla 17 Aeropuerto de Zihuatanejo - Rodajes

Aeropuerto de Zihuatanejo			
Estacionamientos			
Estacionamiento Principal			
24 de noviembre de 2010	27 de octubre de 2012	25 de noviembre de 2013	29 de julio de 2014
Estacionamiento 1			
24 de noviembre de 2010	27 de octubre de 2012	25 de noviembre de 2013	29 de julio de 2014
Estacionamiento Administrativo			
			29 de julio de 2014

Tabla 18 Aeropuerto de Zihuatanejo - Estacionamientos

Aeropuerto de Zihuatanejo			
Vialidades			
Vialidad de Acceso			
24 de noviembre de 2010	27 de octubre de 2012	25 de noviembre de 2013	
Vialidades de Acceso 1			
24 de noviembre de 2010	27 de octubre de 2012	25 de noviembre de 2013	29 de julio de 2014
Vialidad Exterior			
24 de noviembre de 2010	27 de octubre de 2012	25 de noviembre de 2013	
Vial_Alím			
24 de noviembre de 2010	27 de octubre de 2012	25 de noviembre de 2013	29 de julio de 2014
Vial_AlímC			
24 de noviembre de 2010	27 de octubre de 2012	25 de noviembre de 2013	29 de julio de 2014
Vialidad a Combustibles			
24 de noviembre de 2010	27 de octubre de 2012	25 de noviembre de 2013	29 de julio de 2014
Vialidad a Combustibles 1			
24 de noviembre de 2010	27 de octubre de 2012	25 de noviembre de 2013	28 de julio de 2014
Vialidad Interior			
24 de noviembre de 2010	27 de octubre de 2012	25 de noviembre de 2013	28 de julio de 2014

Tabla 19 Aeropuerto de Zihuatanejo - Vialidades

3.2 Obtención de datos para calibrar el sistema

Después de obtener los archivos PAVER y revisar las fechas de inspección para eliminar los datos incorrectos, la segunda tarea realizada fue pedir el historial de obras que se han realizado en cada uno de los aeropuertos.

El conocimiento de la construcción y obras de mantenimiento realizadas es una parte importante de la gestión. La información acerca de la construcción y obras de mantenimiento deben incluir principalmente la siguiente información:

- Estructura y fecha original de construcción.
- Fechas y espesores de capas superiores posteriores.

- Historial de mantenimiento que incluya las técnicas más sencillas como sello de grietas, sello de juntas tratamientos superficiales y baches menores.
- Propiedades de cada material usado en cada fase de construcción.

Grupo OMA facilitó la información relativa a las obras de mantenimiento de pavimentos que se ejecutaron los últimos años (2002 en adelante) en los aeropuertos analizados. Sin embargo esta información no se presenta por cuestiones de confidencialidad.

Cabe mencionar que en dicha información se presentan además diversos datos que para los propósitos aquí expresados no son necesarios, siendo los primordiales el tipo de obra, material (Concreto hidráulico o asfáltico), fecha, espesor y monto. Por lo que resulta más conveniente ordenar la información como se muestra en la figura 29.

2002	Obra	Material	Fecha	Espesor (mm)	Monto
	Construcción de la ampliación de la plataforma de aviación de carga una posición.	FALTA	FALTA	FALTA	\$4,684,500.00
	Construcción del Recinto Fiscalizado y Plataforma de Carga del Aeropuerto de Chihuahua	FALTA	19-Dec-03	FALTA	\$15,992,270.00
	Rehabilitación con mortero asfáltico en la pista 18L-36D (117,000 M2)	Asfalto	31-Jul-03	5	\$3,965,400.00
	Supervisión y Control Total de la Obra Relativa a: Rehabilitación con Mortero Asfáltico en la Pista 18L-36D y Obras Complementarias.	N/A	31-Jul-02	N/A	\$239,310.00
	Suministro y Aplicación de Mortero Asfáltico en la Pista 18L-36D	Asfalto	7-Jul-03	5	\$4,083,530.00
	Rehabilitación de pavimento en vialidades, bacheo y mortero (7,800 M2)	Asfalto	31-Dec-02	FALTA	\$315,000.00
	Rehabilitación de carpeta en zonas de parada en cabecera 36R-18L en 4,050 M2, carpeta	Asfalto	FALTA	FALTA	\$292,500.00
	Reconstrucción de zonas de parada de las cabeceras 18L-36R y T.C.	FALTA	FALTA	FALTA	\$289,270.00

Figura 29 información ordenada

De esta manera ya está más clara la idea de cuál es la información que se introducirá al programa MicroPAVER, cuál es la información que nos hace falta y con cuál ya se cuenta. El significado de los diferentes colores está dado en la figura 30.



Figura 30 Uso de colores para celdas

De toda la información recibida por parte de OMA se resaltan las siguientes consideraciones importantes:

- Aproximadamente el 70% de las obras indicaba el tipo de pavimento (CA o concreto hidráulico). El restante 30% no.
- Aproximadamente el 95% de las obras indicaba la fecha en que se realizó la obra.
- El 0% de las obras especificó el espesor.

- El 100% de las obras especificó el costo de la obra.

Con ayuda de los doctores Mauricio Centeno y Mario Salazar se propuso descifrar varios datos que no están especificados y proponer otros como:

- Espesores. Todos los espesores se propusieron a partir de números muy generales como losas de concreto de 30 cm aproximadamente.
- Material. En los casos donde no está registrado el material, se recurrió al programa MicroPAVER a revisar el tipo de material en cada zona.
- Algunas fechas de construcción revisando el Programa MicroPAVER para revisar algún indicio.
- Algunas obras de mantenimiento o rehabilitación no especifican con exactitud donde fueron realizadas. Únicamente se deben registrar en el programa la información de la que se pueda estar seguro, ya que ingresar incorrectamente una obra realizada en algún lugar que no haya sido así, afectará más de los que ayudará, ya que el programa considerará algo erróneo, emitiendo obviamente resultados erróneos.
- Algunos conceptos no vienen especificados como se necesitan. En lugar de ello solo viene descrito como: "rehabilitación". Existen muchas técnicas para rehabilitar un pavimento.
- Muchos conceptos están mezclados como en la figura 31

	Obra	Material	Fecha	Espesor (mm)	Monto
2013	Rehabilitación En Un Ancho De 23 M. De La Pista 18D-36l (Secundaria Paralela) Para Utilizarse Como Rodaje, Del Tramo Comprendido De Cab. 18D Hasta El Cruce Con Rodaje Coca (950 M.)	Asfalto	1-Aug-13	50	\$10,090,920.00
	Rehabilitación De Plataforma Con Carpeta Asfáltica	Asfalto	1-Aug-13	2	\$1,615,960.00
	Rehabilitación de la pista secundaria 18R-36L hasta su cruce con el rodaje coca y rehabilitación de la plataforma de aviación comercial y rodaje en plataforma	Asfalto	16-Oct-13	5	\$11,244,900.00
	Suministro Y Colocación De Mortero En Pista 04-22 (Auxiliar)	Asfalto	1-Oct-13	5	\$3,424,690.00
	Suministro Y Colocación De Mortero En Pista 18L-36D	Asfalto	1-Oct-13	5	\$12,142,070.00
	Suministro Y Colocación De Mortero En Plataforma Comercial	Asfalto	1-Oct-13	5	\$1,992,750.00
	Suministro Y Colocación De Mortero A Rodaje Alfa En Dos Tramos; De Plataforma Comercial A Plataforma De Carga (320 M. Aprox.) Y De Plataforma De Av. General Al Entronque Con Pista 04-22 (240 M. Aprox.)	Asfalto	1-Oct-13	5	\$1,336,670.00
	Aplicación de mortero asfáltico tipo slurry de 6.0 mm de espesor, emulsion catiónica procedente de cemento asfáltico modificado con polímero en pista auxiliar 04-22 pista 18L-36D plataforma comercial y rodaje alfa en dos tramos	Asfalto	19-Nov-13	6	\$12,771,660.00
	Supervisión y control total de la obra relativa a: Ampliación de mortero asfáltico tipo slurry seal en la pista auxiliar 04-22 pista 18L-36D, plataforma comercial y rodaje en dos tramos	N/A	4-Dec-13	N/A	\$1,163,360.00

Figura 31 Mezcla de conceptos

En el último renglón de la figura 31 se indica que se invirtieron \$1,163,360 por concepto de supervisión y control de la obra relativa a la aplicación de mortero asfáltico en diferentes ramas del aeropuerto que son pista auxiliar, pista principal, plataforma de aviación comercial y una calle de rodaje. Este es un ejemplo de varios casos en los que

se tuvo que dividir la inversión en las diferentes ramas para determinar cuánto le corresponde a cada una. Lo cual no significa dividir simplemente el monto total entre el número de áreas y listo. Fue necesario realizar otra tabla donde se propuso determinar un factor de área y en base a este asignarle el monto correspondiente (tabla 21).

Zonas	Area	factor area	monto					
Pista Auxiliar 04 22	30720	0.155924649	\$3,424,690.00				\$1,163,360.00	\$181,396.50
Pista Principal	117450	0.596137698	\$12,142,070.00				\$1,163,360.00	\$693,522.75
Rodaje Alfa	26504.58	0.134528559	\$1,336,670.00	\$12,771,660.00	0.542590276	\$6,929,778.52	\$1,163,360.00	\$156,505.14
Plataforma Comercial	22343.66	0.113409093	\$1,992,750.00	\$12,771,660.00	0.457409724	\$5,841,881.48	\$1,163,360.00	\$131,935.60
TOTAL	197018.24	1			1	\$12,771,660.00		\$1,163,360.00
Zonas	Area	Monto	Tratamiento					
Pista Auxiliar 04-22	30720	\$3,606,086.50	Slurry					
Pista Principal	117450	\$12,835,592.75	Slurry					
Rodaje Alfa	26504.58	\$8,422,953.66	Slurry					
Plataforma Comercial	22343.66	\$7,966,567.08	Slurry					
Total		\$32,831,200.00						
		CORRECTO						

Tabla 20 Asignación de montos correspondientes

En la parte superior de la tabla 21 se suma el área total de las secciones que componen las diferentes ramas, por lo que se obtuvieron los siguientes datos:

Zonas	Área m ²
Pista Auxiliar 04 22	30720
Pista Principal	117450
Rodaje Alfa	26504.58
Plataforma Comercial	22343.66

Una vez obtenidas las áreas, se sumaron y se obtuvo un total de 197018.24 m². Al dividir cada rama entre el total se obtuvo un factor de área para cada rama como está indicado en la franja intermedia de la tabla 21. Además se le sumaron los montos que en la tabla 21 muestra para cada rama en específica. El resultado final es un monto correspondiente para cada rama considerando los insumos y el monto correspondiente por concepto de supervisión y control de obra.

Otro ejemplo de lo anteriormente descrito se presenta a continuación en la tabla 22. En el aeropuerto de San Luis Potosí nuevamente aparecen mezcladas diferentes ramas en un mismo concepto de obra. Las diferentes ramas son pista secundaria, plataforma comercial (5 posiciones) y 6 vialidades internas. Recurriendo al método

descrito en el ejemplo anterior de asignarle a cada sección un factor de área se obtuvo el monto correspondiente basado únicamente en la cantidad de área rehabilitada.

Pavimento	Área	Factor Área	Monto correspondiente	Monto Total \$10,849,053.60
P.S. 04-22-A1	4350	0.08	\$877,983.76	
P.S. 04-22-A2	4350	0.08	\$877,983.76	
P.S. 04-22-B1	9975	0.19	\$2,013,307.59	
P.S. 04-22-B2	9975	0.19	\$2,013,307.59	\$5,782,582.71
Comercial 1	3150	0.06	\$635,781.34	
Comercial 2	3600	0.07	\$726,607.25	
Comercial 3	3600	0.07	\$726,607.25	
Comercial 4	3600	0.07	\$726,607.25	
Comercial 5	3951	0.07	\$797,451.46	\$3,613,054.56
Vial A	1980	0.04	\$399,633.99	
Vial B	1162	0.02	\$234,532.67	
Vial C	1162	0.02	\$234,532.67	
Vial D	949	0.02	\$191,541.74	
Vial E	949	0.02	\$191,541.74	
Vial F	999	0.02	\$201,633.51	\$1,453,416.34
Total	53752	1	\$10,849,053.60	

Tabla 21 División de monto en 3 ramas del aeropuerto SLP

El resultado de todos los ajustes realizados está expuesto en las siguientes tablas donde está indicado cada trabajo que se ha realizado en cada parte de los tres aeropuertos, comenzando con el Aeropuerto de Chihuahua.

Aeropuerto de Chihuahua

Zonas	Monto	Área m ²	Factor Área	Tratamiento	Monto Total
A1	\$952,671.26	13500	0.11	Mortero	\$8,288,240.00
A2	\$952,671.26	13500	0.11	Mortero	31-Jul-02
A3	\$952,671.26	13500	0.11	Mortero	mar-15
B1	\$846,818.90	12000	0.10	-	168.81%
B2	\$846,818.90	12000	0.10	-	\$13,991,377.94
B3	\$846,818.90	12000	0.10	-	Espesor (mm)
C1	\$963,256.50	13650	0.12	-	5
C2	\$963,256.50	13650	0.12	-	Factor \$/A
C3	\$963,256.50	13650	0.12	-	\$119.13
Total	\$8,288,240.00	117450	1		
Pista 18L- 36D					

Tabla 22 Obras en pista principal

La información está ordenada de la siguiente manera: en la parte izquierda están los datos de la sección (monto correspondiente, área, factor área, y el tratamiento). En la parte derecha está la fecha en que se realizó la obra, el monto total de la obra de mantenimiento o rehabilitación. Inferior a esto se encuentra la fecha de ajuste por inflación, el aumento expresado en porcentaje de la inflación y el monto de la obra correspondiente a marzo, 2015. El factor de área no siempre viene especificado ya que en algunos casos si se especifica el tipo de obra que se realizó y no es necesario indicar el factor de área para determinar cuál tratamiento fue aplicado. El color rojo indica que no se registró en MicroPAVER por diferentes razones que quedarán especificadas en cada ejemplo si es que es el caso.

Las líneas resaltadas a propósito en color rojo indican secciones a las que se les realizó una obra de rehabilitación mayor en un año posterior a 2002. El programa MicroPAVER considera que cuando se realiza una rehabilitación mayor se debe borrar la sección del programa y volver a introducirse como nueva construcción. En este caso, estos tramos de la pista no están registrados en el programa porque fueron omitidos a propósito. Sin embargo, se consideró que se invirtió su respectivo monto pues no considerarlo en el ajuste con las áreas significaría que en el año 2002 únicamente se aplicó el tratamiento a las zonas en naranja.

Zonas	Monto	Área m ²	Factor Área	Tratamiento	Monto Total
Pista 18D-36L-A1	\$534,259.45	10230	0.27	-	\$2,000,000.00
Pista 18D-36L-A2	\$540,526.43	10350	0.27	Mortero	31-Oct-03
Pista 18D-36L-B1	\$344,996.87	6606	0.17	-	mar-15
Pista 18D-36L-B2	\$370,064.76	7086	0.19	-	160.09%
Pista 18D-36L-C1	\$105,076.25	2012	0.05	Mortero	\$3,201,800.00
Pista 18D-36L-C1	\$105,076.25	2012	0.05	Mortero	Espesor (mm)
Total	\$2,000,000.00	38296	1		5
Pista 18D-36L					Factor \$/A
					-

Tabla 23 Obras en pista principal

Lo mismo ocurre en este ejemplo (tabla 24) que en el caso anterior, existen tramos que fueron reconstruidos en fecha posterior al 31 de octubre de 2003 cuando se aplicó un mortero.

Zonas	Monto	Área m ²	Factor Área	Tratamiento	Monto Total
Pista Aux 04-22 A1	\$941,852.17	7125	0.23	Microcarpeta	\$4,060,870.00
Pista Aux 04-22 A2	\$941,852.17	7125	0.23	Microcarpeta	4-Sep-04
Pista Aux 04-22 B1	\$941,852.17	7125	0.23	Microcarpeta	mar-15
Pista Aux 04-22 B2	\$941,852.17	7125	0.23	Microcarpeta	152.94%
Pista Aux 04-22 C	\$293,461.31	2220	0.07	Microcarpeta	\$6,210,694.58
Total	\$4,060,870.00	30720	1		Espesor (mm)
Pista Aux 04-22					15
Tratamiento superficial - Microcarpeta			\$181.85	m ²	Factor \$/A
					\$202.17

Tabla 24 Asignación de tratamiento

En este caso, (tabla 25), como en la mayoría, no se especificó el tratamiento que se le dio al pavimento. Sin embargo es fácil conocer su área (30720 m²) y el monto que se invirtió (\$4060870.00 pesos) en septiembre del 2004. Estos datos no permiten conocer la relación que hay entre el monto y el área que ya se mencionó anteriormente. Pero existe un problema: no se puede simplemente ver la tabla de costos (tabla 26) para determinar cuál tratamiento corresponde al monto debido a que ha habido una inflación de 42.4% desde septiembre, 2004 a julio, 2013 por ser ésta la fecha en la que el Dr. Mauricio Centeno introdujo los montos por concepto de obra en 2011 y en 2013.

Proponer este método de rehabilitación sería un error porque el monto que más se le acerca en precio (la relación monto/área para este caso es \$132.19) es un Cape Seal.

$$\frac{4,060,870.0 \text{ pesos}}{30720 \text{ m}^2} = 132.19 \text{ pesos/m}^2$$

Preventivo Local			
Nombre	Precio	Unidad	Año
Descauche	\$4.00	m ²	2013
Desconchamiento	\$600.00	m	2013
Overlay - AC Thin (Global)	\$590.00	m ²	2013
Riego de Avidez	\$18.00	m ²	2013
Surface Seal - Coal Tar	\$270.00	m ²	2013
Surface Seal - Fog Seal	\$5.00	m ²	2013
Surface Seal - Rejuvenating	\$35.00	m ²	2013
Surface Treatment - Cape Seal	\$130.00	m ²	2013
Surface Treatment - Micro Surface	\$170.00	m ²	2013
Surface Treatment - Sand Tar	\$33.00	m ²	2013
Surface Treatment - Single Bitum.	\$90.00	m ²	2013
Surface Treatment - Slurry Seal	\$92.00	m ²	2013

Tabla 25 Costos de tratamientos preventivo local en 2013, aeropuerto de Chihuahua

En vez de eso, en el lado derecho de la tabla 25 aparece un aumento en el monto por inflación de 52.94%. El nuevo monto es lo que costaría realizar el mismo trabajo en marzo del 2015. Ahora sí se puede recurrir a la tabla de costos actualizada (tabla 27) y observar cuál es el método de rehabilitación que se parece más al precio de \$202.17 que para este caso resulta ser una microcarpeta. Este ajuste de precios lo que hace posible es hablar de los precios de obra en el correspondiente tiempo, es decir, comparar precios que son equivalentes y no precios con otros precios a años de distancia que no son equivalentes debido a la inflación. Es importante mencionar que el monto asignado por factor de área se deja sin actualizar para ingresarlo al sistema de manera que el programa MicroPAVER lo registre como el monto considerado en el año en que se efectuó la obra.

Preventivo Local			
Nombre	Precio	Unidad	Año
Descauche	\$4.28	m ²	2015
Desconchamiento	\$641.82	m	2015
Overlay - AC Thin (Global)	\$631.12	m ²	2015
Riego de Avidez	\$19.25	m ²	2015
Surface Seal - Coal Tar	\$288.82	m ²	2015
Surface Seal - Fog Seal	\$5.35	m ²	2015
Surface Seal - Rejuvenating	\$37.44	m ²	2015
Surface Treatment - Cape Seal	\$139.06	m ²	2015
Surface Treatment - Micro Surface	\$181.85	m ²	2015
Surface Treatment - Sand Tar	\$35.30	m ²	2015
Surface Treatment - Single Bitum.	\$96.27	m ²	2015
Surface Treatment - Slurry Seal	\$98.41	m ²	2015

Tabla 26 de costos actualizada (marzo, 2015)

La última línea de la tabla 25 indica el tratamiento que se cree (tras el análisis anterior) que fue realizado. Esta información no vendrá dada en las tablas que correspondan a los conceptos donde ya se haya especificado cuál es el tratamiento. Como en el ejemplo que se presenta a continuación (tabla 28).

Zonas	Monto	Área m ²	Factor Área	Tratamiento	Monto Total
Pista principal A1	\$96,775.86	13500	0.11	Riego de niebla	\$841,950.00
Pista principal A2	\$96,775.86	13500	0.11	Riego de niebla	4-Sep-04
Pista principal A3	\$96,775.86	13500	0.11	Riego de niebla	mar-15
Pista principal B1	\$86,022.99	12000	0.10	-	152.94%
Pista principal B2	\$86,022.99	12000	0.10	-	\$1,287,678.33
Pista principal B3	\$86,022.99	12000	0.10	-	Espesor (mm)
Pista principal C1	\$97,851.15	13650	0.12	-	1
Pista principal C2	\$97,851.15	13650	0.12	-	Factor \$/Area
Pista principal C3	\$97,851.15	13650	0.12	-	-
Total	\$841,950.00	117450	1		
Pista principal 18L-36R					

Tabla 27 Tratamiento en pista principal

En este ejemplo, el grupo aeroportuario OMA mandó la información de la siguiente manera: "Calafateo y riego de taponamiento en pista 18L-36D" por lo que se asume que fue un riego de sello o riego de niebla. Nuevamente, dos terceras partes de la pista fueron rehabilitadas y en el sistema se registró como nueva construcción,

quedando especificado en color rojo. El factor monto – área no queda especificado debido a que no fue necesario decidir cuál fue el tratamiento realizado.

Existen otros casos en los que todas las secciones de una rama completa fueron reconstruidas y no se considera provechoso mencionarlos todos, aunque se expone un caso únicamente a manera de ejemplo (tabla 29).

Zonas	Monto	Área m ²	Factor Área	Tratamiento	Monto Total
Alfa A1	\$8,750.82	5750	0.22	-	\$40,334.43
Alfa A2	\$8,750.82	5750	0.22	-	4-Sep-04
Alfa B1	\$3,622.08	2380	0.09	-	-
Alfa B2	\$3,622.08	2380	0.09	-	-
Alfa C1	\$7,859.00	5164	0.19	-	-
Alfa C2	\$7,729.64	5079	0.19	-	Espesor (mm)
Total	\$40,334.43	26503	1		-
Rodaje Alfa					Factor \$/Area
					-

Tabla 28 Riego de taponamiento en calles de rodaje

El archivo del aeropuerto de Chihuahua en MicroPAVER lo tiene registrado como una rehabilitación mayor o reconstrucción en noviembre del 2007. Dado que el tratamiento que se le aplicó a toda la calle de rodaje Alfa fue en 2004, ya no es útil registrarlo. Este es el único caso que se pone a manera de ejemplo, los demás no se mencionarán.

Zonas	Monto	Área	Factor Área	Tratamiento	Monto Total
Pista 18D-36L-A1	\$15,568.85	10230	0.27	-	\$58,281.99
Pista 18D-36L-A2	\$15,751.48	10350	0.27	Riego de Niebla	4-Sep-04
Pista 18D-36L-B1	\$10,053.55	6606	0.17	-	-
Pista 18D-36L-B2	\$10,784.05	7086	0.19	-	-
Pista 18D-36L-C1	\$3,062.03	2012	0.05	Riego de Niebla	-
Pista 18D-36L-C1	\$3,062.03	2012	0.05	Riego de Niebla	Espesor (mm)
Total	\$58,281.99	38296	1		1
Pista 18D-36L					Factor \$/A
					-

Tabla 29 Riego de niebla en pista 18D - 36L

La tabla 30 muestra el tratamiento que se le aplicó a la pista aunque la mitad fue reconstruida por lo que solo la otra mitad se registró en MicroPAVER. OMA especificó que el tratamiento fue riego de taponamiento que se identificó como riego de niebla.

Zonas	Monto	Área m ²	Factor Área	Tratamiento	Monto Total
Pista principal A1	\$5,429,246.90	13500	0.11	Carpeta delgada	\$47,234,447.99
Pista principal A2	\$5,429,246.90	13500	0.11	Carpeta delgada	31-Aug-06
Pista principal A3	\$5,429,246.90	13500	0.11	Carpeta delgada	mar-15
Pista principal B1	\$4,825,997.24	12000	0.10	Carpeta delgada	143.38%
Pista principal B2	\$4,825,997.24	12000	0.10	Carpeta delgada	\$67,724,751.53
Pista principal B3	\$4,825,997.24	12000	0.10	Carpeta delgada	Espesor (mm)
Pista principal C1	\$5,489,571.86	13650	0.12	Carpeta delgada	30
Pista principal C2	\$5,489,571.86	13650	0.12	Carpeta delgada	Factor \$/A
Pista principal C3	\$5,489,571.86	13650	0.12	Carpeta delgada	\$576.63
Total	\$47,234,447.99	117450	1		
Pista principal 18L-36R					
Carpeta delgada			\$589.41	m ²	

Tabla 30 Colocación de carpeta en pista principal

La tabla 31 muestra el ajuste que se realizó por la colocación de carpeta asfáltica en la pista principal. Se realizó el ajuste por inflación que queda especificado en la parte derecha de la tabla. Los datos en rojo corresponden al tramo de la pista que tuvo una rehabilitación mayor en algún año posterior a esta obra. Además, en la parte inferior, se indica el tipo de obra que se especula fue realizado. La semejanza entre el factor monto – área y el costo de una carpeta asfáltica de 30 cm es muy parecido por lo que se especula que así fue.

Zonas	Monto	Longitud (m)	Factor Longitud	Tratamiento	Monto Total
Pista principal A1	\$286,689.66	915	0.17	Niv. hombros	\$1,663,740.00
Pista principal A2	\$4,699.83	15	0.00	Niv. hombros	31-Aug-06
Pista principal A3	\$286,689.66	915	0.17	Niv. hombros	-
Pista principal B1	\$250,657.63	800	0.15	Niv. hombros	-
Pista principal B2	\$0.00	0	0.00	Niv. hombros	-
Pista principal B3	\$250,657.63	800	0.15	Niv. hombros	Espesor (mm)
Pista principal C1	\$289,822.88	925	0.17	Niv. hombros	N/A
Pista principal C2	\$4,699.83	15	0.00	Niv. hombros	Factor \$/metro
Pista principal C3	\$289,822.88	925	0.17	Niv. hombros	\$313.32
Total	\$1,663,740.00	5310	1		
Pista principal 18L-36R					

Tabla 31 Rehabilitación de márgenes en la pista

En este caso (tabla 32), la sección Pista principal B2 no tiene hombro ya que es la parte central de la pista, es esta la razón de por qué no se le considera longitud. Análogamente, las secciones de las esquinas son las que tienen más hombro. Las tablas que siguen a continuación siguen el mismo procedimiento, por lo que no se explicaran tanto como las anteriores. Solo se explicará alguna que sea un caso diferente.

Zonas	Monto	Área m ²	Factor Área	Tratamiento	Monto Total
Comercial 1	\$1,060,657.87	3496.61	0.16	Reciclado en frío	\$6,777,701.51
Comercial 2	\$1,451,021.68	4783.5	0.21	Reciclado en frío	31-Aug-06
Comercial 3	\$1,427,767.72	4706.84	0.21	Reciclado en frío	mar-15
Comercial 4	\$1,092,387.12	3601.21	0.16	Reciclado en frío	143.38%
Comercial 5	\$1,002,535.10	3305	0.15	Reciclado en frío	\$9,717,868.43
Comercial 6	\$743,332.00	2450.5	0.11	Reciclado en frío	Espesor (mm)
Total	\$6,777,701.51	22343.66	1		50
Plataforma Comercial					Factor \$/metro
Reciclado en frío			\$404.50	m ²	\$434.93

Tabla 32 Suministro de riego de taponamiento en plataforma comercial

Zonas	Monto	Área m ²	Factor Área	Tratamiento	Monto Total
AGN	\$770,559.91	4,203	4,203	Mortero	\$770,559.91
Plataforma Aviación General Norte					17-Dec-07
Tratamiento superficial - Coal Tar			\$288.82	m ²	mar-15
					134.71%
					\$1,038,021.26
					Espesor (mm)
					5
					Factor \$/A
					\$246.97

Tabla 33 Rehabilitación de plataforma de aviación comercial norte

Zonas	Monto	Área m ²	Factor Área	Tratamiento	Monto Total
AGS	\$2,262,729.11	12,342	12,342	Mortero	\$2,262,729.11
Plataforma Aviación General Sur					17-Dec-07
Tratamiento superficial - Coal Tar			\$288.82	m ²	mar-15
					134.71%
					\$3,048,122.38
					Espesor (mm)
					5
					Factor \$/A
					\$246.97

Tabla 34 Rehabilitación de plataforma de aviación comercial sur

De acuerdo al factor monto – área en las tablas 34 y 35, el tratamiento que más se acerca al precio es Coal Tar. Un Coal Tar es similar en apariencia al asfalto pero es producido como un subproducto del carbón bituminoso durante la producción de coque metalúrgico. Coal Tar puede resultar una emulsión comparable a la emulsión asfáltica y aplicada a las superficies de pavimento asfálticas. Un Coal Tar es usado en caminos, estacionamientos, aeropuertos y más. Tiene una ventaja importantísima: a diferencia del cemento asfáltico, éste es resistente al daño por gasolina, diésel, aceite, sales y otros químicos. Su desventaja principal es que es más caro que el cemento asfáltico. (Yamada, 1999)

Recordando que el programa MicroPAVER fue desarrollado en E.E.U.U. y que sus técnicas de mantenimiento son diferentes a las aplicadas en México y debido a la muy baja probabilidad de que haya sido aplicado este tratamiento, se considera que el

tratamiento mejor considerado es el mortero asfáltico. Las últimas líneas están resaltadas en color rojo, indicando que aunque es el tratamiento que más se acerca en precio, no se consideró tal tratamiento.

Zonas	Monto	Área m ²	Factor Área	Tratamiento	Monto Total
Charly A1	\$691,253.93	6251	0.43	Mortero	\$1,597,370.49
Charly A2	\$473,847.88	4285	0.30	Mortero	31-Jul-08
Charly B1	\$191,308.48	1730	0.12	Mortero	-
Charly B2	\$240,960.22	2179	0.15	Mortero	-
Total	\$1,597,370.49	14445	1		-
Rodaje Charly					Espesor (mm)
					5
					Factor \$/A
					-

Tabla 35 Suministro y aplicación de mortero a rodaje Charly

Zonas	Monto	Área m ²	Factor Área	Tratamiento	Monto Total
Delta A1	\$219,838.87	1988	0.15	Mortero	\$1,500,831.59
Delta A2	\$415,017.75	3753	0.28	Mortero	31-Jul-08
Delta B1	\$241,402.55	2183	0.16	Mortero	-
Delta B2	\$237,863.89	2151	0.16	Mortero	-
Delta C1	\$193,409.55	1749	0.13	Mortero	-
Delta C2	\$193,298.97	1748	0.13	Mortero	Espesor (mm)
Total	\$1,500,831.59	13572	1		5
Rodaje Delta					Factor \$/A
					-

Tabla 36 Suministro y aplicación de mortero a rodaje Delta

Zonas	Monto	Área m ²	Factor Área	Tratamiento	Monto Total
Alfa A1	\$428,929.50	5750	0.22	Mortero	\$1,977,029.29
Alfa A2	\$428,929.50	5750	0.22	Mortero	31-Jul-08
Alfa B1	\$177,539.51	2380	0.09	Mortero	-
Alfa B2	\$177,539.51	2380	0.09	Mortero	-
Alfa C1	\$385,215.99	5164	0.19	Mortero	-
Alfa C2	\$378,875.29	5079	0.19	-	Espesor (mm)
Total	\$1,977,029.29	26503	1		5
Rodaje Alfa					Factor \$/A
					-

Tabla 37 Suministro y aplicación de mortero a rodaje Alfa

Zonas	Monto	Área m ²	Factor Área	Tratamiento	Monto Total
Pista 18D-36L-A1	\$5,016,040.41	10230	0.50	Reciclado en frío	\$10,090,920.00
Pista 18D-36L-A2	\$5,074,879.59	10350	0.50	Reciclado en frío	1-Aug-13
Total	\$10,090,920.00	20580	1		mar-15
Pista 18D-36L					107.10%
Reciclado en frío			\$404.50	m ²	\$10,807,375.32
					Espesor (mm)
					50
					Factor \$/A
					\$525.14

Tabla 38 Rehabilitación de pista secundaria paralela

Zonas	Monto	Área m ²	Factor Área	Tratamiento	Monto Total
04-22-A1	\$836,372.60	7125	0.23	Mortero	\$3,606,086.50
04-22-A2	\$836,372.60	7125	0.23	Mortero	1-Oct-13
04-22-B1	\$836,372.60	7125	0.23	Mortero	Espesor (mm)
04-22-B2	\$836,372.60	7125	0.23	Mortero	5
04-22-C	\$260,596.09	2220	0.07	Mortero	Factor \$/A
Total	\$3,606,086.50	30,720.00	1		-
Pista Auxiliar 04-22					

Tabla 39 Suministro y colocación de mortero a pista auxiliar

Zonas	Monto	Área m ²	Factor Área	Tratamiento	Monto Total
Alfa A1	\$1,827,415.14	5750	0.22	Mortero	\$8,422,953.66
Alfa A2	\$1,827,415.14	5750	0.22	Mortero	1-Oct-13
Alfa B1	\$756,390.96	2380	0.09	Mortero	Espesor (mm)
Alfa B2	\$756,390.96	2380	0.09	Mortero	5
Alfa C1	\$1,641,177.71	5164	0.19	Mortero	Factor \$/A
Alfa C2	\$1,614,163.74	5079	0.19	Mortero	-
Total	\$8,422,953.66	26503	1		
Rodaje Alfa					

Tabla 40 Suministro y aplicación de mortero a rodaje Alfa

Zonas	Monto	Área m ²	Factor Área	Tratamiento	Monto Total
Pista principal A1	\$1,475,355.49	13500	0.11	Mortero	\$12,835,592.75
Pista principal A2	\$1,475,355.49	13500	0.11	Mortero	1-Oct-13
Pista principal A3	\$1,475,355.49	13500	0.11	Mortero	Espesor (mm)
Pista principal B1	\$1,311,427.10	12000	0.10	Mortero	5
Pista principal B2	\$1,311,427.10	12000	0.10	Mortero	Factor \$/A
Pista principal B3	\$1,311,427.10	12000	0.10	Mortero	-
Pista principal C1	\$1,491,748.33	13650	0.12	Mortero	
Pista principal C2	\$1,491,748.33	13650	0.12	Mortero	
Pista principal C3	\$1,491,748.33	13650	0.12	Mortero	
Total	\$12,835,592.75	117450	1		
Pista principal 18L-36R					

Tabla 41 Suministro y aplicación de mortero a pista principal 18L - 36R

Zonas	Monto	Área m ²	Factor Área	Tratamiento	Monto Total
Comercial 1	\$1,246,706.14	3496.61	0.16	Mortero	\$7,966,567.08
Comercial 2	\$1,705,543.03	4783.5	0.21	Mortero	1-Oct-13
Comercial 3	\$1,678,210.13	4706.84	0.21	Mortero	Espesor (mm)
Comercial 4	\$1,284,000.97	3601.21	0.16	Mortero	5
Comercial 5	\$1,178,388.15	3305	0.15	Mortero	Factor \$/A
Comercial 6	\$873,718.66	2450.5	0.11	Mortero	-
Total	\$7,966,567.08	22343.66	1		
Plataforma Comercial					

Tabla 42 Suministro y aplicación de mortero a plataforma comercial

Zonas	Monto	Área m ²	Factor Área	Tratamiento	Monto Total
A1	\$2,370,334.76	10230	0.50	Mortero	\$4,768,474.04
A2	\$2,398,139.28	10350	0.50	Mortero	16-Oct-13
Total	\$4,768,474.04	20580	1		mar-15
Pista Auxiliar 18D - 36L					106.19%
Tratamiento Superficial - Coal Tar			\$288.82	m ²	\$5,063,642.58
					Espesor (mm)
					5
					Factor \$/A
					\$246.05

Tabla 43 Rehabilitación de la pista secundaria 18D - 36L

La tabla 44 muestra los datos de la rehabilitación de la pista auxiliar 18D – 36L hasta su cruce con el rodaje Charly. El problema surge cuando se quiere decidir cuál tramo, pues se desconoce si este tramo rehabilitado corresponde al tramo que va de rodaje Charly a la cabecera 18D o a la cabecera 36L. Pareciera lógico pensar que es el tramo del lado izquierdo por la cercanía a la calle de rodaje Charly (figura 32). Si se analiza la condición del pavimento haciendo uso de la herramienta de MicroPAVER “reportes” como se muestra en la figura 33, se comprueba que el tramo de la pista que fue rehabilitado es de hecho el tramo de la izquierda por ser el que se encuentra en mejores condiciones.

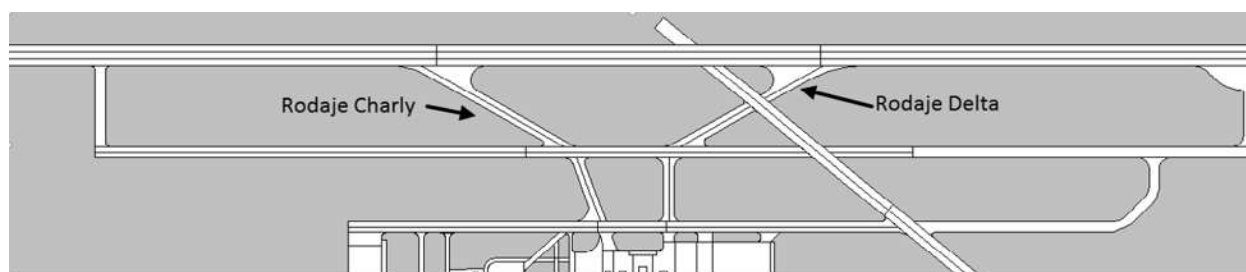


Figura 32 Rodajes en CUU

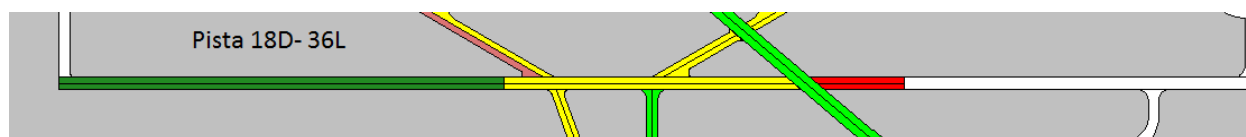


Figura 33 Reporte de condiciones en CUU

Zonas	Monto	Área m ²	Factor Área	Tratamiento	Monto Total
Comercial 1	\$938,023.89	3496.61	0.16	Mortero	\$5,994,059.06
Comercial 2	\$1,283,253.57	4783.5	0.21	Mortero	16-Oct-13
Comercial 3	\$1,262,688.25	4706.84	0.21	Mortero	mar-15
Comercial 4	\$966,084.58	3601.21	0.16	Mortero	106.19%
Comercial 5	\$886,621.31	3305	0.15	Mortero	\$6,365,091.32
Comercial 6	\$657,387.45	2450.5	0.11	Mortero	Espesor (mm)
Total	\$5,994,059.06	22343.66	1		5
Plataforma Comercial					Factor \$/A
Tratamiento Superficial - Coal Tar			\$288.82	m ²	\$284.87

Tabla 44 Rehabilitación de plataforma comercial

El aeropuerto de Chihuahua tiene en total 9 calles de rodaje. Como ya se mencionó al inicio, hay dos tipos de calles de rodaje: calle de rodaje a plataforma y calle de rodaje en plataforma. En la información proporcionada por OMA, está registrado un tratamiento de rehabilitación en rodajes en plataforma, por lo que se consideran todos los rodajes excepto Alfa, Charly y Delta. Restando así únicamente 6 calles de rodaje (tabla 46).

Zonas	Monto	Área m ²	Factor Área	Tratamiento	Monto Total
ROD AVG	\$278,746.21	1203	0.21	Mortero	\$1,299,193.66
ROD AGS	\$121,879.06	526	0.09	Mortero	16-Oct-13
ROD CARGA	\$436,076.77	1882	0.34	Mortero	mar-15
ROD COM 1	\$117,013.16	505	0.09	Mortero	106.19%
ROD COM 3	\$112,610.69	486	0.09	Mortero	\$1,379,613.75
ROD COM 6	\$232,867.78	1005	0.18	Mortero	Espesor (mm)
Total	\$1,299,193.66	5607	1		5
Rodajes					Factor \$/A
Tratamiento Superficial - Coal Tar			\$288.82	m ²	\$246.05

Tabla 45 Rehabilitación en rodajes en plataforma

Hasta aquí concluyen los trabajos realizados en el aeropuerto de Chihuahua. Estos trabajos de rehabilitación están ahora registrados en el programa MicroPAVER,

completando así esta parte para este aeropuerto. A continuación se enlistan las obras en los dos aeropuertos restantes, sin muchas descripciones más que las necesarias.

Aeropuerto de San Luis Potosí

Zona	Monto	Área (m ²)	Factor Área	Tratamiento	Monto Total
Est 1	\$195,119.85	8945	0.51	Mortero	\$384,830.00
Vialidad 1	\$155,965.00	7150	0.41	Mortero	23-Dec-02
Vialidad 2	\$33,745.15	1547	0.09	Mortero	Espesor (mm)
Total	\$384,830.00	17642	1		5
Estacionamiento y vialidades					Factor \$/A
					-

Tabla 46 Rehabilitación de vialidades exteriores y estacionamiento público

Zonas	Monto	Área (m ²)	Factor Área	Tratamiento	Monto Total
Alfa	\$11,476,495.18	10281	0.41	-	\$28,308,911.38
Alfa 1	\$5,458,618.95	4890	0.19	Reconstrucción	31-Jul-06
Bravo	\$11,373,797.24	10189	0.40	-	mar-15
Total	\$28,308,911.38	25360	1		144.11%
Rodajes					\$40,795,972.19
Reconstrucción de carpeta asfáltica			\$1,925.46	m ²	Espesor (mm)
					100
					Factor \$/A
					\$1,608.67

Tabla 47 Reconstrucción de calle de rodaje

Zonas	Monto	Perímetro	Factor Perímetro	Tratamiento	Monto Total
Alfa	\$1,384,797.50	783	0.39	Nivelación de hombros	\$3,574,298.53
Alfa 1	\$742,803.26	420	0.21	Nivelación de hombros	11-Apr-07
Bravo	\$1,446,697.77	818	0.40	Nivelación de hombros	Espesor (mm)
Total	\$3,574,298.53	2021	1		N/A
Rodajes					Factor \$/L
					-

Tabla 48 Nivelación de hombros

Zonas	Monto	Área (m ²)	Factor Área	Tratamiento	Monto Total
P.S. 04-22-A1	\$1,738,873.81	4350	0.15	Sobrecarpeta	\$11,452,582.71
P.S. 04-22-A2	\$1,738,873.81	4350	0.15	Sobrecarpeta	30-Nov-08
P.S. 04-22-B1	\$3,987,417.54	9975	0.35	Sobrecarpeta	mar-15
P.S. 04-22-B2	\$3,987,417.54	9975	0.35	Sobrecarpeta	127.34%
Total	\$11,452,582.71	28650	1		\$14,583,718.82
Pista Secundaria 04-22					Espesor (mm)
Sobrecarpeta de 6 pulgadas			\$236.24	m ²	150
					Factor \$/A
					\$509.03

Tabla 49 Sobrecarpeta en pista secundaria

Zonas	Monto	Área (m ²)	Factor Área	Tratamiento	Monto Total
Vial A	\$1,057,892.56	1980	0.274961811	Sobrecarpeta	\$3,847,416.34
Vial B	\$620,844.02	1162	0.161366477	Sobrecarpeta	30-Nov-08
Vial C	\$620,844.02	1162	0.161366477	Sobrecarpeta	mar-15
Vial D	\$507,040.43	949	0.131787252	Sobrecarpeta	127.34%
Vial E	\$507,040.43	949	0.131787252	Sobrecarpeta	\$4,899,299.96
Vial F	\$533,754.88	999	0.138730732	Sobrecarpeta	Espesor (mm)
Total	\$3,847,416.34	7201	1		150
Calles de Acceso Hangares					Factor \$/A
Sobrecarpeta de 6 pulgadas			\$236.24	m ²	\$680.36

Tabla 50 Sobrecarpeta en vialidades

Zonas	Monto	Área (m ²)	Factor Área	Tratamiento	Monto Total
P.S. 04-22-A1	\$94,541.52	4350	0.15	Mortero	\$622,670.00
P.S. 04-22-A2	\$94,541.52	4350	0.15	Mortero	30-Nov-13
P.S. 04-22-B1	\$216,793.48	9975	0.35	Mortero	Espesor (mm)
P.S. 04-22-B2	\$216,793.48	9975	0.35	Mortero	5
Total	\$622,670.00	28650	1		-
Pista Secundaria 04-22					-

Tabla 51 Mortero en pista secundaria

Zonas	Monto	Área (m ²)	Factor Área	Tratamiento	Monto Total
Alfa	\$2,112,984.69	10281	0.41	Mortero	\$5,212,070.00
Alfa 1	\$1,005,008.77	4890	0.19	Mortero	31-Mar-13
Bravo	\$2,094,076.55	10189	0.40	Mortero	Espesor (mm)
Total	\$5,212,070.00	25360	1		6
Rodajes					-
					-

Tabla 52 Mortero en calles de rodaje

Aeropuerto de Zihuatanejo

OMA cuenta con el historial de obras del aeropuerto de Zihuatanejo desde el año 2002. Sin embargo, en el aeropuerto se realizaron muchas obras de rehabilitación y reconstrucción en el año 2004 como se muestra en las tablas de la figura 34. Por lo que las obras de rehabilitación que quedaron registradas en MicroPAVER son a partir del año 2006.

2004	Obra									
	Rehabilitación de la pista 08-26 y rodaje bravo									
	Rehabilitación de losas en plataforma de Aviación Comercial y O.C.									
	Sup. Rehabilitación pista 08-26 y rodaje bravo									
2002	Obra									
	Ampliación de plataforma de aviación comercial una posición									
	Construcción de la Ampliación de la plataforma de av.comercial y obras complementarias									
	Diseño estructural de Pavimento, Proyecto ejecutivo y Elaboración de Especificaciones, Supervisión y control Total de la Obra Relativa a									
	Reencarpetado de vialidades, interiores y exteriores en edificio terminal; bacheo en aviación general									
	Rehabilitación de la Vialidad Interior y Exterior ,Bacheo en Plataforma de Av.General y Obras Complementarias.									
2003	Obra									
	Ampliación de la plataforma de aviación comercial (a realizar en 2 años)									
	Sustitución de losas de concreto hidráulico en Plataforma comercial									
	Sustitución de losas de concreto hidráulico en Rodajes									
	Rehabilitación de Losas en Plataforma Comercial calles de Rodaje Alfa y Bravo y Obras Complementarias									
	Sustitución de Losas en Plataforma de Aviación Comercial "a Etapa y Obras complementarias									
2005	Obra									
	Reencarpetado en pista 08 - 26									
	Rehabilitación de la plataforma de aviación general									
	Refuerzo de pavimento en rodaje de av. gral									
	Rehabilitación de la pista 08-26 plataforma de aviación general, reforzamiento de rodaje de acceso a plataforma de aviación general y									
	Elaboración de Proyecto para la rehabilitación de la pista 08-26 y obras complementarias									
	Elaboración de proyectos :reforzamiento del rodaje de accesos a la plataforma de aviación general y construcción de plataforma para equipos									
	Sustitución de losas de concreto en plataforma									
	Rehabilitación de losas en plataforma comercial calles de rodaje alfa-bravo rejillas y obras complementarias									
	Sustitución de losas de concreto en rodajes									
	Rehabilitación de losas en plataforma comercial calles de rodaje alfa-bravo rejillas y obras complementarias									
	Rehabilitación de pista principal 11-29 y trabajos complementarios									
	Rehabilitación de losas en plataforma comercial calles de rodaje alfa-bravo rejillas y obras complementarias									

Figura 34 Obras en aeropuerto de Zihuatanejo

Zonas	Monto	Área (m ²)	Factor Área	Tratamiento	Monto Total
Alfa 01	\$297,933.89	12293.31	0.44	Sustitución	\$670,828.50
Alfa 02	\$33,429.89	1379.38	0.05	Sustitución	16-Aug-06
Alfa 03	\$5,860.13	241.8	0.01	Sustitución	Espesor (mm)
Bravo 01	\$294,616.30	12156.42	0.44	Sustitución	320
Bravo 02	\$32,892.11	1357.19	0.05	Sustitución	
Bravo 03	\$6,096.18	251.54	0.01	Sustitución	
Total	\$670,828.50	27679.64	1		
Calles de Rodaje					

Tabla 53 Sustitución de losas en calles de rodaje

Zonas	Monto	Área (m ²)	Factor Área	Tratamiento	Monto Total
AVC 01	\$108,486.02	5400	0.196373634	Sustitución	\$552,447.00
AVC 02	\$108,486.02	5400	0.196373634	Sustitución	16-Aug-06
AVC 03	\$81,364.52	4050	0.147280225	Sustitución	Espesor (mm)
AVC 04	\$81,364.52	4050	0.147280225	Sustitución	320
AVC 05	\$82,340.89	4098.6	0.149047588	Sustitución	
AVC 06	\$90,405.02	4500	0.163644695	Sustitución	
Total	\$552,447.00	27498.6	1		
Plataforma de Aviación Comercial					

Tabla 54 Sustitución de losas en plataforma de aviación comercial

Zonas	Monto	Área (m ²)	Factor Área	Tratamiento	Monto Total
Alfa 01	\$330,358.09	12293.31	0.44	Sustitución	\$743,834.90
Alfa 02	\$37,068.08	1379.38	0.05	Sustitución	21-Jul-07
Alfa 03	\$6,497.89	241.8	0.01	Sustitución	Espesor (mm)
Bravo 01	\$326,679.45	12156.42	0.44	Sustitución	320
Bravo 02	\$36,471.76	1357.19	0.05	Sustitución	
Bravo 03	\$6,759.63	251.54	0.01	Sustitución	
Total	\$743,834.90	27679.64	1		
Calles de Rodaje					

Tabla 55 Sustitución de losas en calles de rodaje

Zonas	Monto	Área (m ²)	Factor Área	Tratamiento	Monto Total
AVC 01	\$120,292.58	5400	0.20	Sustitución	\$612,569.92
AVC 02	\$120,292.58	5400	0.20	Sustitución	21-Jul-07
AVC 03	\$90,219.44	4050	0.15	Sustitución	Espesor (mm)
AVC 04	\$90,219.44	4050	0.15	Sustitución	320
AVC 05	\$91,302.07	4098.6	0.15	Sustitución	
AVC 06	\$100,243.82	4500	0.16	Sustitución	
Total	\$612,569.92	27498.6	1		
Plataforma de Aviación Comercial					

Tabla 56 Sustitución de losas en plataforma de aviación comercial

Zonas	Monto	Área (m ²)	Factor Área	Tratamiento	Monto Total
Alfa 01	\$661,568.45	12293.31	0.444128247	Sustitución	\$1,489,588.78
Alfa 02	\$74,231.78	1379.38	0.049833741	Sustitución	31-Jul-08
Alfa 03	\$13,012.55	241.8	0.008735663	Sustitución	Espesor (mm)
Bravo 01	\$654,201.67	12156.42	0.439182735	Sustitución	320
Bravo 02	\$73,037.62	1357.19	0.049032068	Sustitución	
Bravo 03	\$13,536.71	251.54	0.009087546	Sustitución	
Total	\$1,489,588.78	27679.64	1		
Calles de Rodaje					

Tabla 57 Sustitución de losas en calles de rodaje

Zonas	Monto	Área (m ²)	Factor Área	Tratamiento	Monto Total
AVC 01	\$265,952.32	5400	0.196373634	Sustitución	\$1,354,317.87
AVC 02	\$265,952.32	5400	0.196373634	Sustitución	31-Jul-08
AVC 03	\$199,464.24	4050	0.147280225	Sustitución	Espesor (mm)
AVC 04	\$199,464.24	4050	0.147280225	Sustitución	320
AVC 05	\$201,857.81	4098.6	0.149047588	Sustitución	
AVC 06	\$221,626.93	4500	0.163644695	Sustitución	
Total	\$1,354,317.87	27498.6	1		
Plataforma de Aviación Comercial					

Tabla 58 Sustitución de losas en plataforma de aviación comercial

Zonas	Monto	Área (m ²)	Factor Área	Tratamiento	Monto Total
Alfa 01	\$404,704.00	12293.31	0.444128247	Sustitución	\$911,232.30
Alfa 02	\$45,410.11	1379.38	0.049833741	Sustitución	31-Aug-09
Alfa 03	\$7,960.22	241.8	0.008735663	Sustitución	Espesor (mm)
Bravo 01	\$400,197.49	12156.42	0.439182735	Sustitución	320
Bravo 02	\$44,679.60	1357.19	0.049032068	Sustitución	
Bravo 03	\$8,280.87	251.54	0.009087546	Sustitución	
Total	\$911,232.30	27679.64	1		
Calles de Rodaje					

Tabla 59 Sustitución de losas en calles de rodaje

Zonas	Monto	Área (m ²)	Factor Área	Tratamiento	Monto Total
AVC 01	\$147,364.00	5400	0.20	Sustitución	\$750,426.60
AVC 02	\$147,364.00	5400	0.20	Sustitución	31-Aug-09
AVC 03	\$110,523.00	4050	0.15	Sustitución	Espesor (mm)
AVC 04	\$110,523.00	4050	0.15	Sustitución	320
AVC 05	\$111,849.27	4098.6	0.15	Sustitución	
AVC 06	\$122,803.33	4500	0.16	Sustitución	
Total	\$750,426.60	27498.6	1		
Plataforma de Aviación Comercial					

Tabla 60 Sustitución de losas en plataforma de aviación comercial

Zonas	Monto	Perímetro	Factor Perímetro	Tratamiento	Monto Total
Alfa 01	\$515,802.10	915	0.37	Nivelación de hombros	\$1,409,295.36
Alfa 02	\$36,641.68	65	0.03	Nivelación de hombros	31-Aug-09
Alfa 03	\$36,641.68	65	0.03	Nivelación de hombros	Espesor (mm)
Bravo 01	\$515,802.10	915	0.37	Nivelación de hombros	-
Bravo 02	\$36,641.68	65	0.03	Nivelación de hombros	
Bravo 03	\$36,641.68	65	0.03	Nivelación de hombros	
AVC_ROD	\$107,106.45	190	0.08	Nivelación de hombros	
AVG_ROD	\$124,017.99	220	0.09	Nivelación de hombros	
Total	\$1,409,295.36	2500	1		
Estacionamiento y vialidades					

Tabla 61 Nivelación de hombros en calles de rodaje y plataforma

Zonas	Monto	Área (m ²)	Factor Área	Tratamiento	Monto Total
Alfa 01	\$396,686.47	12293.31	0.44	Sustitución	\$893,180.00
Alfa 02	\$44,510.50	1379.38	0.05	Sustitución	2-Apr-10
Alfa 03	\$7,802.52	241.8	0.01	Sustitución	Espesor (mm)
Bravo 01	\$392,269.24	12156.42	0.44	Sustitución	320
Bravo 02	\$43,794.46	1357.19	0.05	Sustitución	
Bravo 03	\$8,116.81	251.54	0.01	Sustitución	
Total	\$893,180.00	27679.64	1		
Calles de Rodaje					

Tabla 62 Sustitución de losas en calles de rodaje

Zonas	Monto	Área (m ²)	Factor Área	Tratamiento	Monto Total
AVC 01	\$144,444.59	5400	0.20	Sustitución	\$735,560.00
AVC 02	\$144,444.59	5400	0.20	Sustitución	2-Apr-10
AVC 03	\$108,333.44	4050	0.15	Sustitución	Espesor (mm)
AVC 04	\$108,333.44	4050	0.15	Sustitución	320
AVC 05	\$109,633.44	4098.6	0.15	Sustitución	
AVC 06	\$120,370.49	4500	0.16	Sustitución	
Total	\$735,560.00	27498.6	1		
Plataforma de Aviación Comercial					

Tabla 63 Sustitución de losas en plataforma de aviación comercial

Zonas	Monto	Perímetro	Factor Perímetro	Tratamiento	Monto Total
Alfa 01	\$1,431,991.79	915	0.37	Nivelación de hombros	\$3,912,545.88
Alfa 02	\$101,726.19	65	0.03	Nivelación de hombros	30-Jun-10
Alfa 03	\$101,726.19	65	0.03	Nivelación de hombros	Espesor (mm)
Bravo 01	\$1,431,991.79	915	0.37	Nivelación de hombros	-
Bravo 02	\$101,726.19	65	0.03	Nivelación de hombros	
Bravo 03	\$101,726.19	65	0.03	Nivelación de hombros	
AVC_ROD	\$297,353.49	190	0.08	Nivelación de hombros	
AVG_ROD	\$344,304.04	220	0.09	Nivelación de hombros	
Total	\$3,912,545.88	2500	1		
Estacionamiento y vialidades					

Tabla 64 Nivelación de hombros en calles de rodaje

Zonas	Monto	Área (m ²)	Factor Área	Tratamiento	Monto Total
Alfa 01	\$768,634.99	12293.31	0.44	Sustitución	\$1,730,660.00
Alfa 02	\$86,245.26	1379.38	0.05	Sustitución	1-Jul-13
Alfa 03	\$15,118.46	241.8	0.01	Sustitución	Espesor (mm)
Bravo 01	\$760,075.99	12156.42	0.44	Sustitución	320
Bravo 02	\$84,857.84	1357.19	0.05	Sustitución	
Bravo 03	\$15,727.45	251.54	0.01	Sustitución	
Total	\$1,730,660.00	27679.64	1		
Calles de Rodaje					

Tabla 65 Sustitución de losas en calles de rodaje

Zonas	Monto	Área (m ²)	Factor Área	Tratamiento	Monto Total
AVC 01	\$80,917.72	5400	0.20	Sustitución	\$412,060.00
AVC 02	\$80,917.72	5400	0.20	Sustitución	1-Jul-13
AVC 03	\$60,688.29	4050	0.15	Sustitución	Espesor (mm)
AVC 04	\$60,688.29	4050	0.15	Sustitución	320
AVC 05	\$61,416.55	4098.6	0.15	Sustitución	
AVC 06	\$67,431.43	4500	0.16	Sustitución	
Total	\$412,060.00	27498.6	1		
Plataforma de Aviación Comercial					

Tabla 66 Sustitución de losas en plataforma de aviación comercial

3.3 Análisis de diferentes propuestas de planes de mantenimiento y rehabilitación

3.3.1 Aeropuerto de Chihuahua

Con la herramienta "Reportes" de MicroPAVER se puede comparar el estado de condiciones de los pavimentos del aeropuerto utilizando diferentes colores que representan estados diferentes como se muestra en la figura 35

Condición de pavimentos	
	No hay información
	Fallado (0-10)
	Serio (11-25)
	Muy Deteriorado (26-40)
	Deteriorado (41-55)
	Regular (56-70)
	Satisfactorio (71-85)
	Bien (86-100)

Figura 35 Colores representativos de condición de pavimento

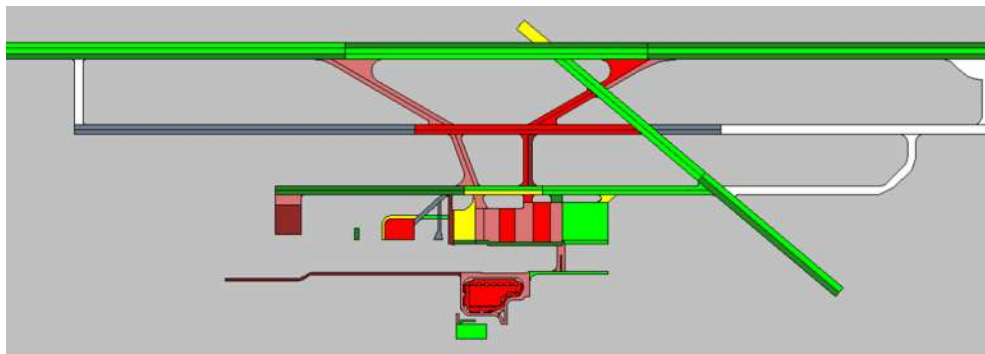


Figura 36 PCI Global de CUU en 2013

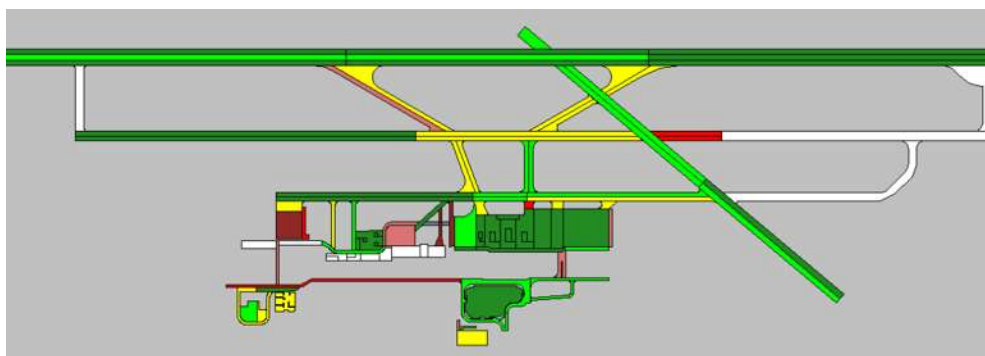


Figura 37 PCI Global de CUU en 2014

Claramente se observa un cambio enorme en el estado de pavimentos del aeropuerto de Chihuahua entre 2013 y 2014. Los reportes mostrados en las figuras 36 y 37 están basados en las inspecciones que se realizan anualmente. Lo que significa que los técnicos que realizaron las inspecciones en el aeropuerto notaron cambios evidentes en el pavimento. Tal como se vio en el subcapítulo 3.2 donde se registraron las obras en el programa, fueron muchas las obras realizadas y el cambio tenía que resultar muy evidente, tal como se dio.

Lo reportes concuerdan con el historial de obras, reiterando que en efecto, el registro de obras es importante, pues de no haber registrado las obras el programa no será capaz de reconocer por qué hubo una mejoría en el global del aeropuerto. Evidente mente asumirá que hubo obras de mantenimiento y rehabilitación pero es importante indicarle al programa de gestión más detalles acerca de estas obras realizadas para su mejor funcionamiento.

3.3.1.1 Planes de mantenimiento en Chihuahua

MicroPAVER Work Plan es una herramienta para planear, programar, y analizar diferentes alternativas para actividades M&R. La herramienta M&R hace uso de información básica de inventario, combinada con información de las inspecciones, políticas de mantenimiento, costos de mantenimiento y predicciones acerca del futuro comportamiento de los pavimentos. Todos los factores usados para determinar las futuras actividades de construcción y M&R y sus costos asociados pueden ser configurados para reflejar costos y prácticas específicas de mantenimiento de pavimentos.

A continuación, un breve análisis de los planes de mantenimiento que se realizaron con dos archivos MicroPAVER diferentes del mismo aeropuerto de Chihuahua. En la figura 38 se muestra un plan diseñado por MicroPAVER con el archivo 2013 (antes de ser calibrado) y en la figura 39 otro plan con el archivo MicroPAVER 2014, es decir, el archivo ya calibrado.

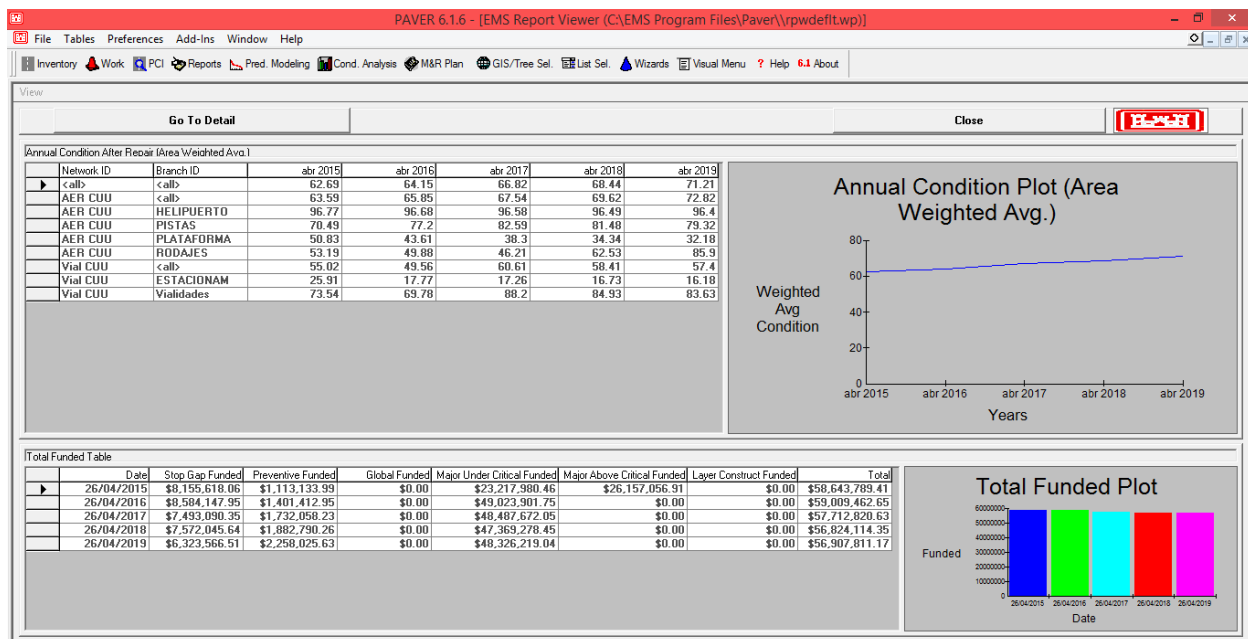


Figura 38 Plan M&R basado en archivo no calibrado

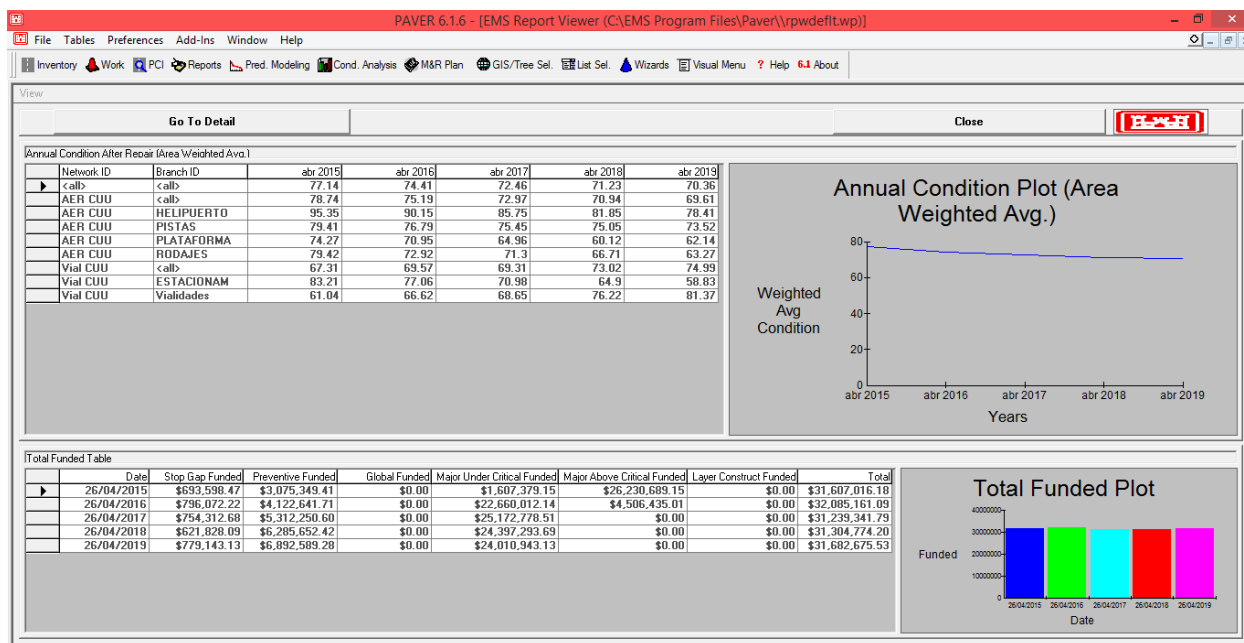


Figura 39 Plan M&R basado en archivo calibrado

Antes de haber realizado estos planes de mantenimiento se determinó cual era la media de presupuesto asignado al aeropuerto de Chihuahua. Resultaron ser alrededor de veinte millones al año. Lo cual aporta una idea del capital de inversión con que se cuenta. En los años 2011 y 2012 no se realizó obra alguna, sin embargo, en 2013 se invirtieron \$55,895,178.80, lo cual, por concepto de inflación, corresponde a \$60,014,653.48 actuales.

Si se supone que se quiere alcanzar un PCI global de 71 en un periodo de 5 años y comparando los dos planes producidos por MicroPAVER, en el primer año el archivo obsoleto requiere \$58,643,789.41 mientras que el archivo calibrado requiere \$31,607,016.18. Es una diferencia de poco más de 27 millones. Al sumar las diferencias de cada año se obtiene un total de \$131,179,029.42 como se muestra en la tabla 67. Pero si se quiere ser más preciso en el análisis y hacer una comparación de montos de obra, será necesario no considerar estos datos, dado que seguirá habiendo inflación. Al hacer una extrapolación de valores, tomando en cuenta los 4 años pasados, se obtiene la gráfica que muestra la figura 40, por lo tanto, la tabla 67 cambia a ser la tabla 67.

Año	Presupuesto		diferencia
	archivo viejo	archivo calibrado	
2015	\$58,643,789.41	\$31,607,016.18	\$27,036,773.23
2016	\$59,009,462.65	\$32,085,161.09	\$26,924,301.56
2017	\$57,712,820.63	\$31,239,341.79	\$26,473,478.84
2018	\$56,824,114.35	\$31,304,774.20	\$25,519,340.15
2019	\$56,907,811.17	\$31,682,675.53	\$25,225,135.64
			\$131,179,029.42

Tabla 67 Comparación de presupuestos

Inflación	
marzo 2011 a marzo 2012	3.73%
marzo 2012 a marzo 2013	4.25%
marzo 2013 a marzo 2014	3.76%
marzo 2014 a marzo 2015	3.14%

Tabla 68 Inflación en años pasados

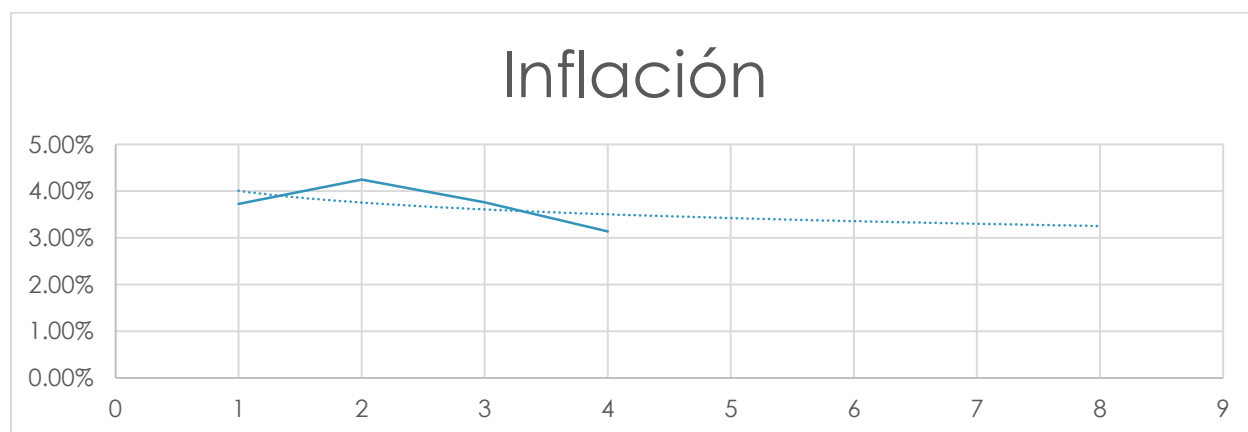


Figura 40 Tendencia de inflación por extrapolación

Año	Presupuesto		diferencia	Inflación		
	archivo viejo	archivo calibrado		anual	acumulado	factor
2015	\$58,643,789.41	\$31,607,016.18	\$27,036,773.23	0.00%	0.00%	100.00%
2016	\$56,997,239.97	\$30,991,057.10	\$26,006,182.88	3.41%	3.41%	96.59%
2017	\$53,817,205.24	\$29,130,686.22	\$24,686,519.02	3.34%	6.75%	93.25%
2018	\$51,692,896.82	\$28,477,953.09	\$23,214,943.73	2.28%	9.03%	90.97%
2019	\$49,942,295.08	\$27,804,716.05	\$22,137,579.04	3.21%	12.24%	87.76%
Total	\$271,093,426.53	\$148,011,428.63	\$123,081,997.90			

Tabla 69 Diferencia de presupuestos considerando inflación

Ahora que ya se cuentan con todos los elementos se puede realizar un análisis muy sencillo: suponiendo que no se hubieran realizado las obras en 2013. De no haber sido calibrado, el programa MicroPaver hubiera requerido poco más de 271 millones de pesos para elevar el PCI a 71 en un periodo de 5 años (ver figura 38).

Por otro lado, el archivo de CUU calibrado está pidiendo poco más de 148 millones para terminar con un PCI global también de 71 (Ver figura 39). Se puede argumentar en contra del presente análisis que es menor el presupuesto solicitado porque ya se realizaron obras. Por lo que si se consideran los \$60,014,653.48, aun así resulta mucho más económico.

Haciendo un resumen: si se desea tener un PCI global de 71 en CUU al final de un periodo de 5 años, con un archivo calibrado y otro no calibrado, la diferencia es muy clara y se puede observar en la tabla 70

MicroPAVER	
No calibrado	Calibrado
\$271,093,426.53	\$148,011,428.63

Tabla 70 Diferencia de archivo no calibrado y otro calibrado

Esta resulta ser una conclusión muy poderosa por una cuestión muy importante:

- Conviene realizar una inversión inicial a un pavimento cuando éste apenas está mostrando signos de deterioro que dar mantenimiento correctivo. El archivo no calibrado pide mucho dinero por el estado en que se encuentran los pavimentos (un PCI global de 63 aproximadamente) mientras que el archivo ya calibrado considera que las obras M&R fueron hechas a tiempo y no es necesario hacer una inversión tan fuerte.

3.3.2 Aeropuerto de San Luis Potosí

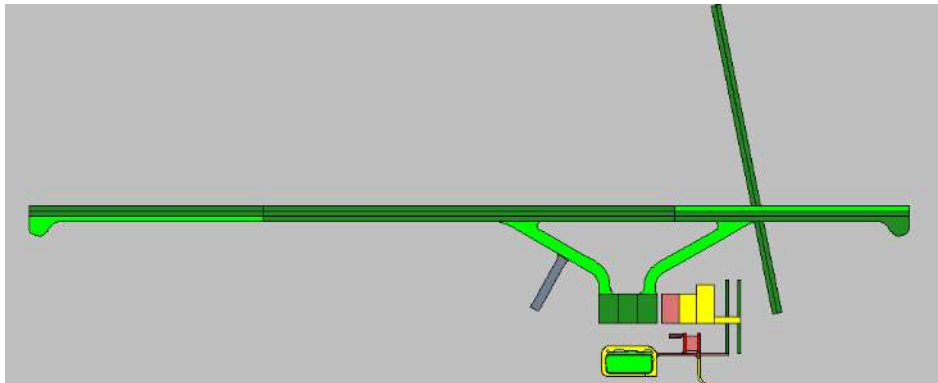


Figura 41 PCI Global de SLP en 2013

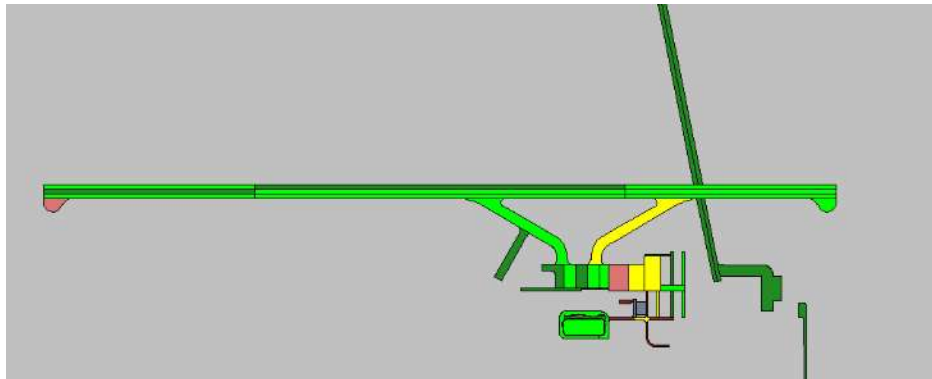


Figura 42 PCI Global de SLP en 2014

3.3.2.1 Planes de mantenimiento en San Luis Potosí

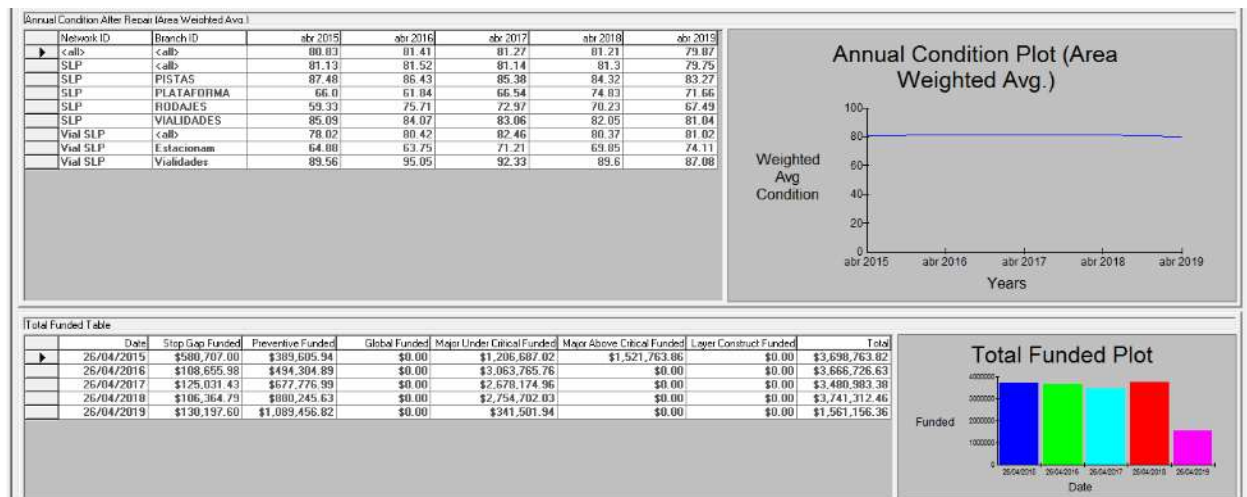


Figura 43 Plan M&R basado en archivo no calibrado

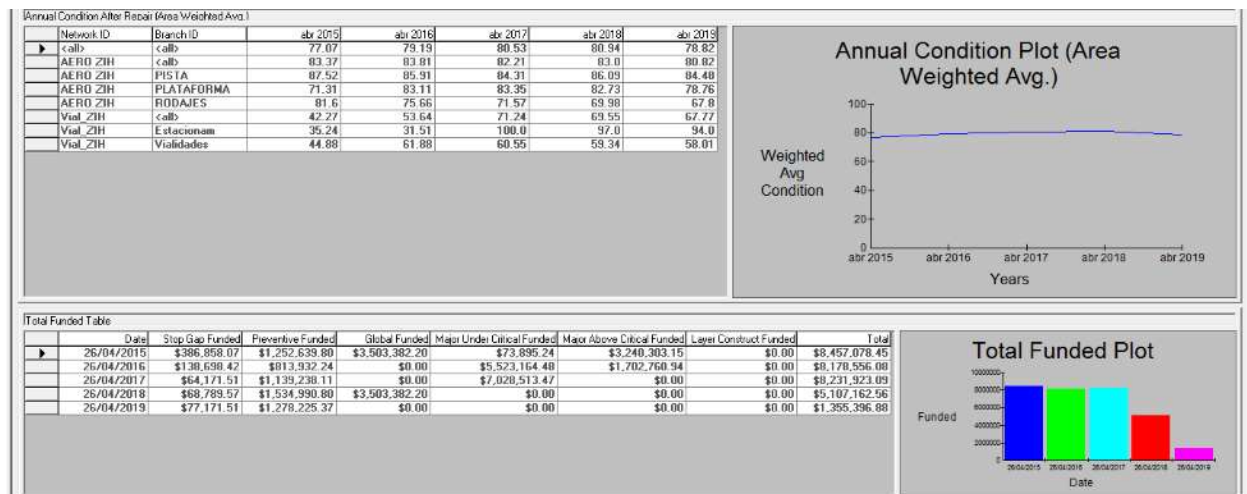


Figura 44 Plan M&R basado en archivo calibrado

En el aeropuerto de San Luis Potosí ocurre lo contrario, ya que como se observa en las figuras 43 y 44: el estado de los pavimentos sufrió un deterioro poco significativo y poca obra se realizó para mantenerlo. Es por ello que el archivo 2015 (calibrado) requiere más inversión económica, en contraste con el archivo 2013, para llegar al mismo PCI. Fue planeado un PCI igual a 79, basado en que en el plan de 2013 eso significaría mantener los pavimentos sin subir el PCI ni dejar que se deterioren más los pavimentos.

Sin embargo, existe un punto muy importante que debe destacarse. Dado que en los dos años en estudio los pavimentos se encuentran en buenas condiciones, el

quinto año de planeación de obras de mantenimiento y rehabilitación, en ambos planes de trabajo está pidiendo poco presupuesto.

En el archivo 2013, el primer año calcula un monto de \$3,698,763.82, mientras que en el quinto pide \$1,561,156.36. Lo anterior equivale a establecer que con dar mantenimiento preventivo, en un periodo de cinco años, el quinto año sólo será necesario hacer una inversión del 42.2% de lo que fue necesario en el primer año.

Mientras tanto, en el archivo 2015 se requiere un monto de \$8,457,078.45 en el primer año y \$1,355,396.88 en el quinto año. Esto equivale a invertir en los primeros años determinado presupuesto y en el quinto únicamente hacer una inversión que corresponda al 16% de lo que se invirtió en el primer año.

3.3.3 Aeropuerto de Zihuatanejo

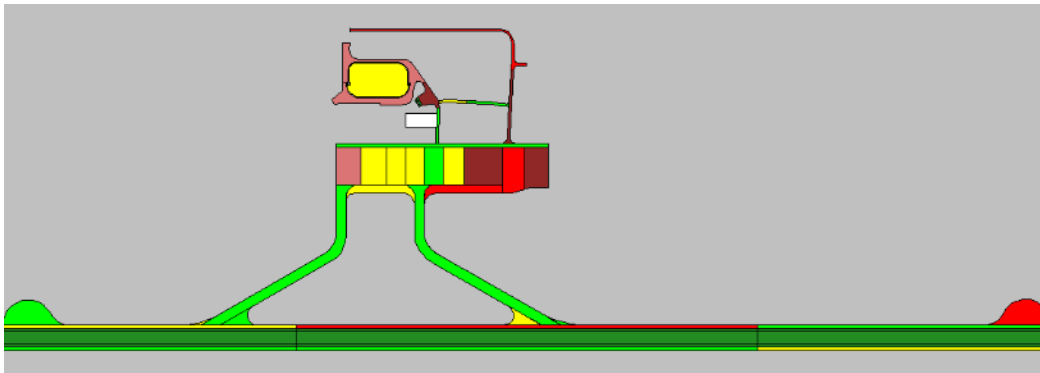


Figura 45 PCI Global de ZIH en 2013

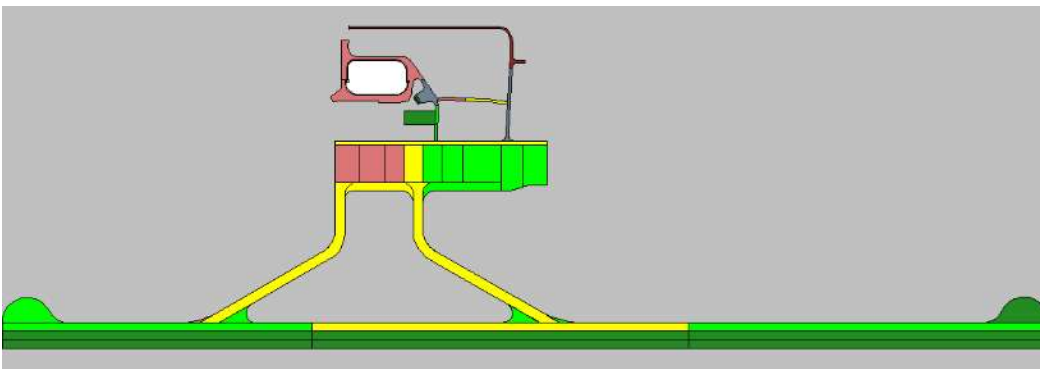


Figura 46 PCI Global de ZIH en 2014

3.3.3.1 Planes de Mantenimiento en Zihuatanejo

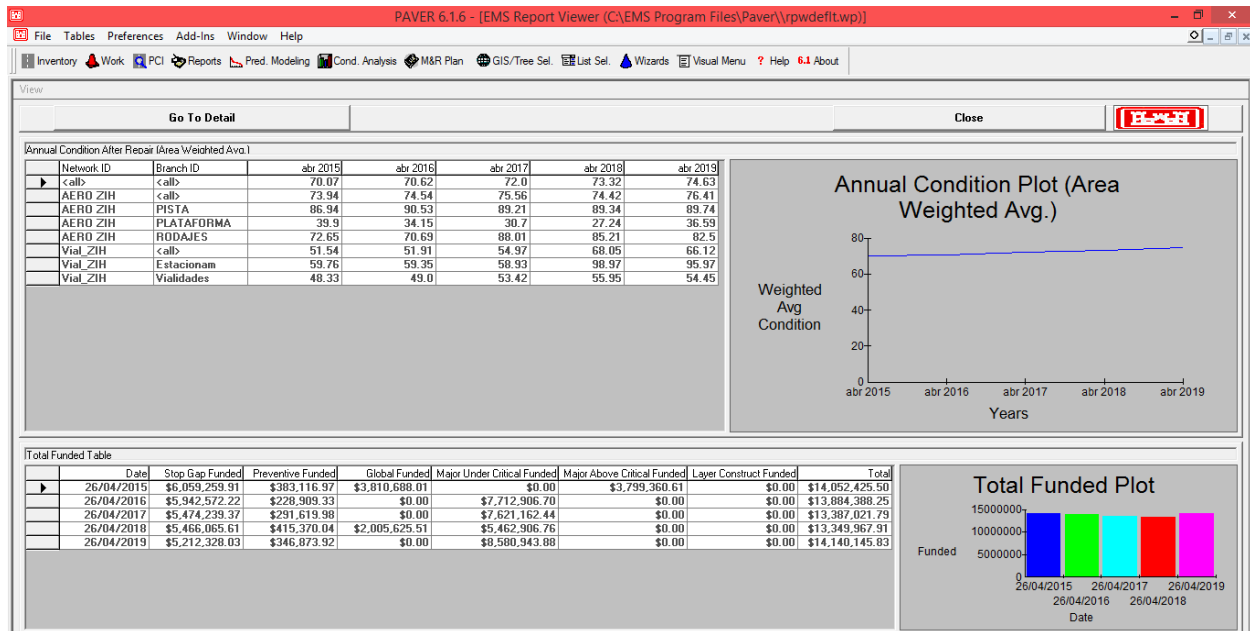


Figura 47 Plan M&R basado en archivo no calibrado

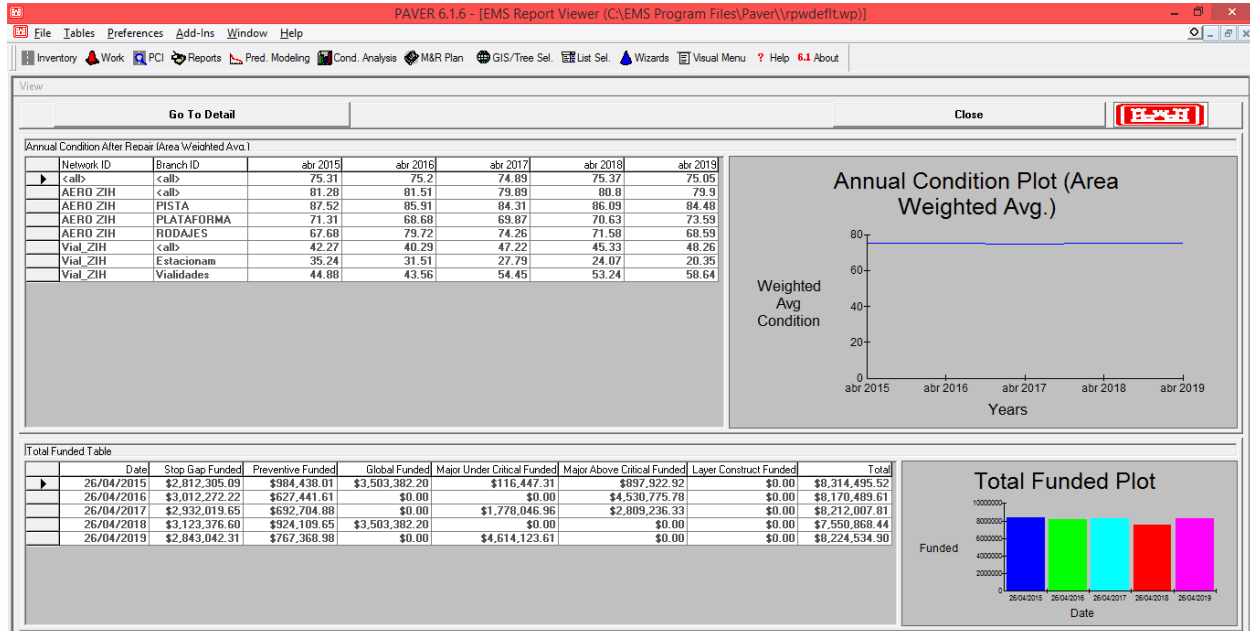


Figura 48 Plan M&R basado en archivo calibrado

En el aeropuerto de Zihuatanejo ocurre algo muy similar que en el aeropuerto de Chihuahua. El plan mostrado en la figura 47 corresponde a un archivo del 2013 y un PCI

de 70. Para elevar el PCI global a 74.6 requiere el programa un total de 64 millones y medio en un periodo de 5 años. Es decir, si se dejan deteriorar los pavimentos del aeropuerto de Zihuatanejo a un valor de 70 costará la cantidad mencionada para elevar el PCI a 74.6

Año	Presupuesto		diferencia	Inflación		
	archivo viejo	archivo calibrado		anual	acumulado	factor
2015	\$14,052,425.50	\$8,314,495.52	\$5,737,929.98	0.00%	0.00%	100.00%
2016	\$13,410,930.61	\$7,891,875.91	\$5,519,054.70	3.41%	3.41%	96.59%
2017	\$12,483,397.82	\$7,657,697.28	\$4,825,700.54	3.34%	6.75%	93.25%
2018	\$12,144,465.81	\$6,869,025.02	\$5,275,440.79	2.28%	9.03%	90.97%
2019	\$12,409,391.98	\$7,217,851.83	\$5,191,540.15	3.21%	12.24%	87.76%
Total	\$64,500,611.72	\$37,950,945.57	\$26,549,666.15			

Tabla 71 Diferencia de presupuestos considerando inflación

Por otro lado, si se mantiene el pavimento en 75 como lo muestra la figura 48 únicamente son necesarios casi 38 millones para mantenerlo en el mismo PCI por un periodo de 5 años (tabla.71). Ciertamente para ello se tuvo que hacer inversión y resulta imprudente ignorar dicha inversión que según los registros es la mostrada en la tabla 72.

Obra	Fecha	Monto
Construcción De Plataforma Para 2 Posiciones De Helicopteros	13-Jan-14	\$915,690.00
Elaboracion del proyecto ejecutivo para la construccion de posiciones de estacionamiento para helicopteros	3-Feb-13	\$382,740.00
Rehabilitacion De Plataforma De Aviación Comercial Mediante Sustitucion De Losas.	1-Jul-13	\$412,060.00
Sustitución Losas En Rodajes Alfa Y Bravo	1-Jul-13	\$1,730,660.00
Sustitucion de losas de concreto hidraulico en areas operacionales y obras complementarias	23-Oct-12	\$2,209,630.00

Tabla 72 Inversión en ZIH en 2013

Aquí hay una cuestión que resulta interesante considerar si se desea la mayor precisión posible: el aumento de PCI que ya se mencionó en la diferencia de años de las figuras 47 y 48 corresponde a plataforma, calles de rodaje y pista con sus plataformas de viraje, el registro de los helipuertos aún no se ha registrado en MicroPAVER, por lo que únicamente se considerarán los últimos tres conceptos de la tabla 72.

Con ayuda de la calculadora de inflación de INEGI se tienen las inversiones en dinero actual que se muestra en la tabla 73.

Obra	Fecha	Monto	Inflación	
			tasa	monto actual
Rehabilitación De Plataforma De Aviación Comercial Mediante Sustitución De Losas.	1-Jul-13	\$412,060.00	7.40%	\$442,552.44
Sustitución Losas En Rodajes Alfa Y Bravo	1-Jul-13	\$1,730,660.00	7.40%	\$1,858,728.84
Sustitución de losas de concreto hidráulico en áreas operacionales y obras complementarias	23-Oct-12	\$2,209,630.00	9.76%	\$2,425,289.89
			TOTAL	\$4,726,571.17

Tabla 73 Inversión en ZIH, 2013

En la tabla 71 se mencionó la diferencia entre los dos planes de mantenimiento igual a 26 millones y medio. Para llegar a la diferencia de PCI que está indicado en las

figuras 47 y 48 se necesitaron exactamente \$4,726,571.17 pesos en términos actuales, por lo que si se realiza una resta de \$64,500,611.72 menos \$4,726,571.17 da como resultado \$59,774,040.55. La tabla 74 muestra la diferencia de estas dos inversiones. Se considera un periodo de 5 años como un ejemplo.

MicroPAVER	
No calibrado	Calibrado
\$59,774,040.55	\$37,950,945.57

Tabla 74 Diferencia de inversión necesaria

Este último valor representa la inversión que se tendría que realizar en el aeropuerto de Zihuatanejo si se dejara caer el PCI a un valor de 70.07 (figura 47). Se requirió una inversión de \$4,726,571.17 para ahorrarse los casi 60 millones en un periodo de 5 años

Capítulo 4. Calibración del sistema de costos de los aeropuertos estudiados

4.1 Descripción de las tablas de costos

El programa MicroPAVER es una herramienta poderosa que puede resultar muy útil al ingeniero. Pero para ello debe contar con datos precisos para poder realizar efectivamente su función. Estos datos, que serán comentados a continuación aparecen en forma de tablas. Es conveniente recordar que el programa fue desarrollado en E.E.U.U. y las tablas de datos podrían no ser aplicables a los aeropuertos operados por OMA.

Los datos se encuentran organizados de la siguiente manera (figura 49). Las tablas de costos son las que fueron consideradas más importantes a actualizar. En el desplegado de la pestaña “tablas” se encuentra el listado “familias y tablas de plan de M&R”. Estas tablas corresponden a lo siguiente:

Estas tablas son únicas para cada aeropuerto y es donde está registrado el costo de cada obra por medida unitaria, ya sea metro lineal o metro cuadrado. Los años en que se introdujeron están localizados al lado derecho de las tablas.

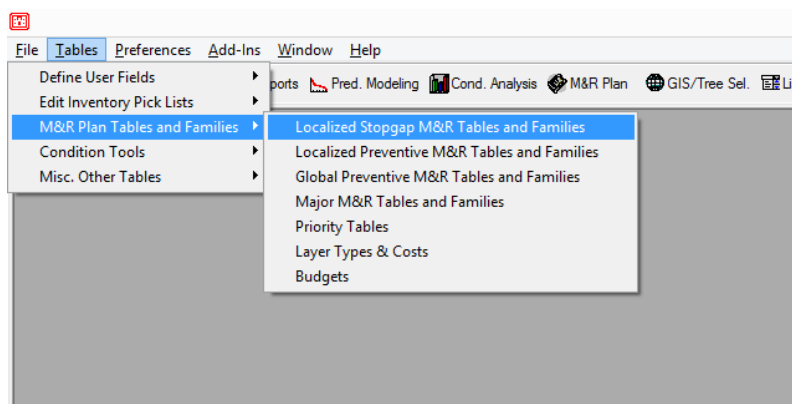


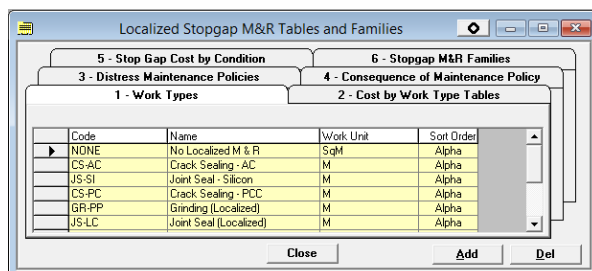
Figura 49 Tablas de costos en menú principal

Todas las tablas bajo esta categoría son tablas que MicroPAVER usa cuando ejecuta planes M&R. así como la mayoría de las tablas, en estas se pueden añadir

elementos, editar y borrar elementos ya existentes. A continuación se muestra una breve descripción de estas tablas.

4.1.1 Tablas de costos de M&R correctivos y localizados

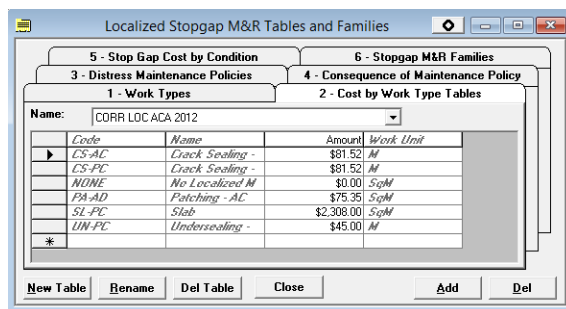
1. Tipo de trabajo. Es un listado de todos los tipos de trabajo clasificados como reparaciones locales (figura 50).



Code	Name	Work Unit	Sort Order
NONE	No Localized M & R	SqM	Alpha
CS-AC	Crack Sealing - AC	M	Alpha
JS-SI	Joint Seal - Silicon	M	Alpha
CS-PC	Crack Sealing - PCC	M	Alpha
GR-PP	Grinding (Localized)	M	Alpha
JS-LC	Joint Seal (Localized)	M	Alpha

Figura 50 Tipo de trabajo

2. Tablas de costo por tipo de trabajo. Se pueden crear diferentes tablas de costos por tipo de trabajo para que estén ajustadas a las diferentes regiones o trabajos. Los datos en estas tablas son enteramente manipulables. Además de agregar, modificar o eliminar tipos de trabajos, se puede modificar el costo por cada tipo de trabajo (figura 51).



Code	Name	Amount	Work Unit
CS-AC	Crack Sealing -	\$81.52	M
CS-PC	Crack Sealing -	\$81.52	M
NONE	No Localized M	\$0.00	SqM
PA-AD	Patching - AC	\$75.35	SqM
SL-PC	Slab	\$2,308.00	SqM
UN-PC	Undersealing -	\$45.00	M

Figura 51 Tabla de costo por tipo de trabajo

3. Tabla de políticas de mantenimiento de deterioros. Es aquí donde se definen tablas por separado y agrupar diferentes tipos de trabajo localizados de acuerdo a diferentes escenarios de mantenimiento (figura 52).

Distress	Distress Severity	Description	Work Type	Code	Work Unit
41	High	ALLIGATOR CR	Patching - AC	PA-AD	SqM
41	Medium	ALLIGATOR CR	Patching - AC	PA-AD	SqM
43	High	BLOCK CR	Crack Sealing -	CS-AC	M
43	Medium	BLOCK CR	Crack Sealing -	CS-AC	M
45	High	DEPRESSION	Patching - AC	PA-AD	SqM
45	Medium	DEPRESSION	Patching - AC	PA-AD	SqM
47	High	JT REE CR	Crack Sealing -	CS-AC	M
47	Medium	JT REE CR	Crack Sealing -	CS-AC	M

Figura 52 Tabla por políticas de mantenimiento de deterioros

- Tabla de consecuencia de políticas de mantenimiento. Para cada tipo de trabajo listado, existe una tabla asociada que consiste en un listado de deterioros relacionados a un tipo de trabajo en particular y el estado producido como un resultado del trabajo específico llevado a cabo. Esto, evidentemente, apoya al plan de trabajo al predecir el futuro PCI (figura 53).

Distress	Description	Distress Severity	New Distress	New Description	New Distress Severity
3	BLOCK CR	Low	3	BLOCK CR	Low
3	BLOCK CR	Mediu	3	BLOCK CR	Low
3	BLOCK CR	High	3	BLOCK CR	Medium
7	EDGE CR	High	7	EDGE CR	Medium
7	EDGE CR	Low	7	EDGE CR	Low

Figura 53 Consecuencia de políticas de mantenimiento

- Tabla de costo de trabajo Localizado Correctivo por condición. Aquí, los costos M&R están relacionados a las condiciones del pavimento. Tal como se ha mencionado y enfatizado, los costos por reparación de un pavimento incrementen a medida que el PCI disminuye (figura 54).

Condition	Cost	Unit
0.0	\$140.00	StopM
10.0	\$125.00	StopM
20.0	\$110.00	StopM
30.0	\$100.00	StopM
40.0	\$80.00	StopM
50.0	\$50.00	StopM
60.0	\$10.00	StopM
70.0	\$0.00	StopM
80.0	\$0.00	StopM
90.0	\$0.00	StopM
100.0	\$0.00	StopM

Figura 54 Tabla de costo por condición

6. Familias de trabajos localizado correctivo. En esta pestaña, las familias M&R para trabajos tipo correctivo localizado pueden ser definidas para usarse con trabajos M&R. una vez que se crea una familia M&R, la política de mantenimiento de deterioros, el costo por tipo de trabajo, costo por condición y el orden de listado puede serle asignado (figura 55).

Family Name	Distress	Cost By Work Type	Cost By Condition	Sort Order
Airfield Stopgap	LOCALIZED	New Default	New Default AC	Alpha
Roadway Stopgap	SAFETY M&R,	New Default	New Default AC	Alpha
Stopgap M&R	POL LOC PREV	CORR LOC M&R	COSTO COND	Alpha

Figura 55 Tabla de familias M&R

4.1.2 Tablas de costos de M&R preventivos y localizados

Lo mismo que en la sección anterior. La diferencia es que este tipo de trabajos no son correctivos localizados sino preventivos localizados. En la tabla de tipo de trabajo se introducen los trabajos que no corrigen, únicamente trabajos que previenen deterioros futuros. Todos los datos que se pueden manipular en la sección anteriormente descrita se pueden manipular de la misma manera en las tablas relacionadas con los trabajos preventivo-localizados.

4.1.3 Tablas de costos de M&R preventivos globales

Lo mismo que en la sección anterior. La diferencia es que este tipo de trabajos no son preventivos localizados sino preventivos globales. Los trabajos introducidos aquí no previenen deterioros en secciones sino en áreas más grandes como ramas o incluso la red entera podría ser. Todos los datos que se pueden manipular en la sección anteriormente descrita se pueden manipular de la misma manera en las tablas relacionadas con los trabajos preventivo-localizados.

4.1.4 Tablas de costos de M&R mayores

Lo mismo que en la sección anterior. La diferencia es que este tipo de trabajos no son preventivos globales sino M&R globales. En la tabla de tipo de trabajo se introducen los trabajos que rehabilitan el pavimento. Estos son trabajos correctivos que requieren de una planeación aún mayor. Todos los datos que se pueden manipular en la sección anteriormente descrita se pueden manipular de la misma manera en las tablas relacionadas con los trabajos preventivo-globales.

Al ser necesario realizar un programa de mantenimiento y rehabilitación, el ingeniero debe estar seguro de que las tablas de costos estén actualizadas ya que de no ser así, el programa arrojará como resultado planes de trabajo que no corresponden a los datos reales. Aún hacen falta actualizar muchas tablas que usa MicroPAVER, pero para el presente trabajo fue asignada la tarea de calibrar únicamente las tablas de costos ya que actualizar todas las tablas con datos reales lleva mucho más tiempo. Las tablas 68 a la 79 muestran las tablas de costos para los 3 aeropuertos bajo los 4 conceptos descritos anteriormente.

Aeropuerto de Chihuahua

Correctivo Localizado			
Nombre	Precio Unitario	Unidad	Año
Calafateo	\$35.00	m	2013
Crack Sealing - AC	\$17.00	m	2011
Crack Sealing - PCC	\$25.00	m	2011
Joint Seal (Localized)	\$25.00	m	2011
Patching - AC Deep	\$2,550.00	m ²	2011
Patching - AC Leveling	\$785.00	m ²	2011
Patching - AC Shallow	\$850.00	m ²	2011
Patching - PCC Full Depth	\$3,200.00	m ²	2011
Patching - PCC Partial Depth	\$820.00	m ²	2011
Shoulder leveling	\$320.00	m	2011
Slab Replacement - PCC	\$1,570.00	m ²	2011

Tabla 75 Costos correctivo localizado

Preventivo Localizado			
Nombre	Precio Unitario	Unidad	Año
Calafateo	\$35.00	m	2013
Crack Sealing - AC	\$17.00	m	2011
Crack Sealing - PCC	\$25.00	m	2011
Joint Seal (Localized)	\$25.00	m	2011
Patching - AC Deep	\$2,550.00	m ²	2011
Patching - AC Leveling	\$785.00	m ²	2011
Patching - AC Shallow	\$850.00	m ²	2011
Patching - PCC Full Depth	\$3,200.00	m ²	2011
Patching - PCC Partial	\$820.00	m ²	2011
Shoulder leveling	\$320.00	m	2011
Slab Replacement - PCC	\$1,570.00	m ²	2011

Tabla 76 Costos preventivo localizado

Preventivo Local			
Nombre	Precio Unitario	Unidad	Año
Descauche	\$4.00	m ²	2013
Desconchamiento	\$600.00	m	2013
Overlay - AC Thin (Global)	\$590.00	m ²	2013
Riego de Avidez	\$18.00	m ²	2013
Surface Seal - Coal Tar	\$270.00	m ²	2013
Surface Seal - Fog Seal	\$5.00	m ²	2013
Surface Seal - Rejuvenating	\$35.00	m ²	2013
Surface Treatment - Cape Seal	\$130.00	m ²	2013
Surface Treatment - Micro Surface	\$170.00	m ²	2013
Surface Treatment - Sand Tar	\$33.00	m ²	2013
Surface Treatment - Single Bitum.	\$90.00	m ²	2013
Surface Treatment - Slurry Seal	\$92.00	m ²	2013

Tabla 77 Costos preventivo local

M&R Mayor			
Nombre	Precio Unitario	Unidad	Año
2 in Cold Mill & Overlay	\$635.00	m ²	2011
2 in overlay	\$590.00	m ²	2011
4 in overlay	\$1,100.00	m ²	2011
6 in overlay	\$1,400.00	m ²	2011
AC Surface Recycling - Cold	\$350.00	m ²	2011
AC Surface Recycling - Hot	\$490.00	m ²	2011
Complete Reconstruction - AC	\$881.80	m ²	2011
Complete Reconstruction - PCC	\$1,950.00	m ²	2011
New Construction - AC	\$791.80	m ²	2011
New Construction - PCC	\$1,771.80	m ²	2011
Overlay - AC Structural	\$708.00	m ²	2011
Overlay - AC Thin	\$510.00	m ²	2011
Reconstruccion Pavimento asfaltico	\$1,800.00	m ²	2011
Surface Course - AC	\$590.00	m ²	2011
Surface Course - Double Bitum.	\$910.00	m ²	2011
Surface Course - Porous Friction	\$570.00	m ²	2011
Surface Reconstruction - AC	\$679.20	m ²	2011
Surface Reconstruction - PCC	\$1,747.40	m ²	2011
Sustitución de losas	\$3,177.00	m ²	2011

Tabla 78 Costos M&R Mayor

Aeropuerto de San Luis Potosí

Correctivo Localizado			
Nombre	Precio Unitario	Unidad	Año
Calafateo en asfalto	\$102.77	m	2011
Bacheo profundo en asfalto	\$1,459.57	m ²	2011

Tabla 79 Costos correctivo localizado

Preventivo Localizado			
Nombre	Precio Unitario	Unidad	Año
Calafateo en asfalto	\$102.77	m	2011
Bacheo profundo en asfalto	\$1,459.57	m ²	2011

Tabla 80 Costos preventivo localizado

Preventivo Local			
Nombre	Precio Unitario	Unidad	Año
Descauche	\$2.66	m ²	2013
Riego Antiderrame	\$65.00	m ²	2013
Riego de Avidez	\$18.00	m ²	2013
Señalamiento del eje	\$9.68	m ²	2013
Señalamiento laterales	\$19.32	m ²	2013
Señalamiento total	\$29.05	m ²	2013
Tratamiento Superficial - Mortero	\$75.00	m ²	2013

Tabla 81 Costos preventivo local

M&R Mayor			
Nombre	Precio Unitario	Unidad	Año
Fresado de 2 pulgadas y carpeta	\$111.56	m ²	2013
Carpeta de 2 pulgadas	\$73.61	m ²	2013
Carpeta de 4 pulgadas	\$147.23	m ²	2013
Carpeta de 6 pulgadas	\$220.85	m ²	2013
Reconstruccion Pavimento asfaltico	\$1,800.00	m ²	2013

Tabla 82 Costos M&R Mayor

Aeropuerto de Zihuatanejo

Correctivo Localizado			
Nombre	Precio Unitario	Unidad	Año
Crack Sealing - AC	\$81.52	M	2011
Crack Sealing - PCC	\$81.52	M	2011
Patching - AC Deep	\$75.35	SqM	2011
Patching - AC Shallow	\$34.98	SqM	2011
Slab Replacement - PCC	\$2,308.00	SqM	2011

Tabla 83 Costos correctivo localizado

Preventivo Localizado			
Nombre	Precio Unitario	Unidad	Año
Crack Sealing - AC	\$81.52	M	2011
Crack Sealing - PCC	\$81.52	M	2011
Patching - AC Deep	\$75.35	SqM	2011
Slab Replacement - PCC	\$2,308.00	SqM	2011

Tabla 84 Costos preventivo localizado

Preventivo Local			
Nombre	Precio Unitario	Unidad	Año
Desconchamiento	\$600.00	M	2013
Surface Treatment - Slurry Seal	\$90.00	SqM	2013
Riego de Avidez	\$18.00	SqM	2013
Rejuvenecedor	\$7.67	SqM	2011

Tabla 85 Costos preventivo local

M&R Mayor			
Nombre	Precio Unitario	Unidad	Año
Reconstrucción total PCC	\$1,950.00	SqM	2013
Sustitución de losas	\$600.00	SqM	2013
4 in overlay	\$227.35	SqM	2011
2 in cld mill and overlay	\$321.75	SqM	2011

Tabla 86 Costos M&R Mayor

4.2 Actualización de las tablas de costos

Después de que estas tablas de costos fueran exportadas del programa MicroPAVER a una hoja de Excel la tarea fue actualizar los costos e introducirlos de nuevo a MicroPAVER. Entre las diferentes opciones para realizar lo anterior se consideró ajustar los precios por concepto de inflación. Para lo cual la Calculadora de Inflación del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) resultó ser una herramienta muy útil.

La Calculadora de Inflación del INEGI es una herramienta que calcula la Tasa de Inflación Porcentual Implícita de un Índice de Precios en el intervalo que el usuario desee. Las fórmulas usadas por la calculadora son de interés compuesto. Brinda la opción de mostrar la información de acuerdo a dos tasas de inflación porcentuales diferentes: la implícita entre dos fechas cualesquiera y el promedio de las tasas de inflación porcentuales en los diferentes periodos que componen las dos fechas diferentes. (INEGI, 2013)

Los datos con los que trabaja son los siguientes:

T_0 = fecha inicial

T_1 = fecha final

I_{t_0} = valor de índice de precios en la fecha inicial

I_{t_1} = Valor de índice de precios en la fecha final

$i(t_0, t_1)$ = tasa de inflación porcentual en un periodo (t_0, t_1) , $(t_1 > t_0)$

$\overline{i(t_0, t_1)}$ = tasa de inflación porcentual promedio en el periodo (t_0, t_1)

Las formulas usadas por la calculadora son las siguientes:

1. Tasa de Inflación Porcentual del Índice de Precios I en el período (t_0, t_1) .
2. Tasa de Inflación Porcentual Promedio del Índice de Precios I en el período (t_0, t_1) .

$$i(t_0, t_1) = \left[\frac{I_{t_1}}{I_{t_0}} - 1 \right] * 100 \quad \text{Ecuación 1}$$

$$\overline{i(t_0, t_1)} = \left[\left(\frac{I_{t_1}}{I_{t_0}} \right)^{\left(\frac{1}{t_1 - t_0} \right)} - 1 \right] * 100 \quad \text{Ecuación 2}$$

INEGI además cuenta con un sitio en internet donde solo se necesitan introducir las fechas a la calculadora y nos da como resultado las dos tasas que ya se mencionaron, aunque para el propósito que se busca, únicamente es necesaria la Tasa de Inflación Porcentual del Índice de Precios (figura 56).

Calculadora de inflación [Ayuda](#)

La calculadora de inflación le permite conocer cual ha sido la inflación en el período que usted defina. Lo único que debe hacer es indicar el período y oprimir el botón de calcular.

Cálculo de inflación	
Índice Nacional de Precios al Consumidor	
Índice General	
Período: Ene 1969 - Mar 2015 Índice base segunda quincena de diciembre 2010 = 100	
Inflación en un período determinado	
Seleccione el período de interés y oprima el botón de calcular.	
DE	A
Dic ▼ / 2014 ▼	Mar ▼ / 2015 ▼
Inflación de Dic 2014 a Mar 2015: 0.51%	
Tasa Promedio Mensual de Inflación de Dic 2014 a Mar 2015: 0.17%	
Calcular	Cerrar

Figura 56 Calculadora de Inflación de INEGI

Haciendo uso de la calculadora del INEGI se procedió a actualizar las tablas de costos de los tres aeropuertos en cuestión que quedan de la siguiente manera.

Aeropuerto de Chihuahua

Correctivo Localizado			
Nombre	Precio Unitario	Unidad	Año
Calafateo	\$37.44	m	2015
Crack Sealing - AC	\$19.65	m	2015
Crack Sealing - PCC	\$28.89	m	2015
Joint Seal (Localized)	\$28.89	m	2015
Patching - AC Deep	\$2,947.04	m ²	2015
Patching - AC Leveling	\$907.22	m ²	2015
Patching - AC Shallow	\$982.35	m ²	2015
Patching - PCC Full Depth	\$3,698.24	m ²	2015
Patching - PCC Partial Depth	\$947.67	m ²	2015
Shoulder leveling	\$369.82	m	2015
Slab Replacement - PCC	\$1,814.45	m ²	2015

Tabla 87 Costos correctivo localizado

Preventivo Localizado			
Nombre	Precio Unitario	Unidad	Año
Calafateo	\$37.44	m	2015
Crack Sealing - AC	\$19.65	m	2015
Crack Sealing - PCC	\$28.89	m	2015
Joint Seal (Localized)	\$28.89	m	2015
Patching - AC Deep	\$2,947.04	m ²	2015
Patching - AC Leveling	\$907.22	m ²	2015
Patching - AC Shallow	\$982.35	m ²	2015
Patching - PCC Full Depth	\$3,698.24	m ²	2015
Patching - PCC Partial Depth	\$947.67	m ²	2015
Shoulder leveling	\$369.82	m	2015
Slab Replacement - PCC	\$1,814.45	m ²	2015

Tabla 88 Costos preventivo localizado

Preventivo Global			
Nombre	Precio Unitario	Unidad	Año
Descauche	\$4.28	m ²	2015
Desconchamiento	\$641.82	m	2015
Overlay - AC Thin (Global)	\$631.12	m ²	2015
Riego de Avidez	\$19.25	m ²	2015
Surface Seal - Coal Tar	\$288.82	m ²	2015
Surface Seal - Fog Seal	\$5.35	m ²	2015
Surface Seal - Rejuvenating	\$37.44	m ²	2015
Surface Treatment - Cape Seal	\$139.06	m ²	2015
Surface Treatment - Micro Surface	\$181.85	m ²	2015
Surface Treatment - Sand Tar	\$35.30	m ²	2015
Surface Treatment - Single Bitum.	\$96.27	m ²	2015
Surface Treatment - Slurry Seal	\$98.41	m ²	2015

Tabla 89 Costos preventivo Global

M&R Mayor			
Nombre	Precio Unitario	Unidad	Año
2 in Cold Mill & Overlay	\$733.87	m ²	2015
2 in overlay	\$681.86	m ²	2015
4 in overlay	\$1,271.27	m ²	2015
6 in overlay	\$1,617.98	m ²	2015
AC Surface Recycling - Cold	\$404.50	m ²	2015
AC Surface Recycling - Hot	\$566.29	m ²	2015
Complete Reconstruction - AC	\$1,019.10	m ²	2015
Complete Reconstruction - PCC	\$2,253.62	m ²	2015
New Construction - AC	\$915.08	m ²	2015
New Construction - PCC	\$2,047.67	m ²	2015
Overlay - AC Structural	\$818.24	m ²	2015
Overlay - AC Thin	\$589.41	m ²	2015
Reconstruccion Pavimento asfaltico	\$2,080.26	m ²	2015
Surface Course - AC	\$681.86	m ²	2015
Surface Course - Double Bitum.	\$1,051.69	m ²	2015
Surface Course - Porous Friction	\$658.75	m ²	2015
Surface Reconstruction - AC	\$784.95	m ²	2015
Surface Reconstruction - PCC	\$2,019.47	m ²	2015
Sustitución de losas	\$3,671.66	m ²	2015

Tabla 90 Costos M&R Mayor

Aeropuerto de San Luis Potosí

Correctivo Localizado			
Nombre	Precio Unitario	Unidad	Año
Calafateo en asfalto	\$118.77	m	2015
Bacheo profundo en asfalto	\$1,686.83	m ²	2015

Tabla 91 Costos correctivo localizado

Preventivo Localizado			
Nombre	Precio Unitario	Unidad	Año
Calafateo en asfalto	\$118.77	m	2015
Bacheo profundo en asfalto	\$1,686.83	m ²	2015

Tabla 92 Costos preventivo localizado

Preventivo Global			
Nombre	Precio Unitario	Unidad	Año
Descauche	\$2.85	m ²	2015
Riego Antiderrame	\$69.53	m ²	2015
Riego de Avidez	\$19.25	m ²	2015
Señalamiento del eje	\$10.35	m ²	2015
Señalamiento laterales	\$20.67	m ²	2015
Señalamiento total	\$31.07	m ²	2015
Tratamiento Superficial - Mortero	\$80.23	m ²	2015

Tabla 93 Costos preventivo Global

M&R Mayor			
Nombre	Precio Unitario	Unidad	Año
2 in Cold Mill & Overlay	\$119.34	m ²	2015
2 in overlay	\$78.74	m ²	2015
4 in overlay	\$157.49	m ²	2015
6 in overlay	\$236.24	m ²	2015
Reconstruccion Pavimento asfaltico	\$1,925.46	m ²	2015

Tabla 94 Costos M&R Mayor

Aeropuerto de Zihuatanejo

Correctivo Localizado			
Nombre	Precio Unitario	Unidad	Año
Crack Sealing - AC	\$94.21	m	2015
Crack Sealing - PCC	\$94.21	m	2015
Patching - AC Deep	\$87.08	m ²	2015
Patching - AC Shallow	\$40.43	m ²	2015
Slab Replacement - PCC	\$2,667.36	m ²	2015

Tabla 95 Costos correctivo localizado

Preventivo Localizado			
Nombre	Precio Unitario	Unidad	Año
Calafateo en asfalto	\$94.21	m	2015
Calafateo en concreto	\$94.21	m	2015
Bacheo profundo en CA	\$87.08	m ²	2015
Reemplazo de losas	\$2,667.36	m ²	2015

Tabla 96 Costos preventivo localizado

Preventivo Global			
Nombre	Precio Unitario	Unidad	Año
Desconchamiento	\$641.82	m	2015
Tratamiento Superficial - Mortero	\$96.27	m ²	2015
Riego de Avidez	\$19.25	m ²	2015
Rejuvenecedor	\$8.86	m ²	2015

Tabla 97 Costos preventivo Global

M&R Mayor			
Nombre	Precio Unitario	Unidad	Año
Reconstrucción total PCC	\$2,085.92	m ²	2015
Sustitución de losas	\$641.82	m ²	2015
Carpeta de 4 pulgadas	\$262.75	m ²	2015
Fresado de 2 plg y carpeta	\$371.85	m ²	2015

Tabla 98 Costos M&R Mayor

Capítulo 5. Calibración de los modelos de comportamiento de PCI para los diferentes aeropuertos

5.1 Descripción

Los modelos de predicción son herramientas poderosas que le permiten al ingeniero conocer la evolución de sus pavimentos. Este proceso comienza con asignarle un modelo de predicción a cada rama de la red de pavimentos a gestionar. En la creación de los modelos, los pavimentos son agrupados considerando aspectos comunes como construcción similar, sujetos a patrones similares de tránsito, clima y otros factores que afectan la vida de un pavimento. La información histórica acerca de la condición del pavimento puede ser usada para construir un modelo que pueda predecir acertadamente el comportamiento futuro de un grupo de pavimentos con atributos similares. En MicroPAVER, este modelo de la vida de un pavimento es conocido como una familia.

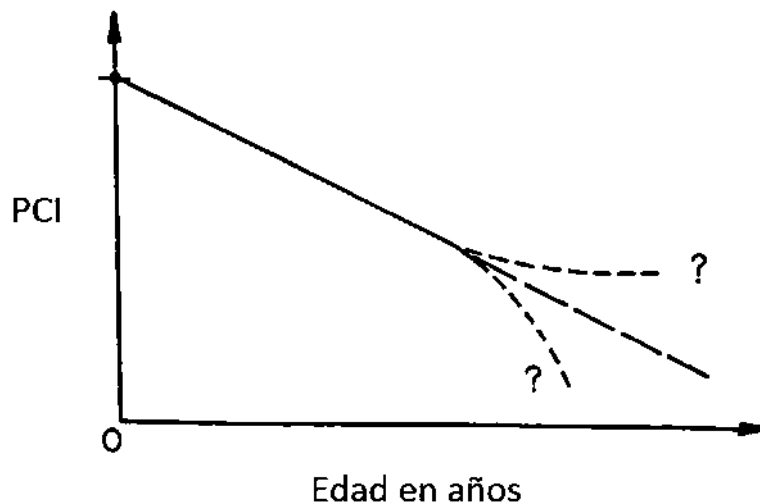


Figura 57 PCI - Edad del pavimento

A cada sección del pavimento se le asigna una familia. Cuando se desean realizar predicciones acerca de la vida futura del pavimento, su familia es usada para

crear el modelo de predicción. Si aún no se le ha asignado una familia a la sección, el programa usa una familia por default para crear el modelo de predicción. Es evidente que algunos factores como construcción original, mantenimiento, clima, y tránsito afectan significativamente la vida de un pavimento. Una suposición o asignación genérica a una familia es probable que no sea tan acertada como un modelo que sí tome estos factores a consideración. El modelo de predicción está diseñado para brindarles a los usuarios la posibilidad de combinar conocimiento único de sus pavimentos, información de condición local medida y herramientas de modelaje poderosas, todo junto para producir estimados altamente acertados de la vida futura de un pavimento.

La información acerca de diferentes condiciones de pavimento es crítico para realizar funciones de gestión. Las características del pavimento en gestión incluyen rugosidad, resistencia al deslizamiento, capacidad estructural y deterioros. Diferentes índices de condición han sido desarrollados por diferentes agencias para cuantificar estas características, por ejemplo el índice de rugosidad internacional (IRI). Algunos índices compuestos que involucran diferentes características como el PCI han sido usados con mucho éxito en sistemas de gestión. Si son desarrollados correctamente pueden ofrecer información indirecta acerca de la rugosidad, resistencia al deslizamiento e integridad estructural (no capacidad) debido a la relación que existe entre los diferentes tipos de deterioro y cada una de las características de condición.

Los modelos de predicción de condición del pavimento pueden ser usados tanto a nivel de red como a nivel de proyecto para analizar las condiciones y determinar los requerimientos de mantenimiento y rehabilitación. A nivel de red, los usos de los modelos de predicción incluyen predicción de la condición, planeación de presupuestos, programación de fechas de inspección y planeación de trabajo. Uno de los más importantes usos de modelos de predicción a nivel de red es llevar a cabo análisis “y si” para estudiar los efectos de diferentes presupuestos en condiciones futuras.

Los modelos de predicción son usados a nivel de proyecto para seleccionar alternativas específicas de rehabilitación para abordar expectativas de clima y tránsito. De hecho, los modelos de predicción ofrecen la información más acertada para realizar análisis de presupuestos y comparar las diferentes alternativas M&R.

Cuando se está planeando una M&R a nivel de red, la cuestión crítica es normalmente el nivel de M&R necesario. A nivel de proyecto, el cuidado especial está usualmente enfocado en las alternativas específicas de M&R incluyendo el diseño preliminar para cada alternativa. Por lo tanto, la precisión de la predicción es más importante para un análisis a nivel de proyecto que a nivel de red.

5.2 Modelos usados en MicroPAVER

Existen diferentes técnicas o modelos matemáticos para realizar los modelos que incluyen extrapolación lineal, regresión empírica, mecanismo empírico, la regla del polinomio restringido, curva tipo s, distribución de probabilidades y marcoviano.

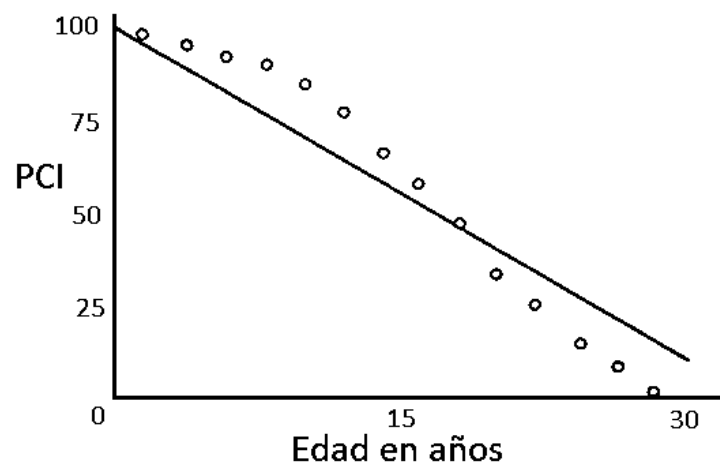


Figura 58 Datos de PCI

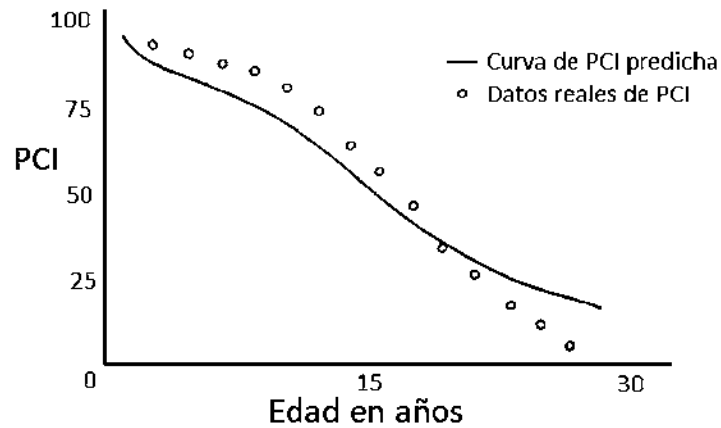


Figura 59 Curva característica

Un programa extensivo de investigación se llevó a cabo por el U.S. Army CERL en 1986 por Shahin y Nunez y el resultado fue el desarrollo de lo que se conoce como el Método de la Familia el cual consiste en los siguientes pasos principales:

1. **Definir la familia del pavimento.** Una familia de pavimentos es un grupo de secciones de pavimento con características de deterioro similares. El sistema MicroPAVER le permite al usuario definir una familia basada en algunos factores como uso, posición jerárquica, tipo de superficie, zona, categoría de sección, fecha de última construcción y PCI. La figura 60 muestra un ejemplo de una definición de familia usando 3 de los factores: uso, tipo de superficie y posición jerárquica. El usuario puede definir tantas familias como lo desee aunque la disponibilidad de información puede resultar en una limitante muy importante de considerar.

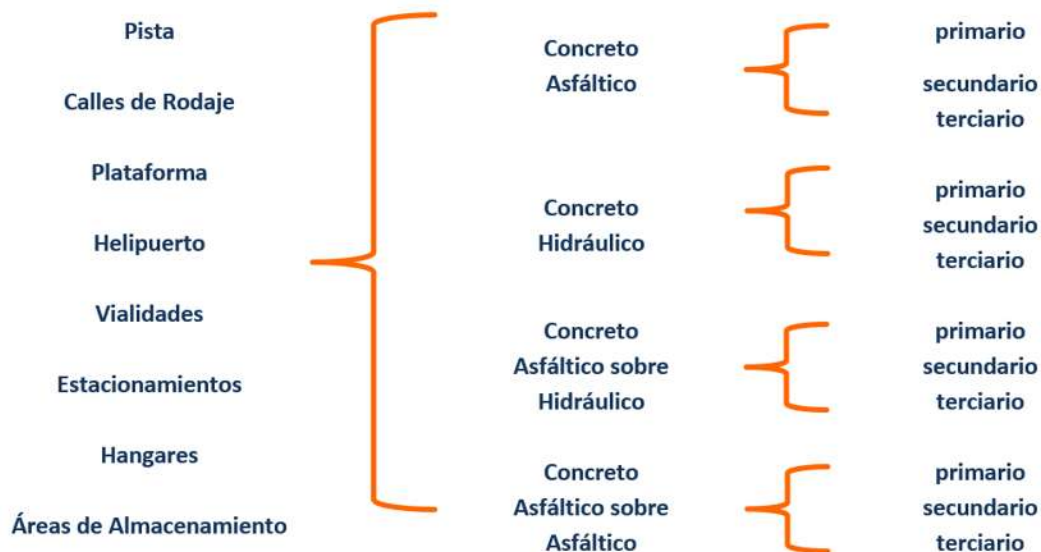


Figura 60 Definición de familia

1. **Filtrar la información.** En este paso, MicroPAVER le permite al usuario filtrar puntos de información que no sean considerados como necesarios. Primero que nada, la información es sorteada por número de identificación de sección de pavimento, edad y PCI. Si el PCI incrementa con la edad y el incremento es mayor a 20, el punto con el PCI más elevado es transferido a "error" y no es considerado. Esta acción indica uno de dos casos posibles: a) un error está presente en alguno de los récords o b) una rehabilitación mayor ha sido ejecutada entre dos inspecciones. Si una sección de pavimento de la misma edad es listada más de una vez y los PCIs son los mismos, solo una sección de pavimento es considerada. Si los PCIs son diferentes para la misma sección y edad, todos los casos son transferidos a "error". Una verificación posterior en información sospechosa de ser eliminada es llevada a cabo usando un conjunto de fronteras o curvas límite definidas por una condición mínima o máxima del estado del pavimento. El programa produce estas condiciones límite por default, aunque es tarea del ingeniero revisar que sean razonablemente correctas de acuerdo con el conocimiento empírico del comportamiento del pavimento. En las figuras 61 y 62 se muestra un ejemplo usando la familia de las calles de rodaje del Aeropuerto de Zihuatanejo

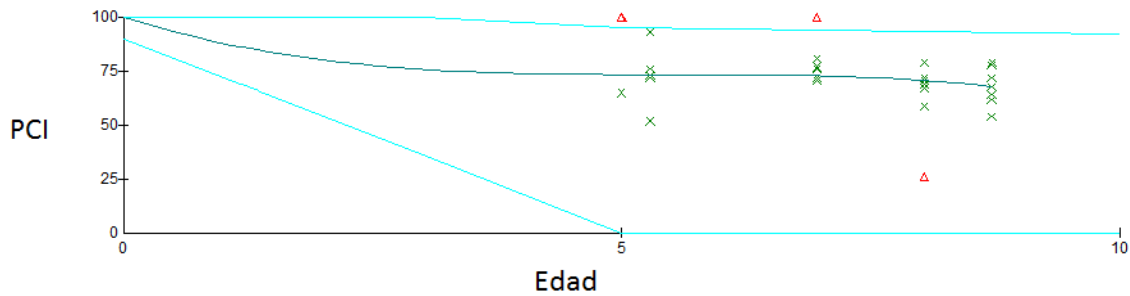


Figura 61 Ejemplo del resultado de filtración

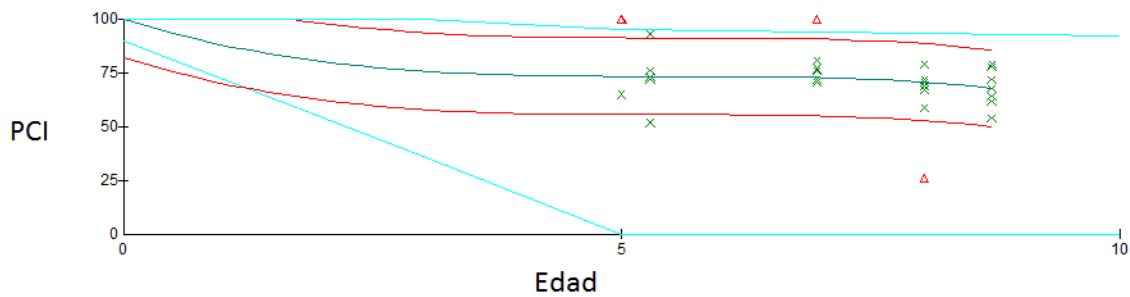


Figura 62 Ejemplo del resultado de la delimitación

2. **Llevar a cabo análisis de la información.** El procedimiento de filtrar información es útil para eliminar errores obvios en la información. Sin embargo, se requiere de una examinación más minuciosa de la información para remover algunos errores no tan obvios que puedan crear modelos poco erróneos. Este procedimiento se lleva a cabo en este paso y es muy importante realizarlo por lo anteriormente descrito. Por otro lado, MicroPAVER puede realizar un análisis estadístico que sea capaz de eliminar algunos de estos errores no tan obvios. El usuario tiene la opción de requerir en porcentaje la desviación estándar que más satisfaga sus criterios.
3. **Desarrollar el modelo de la familia.** Al estar modelando las curvas de comportamiento, el ingeniero debe ser capaz de discernir, entre varias opciones, las pequeñas sutilezas que modifiquen la curva modelo. El buen criterio es esencial en esta etapa de la gestión. Entre las diferentes opciones se encuentra la de seleccionar el grado del polinomio que abarque los diferentes puntos de información sin resultar excesivamente compleja. Un polinomio de cuarto grado resulta ser una buena opción como se muestra en la figura 63 que muestra como ejemplo el modelo de comportamiento y su respectivo polinomio de la pista del

Aeropuerto de San Luis Potosí. El programa MicroPAVER propuso un polinomio de cuarto grado para correlacionar los diferentes valores y se aprecia que el resultado es un modelo de comportamiento muy acertado. Existen valores muy lejanos a la curva que no son considerados ya que como se aprecia no parecen describir el estado real del pavimento. Este polinomio tiene como restricción la pendiente positiva, ya que un PCI nunca puede incrementar con el tiempo. Es importante mencionar que para predecir las condiciones futuras del pavimento en cuestión, la curva es extrapolada extendiendo una tangente con la misma pendiente que en los últimos años de la curva. No siempre se construye un polinomio de cuarto grado. Hay casos, como se verán más adelante en algunos pavimentos de los aeropuertos, que el polinomio incluso es una recta. Todo depende del deterioro que sufra cada pavimento para asignársele el grado del polinomio que lo describirá.

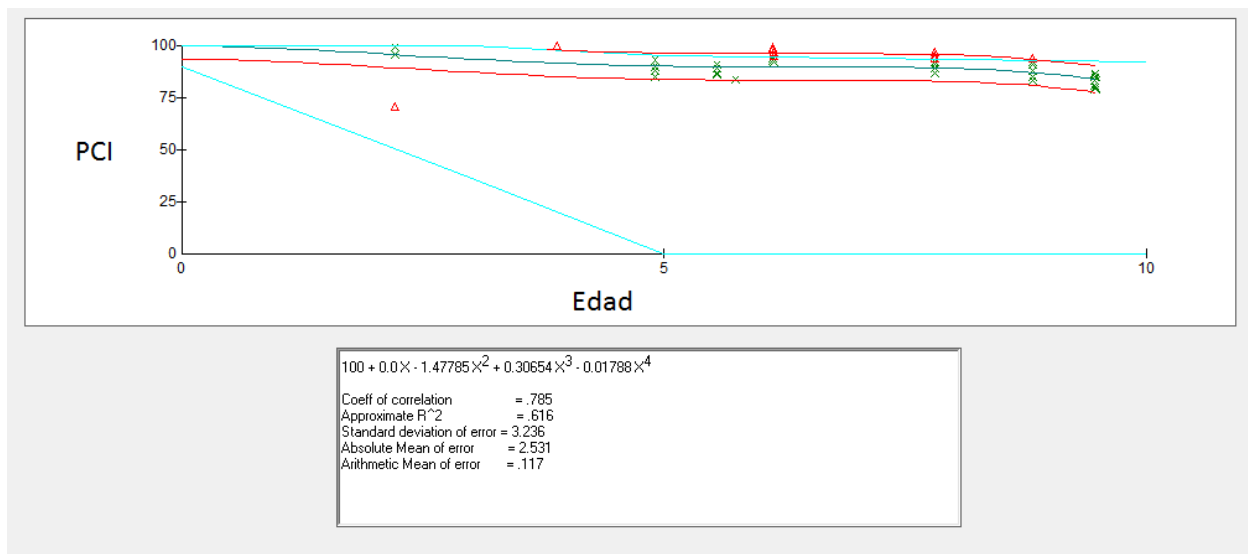


Figura 63 Modelo de predicción y su ecuación

4. **Predecir la condición del pavimento en una determinada sección.** La predicción del PCI a nivel de sección usa la curva del modelo predictivo asignado a la familia del pavimento. La función de predicción para una familia de pavimentos representa un comportamiento promedio de todas las secciones de esa familia. Es importante recordar que una familia es asignada a una rama de la red. La predicción para cada sección es realizada al definir su posición relativa a la curva

de predicción de la familia asignada. Se asume que el deterioro de todas las secciones que componen la familia o rama de pavimentos tiene un comportamiento similar y es función del polinomio y el estado de condiciones presentes sin importar la edad del pavimento. Esto quiere decir que hay congruencia entre la variación de la condición del pavimento en dos secciones diferentes de una misma familia en determinado tiempo, si el deterioro fuera más acelerado en una sección que en otra de una misma familia entonces la asignación en el inventario debe ser reconsiderada a ser sujeta de alguna modificación que nos permita asignar familias más modeladoras de la condición actual de los pavimentos.

La comparación de una sección al deterioro de toda la familia provee de invaluable información y retroalimentación al ingeniero acerca de mantenimiento, tránsito, drenaje, y otros factores que afectan el comportamiento del pavimento. Este tipo de retroalimentación es invaluablemente útil como una guía para revisar los procedimientos del diseño de espesor del pavimento. El método de la familia fue desarrollado de manera que cuando más información sea incorporada a la base de datos del programa exista una actualización continua del modelo de deterioro.

Este método fue diseñado para para usarse con MicroPAVER y predecir la relación entre el PCI y el tiempo. Sin embargo, si el método se lleva a cabo cuidadosamente, el concepto puede predecir otras medidas de condición.

El programa MicroPAVER tiene la capacidad de realizar las familias de una manera muy sencilla, el trabajo del ingeniero es verificar que los modelos obtenidos correspondan de una manera congruente con lo que se conoce acerca del pavimento.

Tras haber estudiado estos conceptos fundamentalmente importantes, se llevó a cabo la tarea de asignar a cada rama de los tres aeropuertos en cuestión su correspondiente familia de modelos de predicción los resultados se muestran a continuación. Cabe mencionar que el criterio de verificación se realizó exclusivamente

para el presente trabajo al verificar que las curvas de los modelos de predicción de las familias fueran congruentes con los resultados.

5.3 Modelos de predicción en los aeropuertos

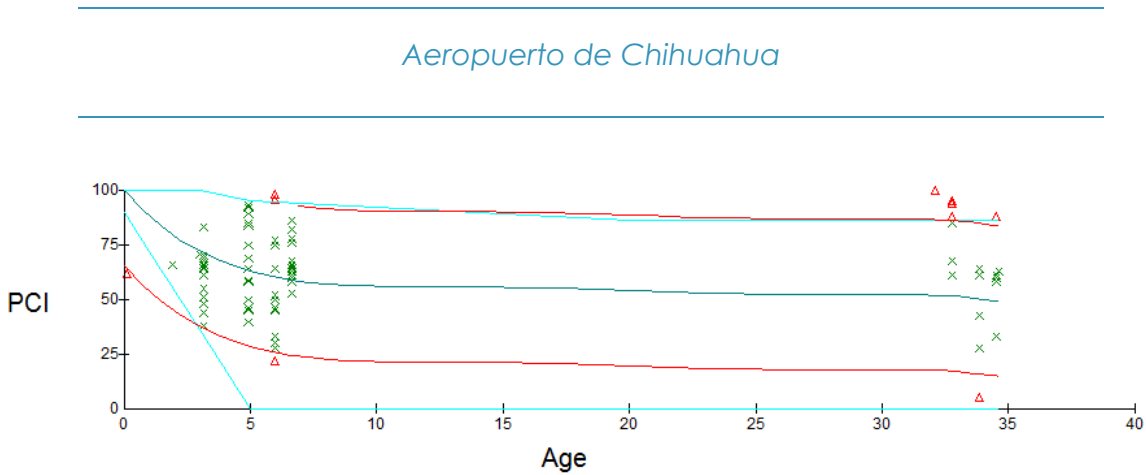


Figura 64 Modelo de predicción en calles de rodaje

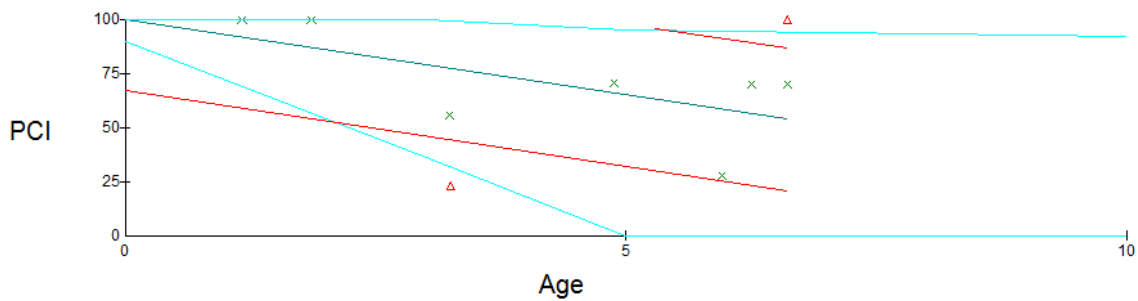


Figura 65 Modelo de predicción en estacionamientos

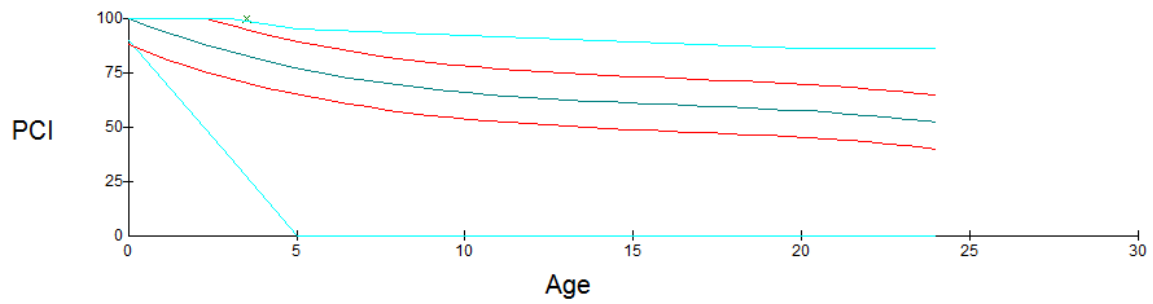


Figura 66 Modelo de predicción en helipuerto

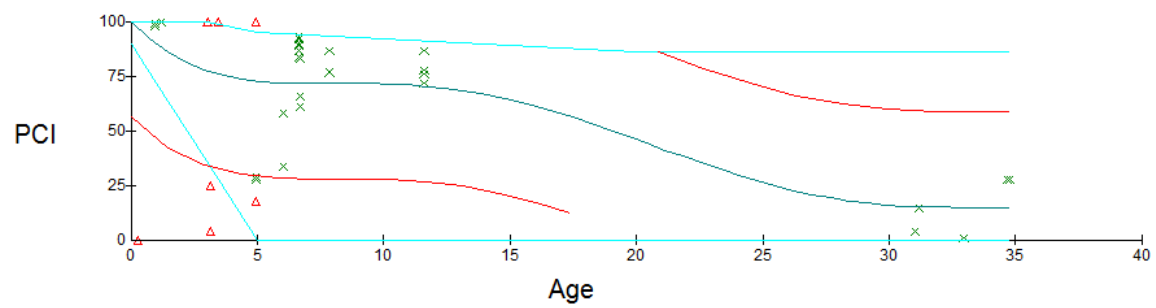


Figura 67 Modelo de predicción en pistas

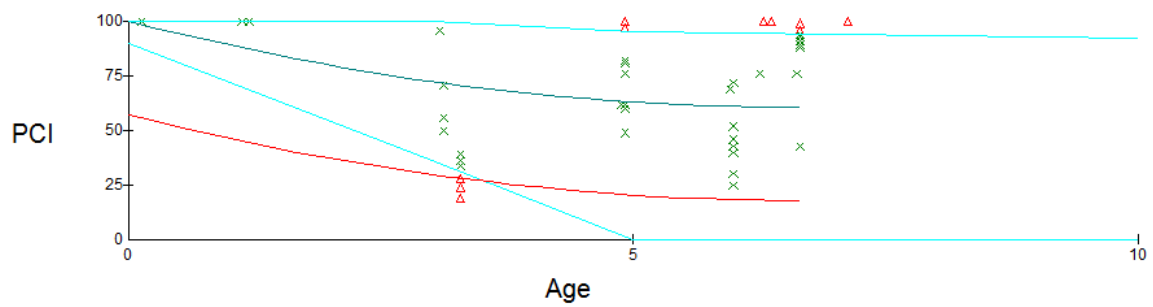


Figura 68 Modelo de predicción en plataforma

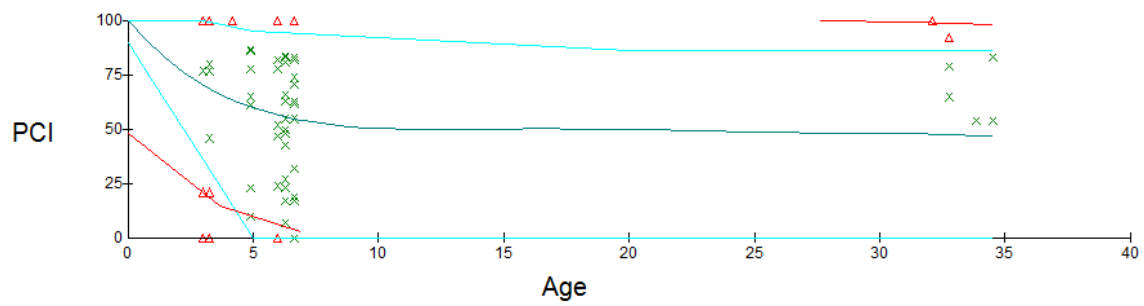


Figura 69 Modelo de predicción en vialidades

Aeropuerto de San Luís Potosí

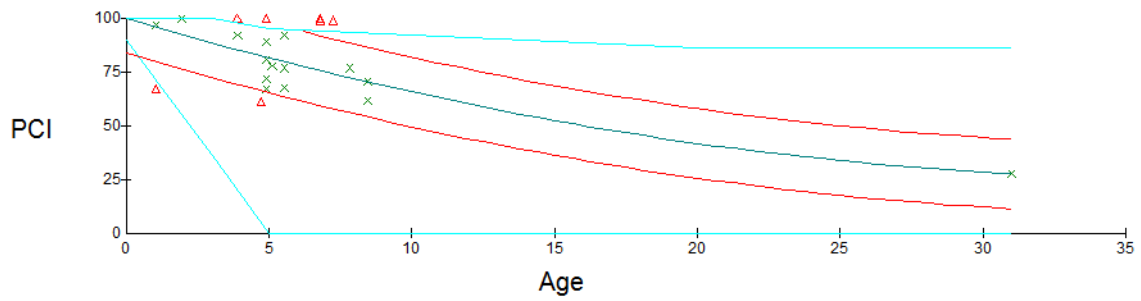


Figura 70 Modelo de predicción en calles de rodaje

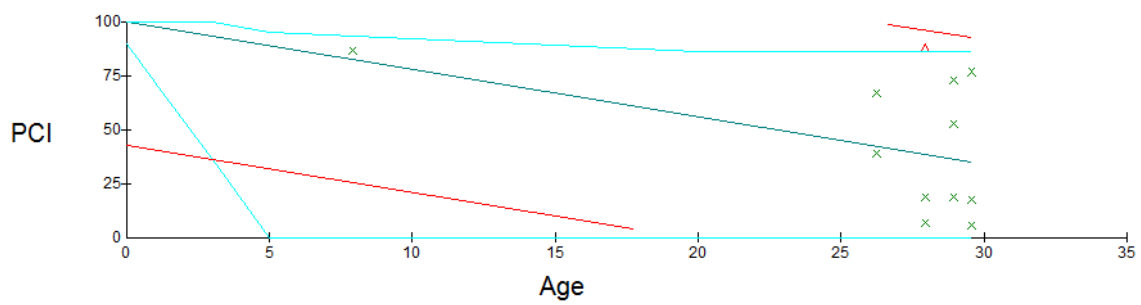


Figura 71 Modelo de predicción en estacionamientos

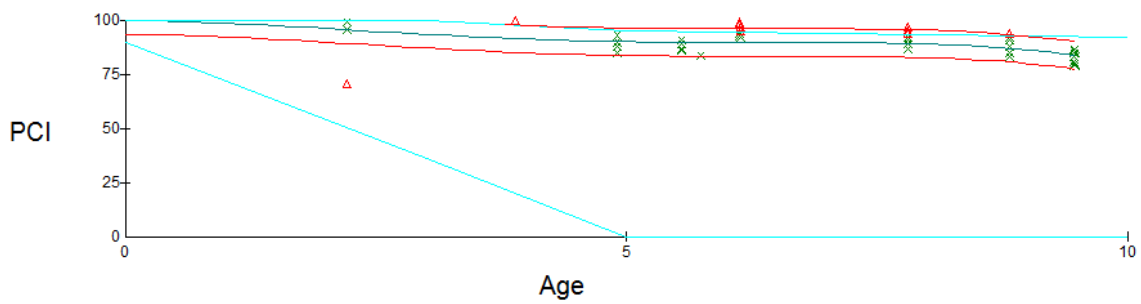


Figura 72 Modelo de predicción en pistas

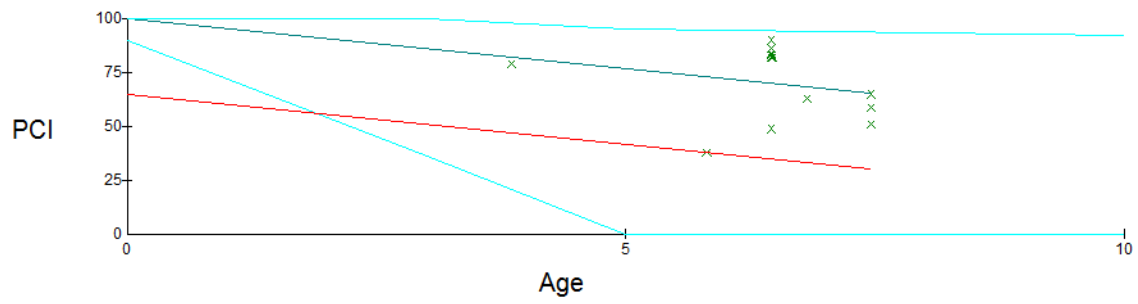


Figura 73 Modelo de predicción en plataforma

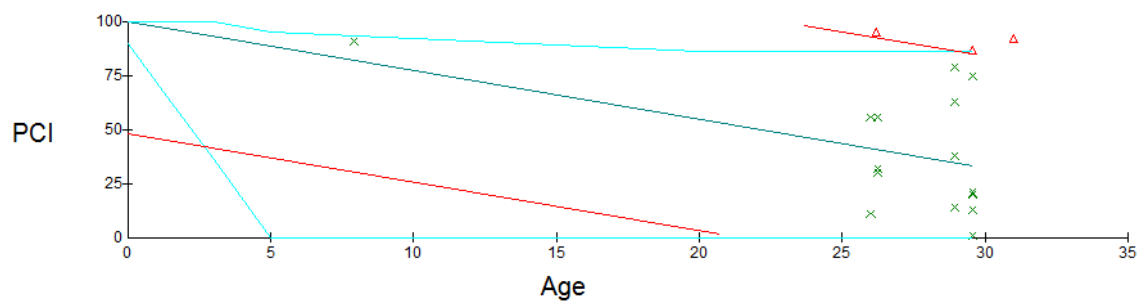


Figura 74 Modelo de predicción en vialidades

Aeropuerto de Zihuatanejo

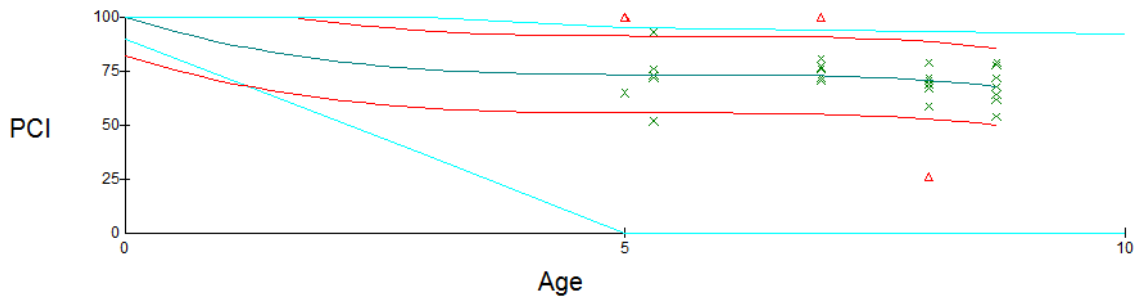


Figura 75 Modelo de predicción en calles de rodaje

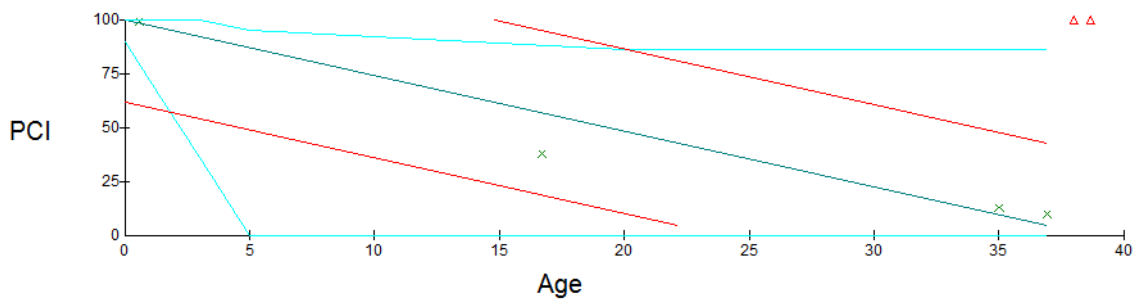


Figura 76 Modelo de predicción en estacionamientos

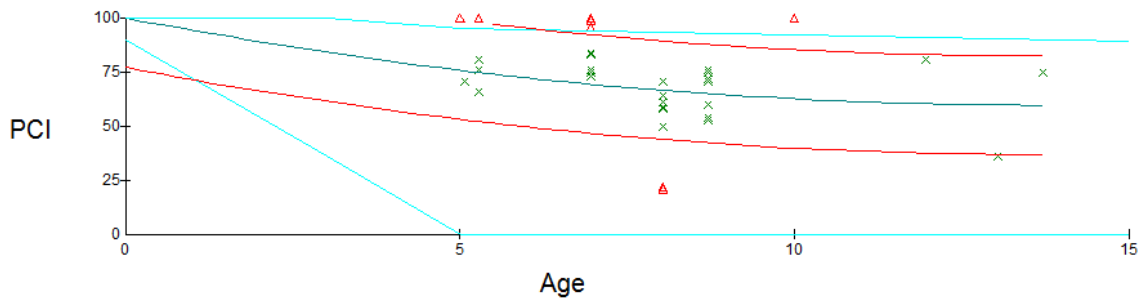


Figura 77 Modelo de predicción en plataforma

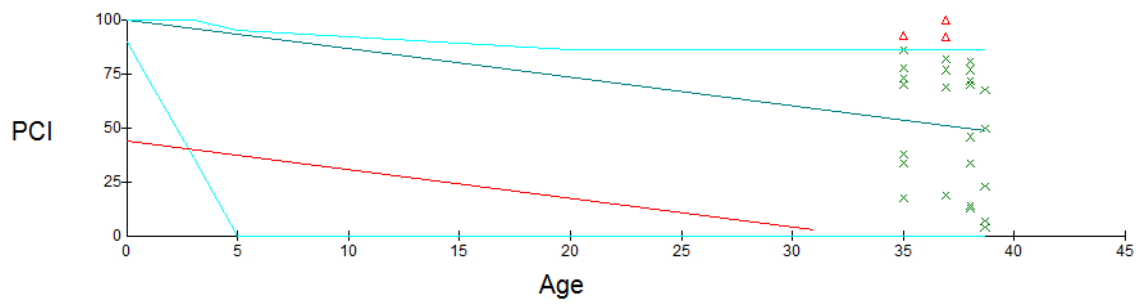


Figura 78 Modelo de predicción en vialidades

Conclusiones

Es importante tener información de las obras M&R de manera ordenada para dar seguimiento a un sistema de gestión de pavimentos.

Los hábitos de las prácticas M&R que son implementadas en México son susceptibles de mejora. Como ya se vio en el subcapítulo 3.2, el registro de las obras M&R que se realizan en los aeropuertos no está diseñado para el sistema de gestión, sino que hacen falta datos por especificar; la ausencia de éstos repercute en la planeación de programas M&R, haciendo los planes menos eficientes.

En cuanto al sistema de costos, se ha tenido que hacer el ajuste de las tablas de costos utilizando el concepto de inflación y sustituyéndolos en los archivos del programa en lugar de la información de cotizaciones reales. Son muchos los valores que se tuvieron que derivar en base a otros costos, por lo que se establece que para el seguimiento de un sistema de gestión es importante dedicar recursos humanos a la investigación de mercado para la actualización de costos anualmente.

Aunado a lo anterior, es importante indicar que cuando se hagan obras M&R también se debe detallar más la información de las mismas, como espesores, material de construcción y lugar específico de la obra. Es importante entonces generar una base de datos diseñada con la información requerida por el sistema de gestión para introducirse de manera directa en el programa MicroPAVER. La calibración del sistema de gestión de pavimentos ayuda a que los resultados del programa sean más precisos.

Por otro lado, el sistema de gestión de pavimentos ayuda a determinar el impacto de las obras de mantenimiento. En el capítulo 3 se observó con ejemplos reales la capacidad de las herramientas con las que ahora cuenta el ingeniero, las cuales, principalmente, permiten conocer más detalladamente las condiciones en las que se encuentran los pavimentos y realizar diferentes análisis para comparar planes de trabajo para así decidir el mejor. MicroPAVER permite al ingeniero realizar una labor más competitiva y brindar un mejor servicio apoyándose en diversas ayudas como las que ya se mencionaron.

Se vio satisfactoriamente que la gestión es una pieza fundamental de la ingeniería, y se concluye así la marcada importancia de la implementación de un sistema de gestión de pavimentos, recordando y reiterando que entre más deteriorado esté un pavimento, la aceleración de su deterioro será mayor. Los resultados de los análisis hechos en los aeropuertos de Chihuahua San Luis Potosí y Zihuatanejo, permitieron demostrar claramente este comportamiento, tal como se muestra en la figura 79, donde puede apreciarse la labor fundamental de un sistema de gestión, es decir, la caída abrupta del PCI de un pavimento debe identificarse antes de sufrir serias consecuencias. Esta labor es evidentemente más fácil si se tiene la ayuda de un sistema de gestión de pavimentos.

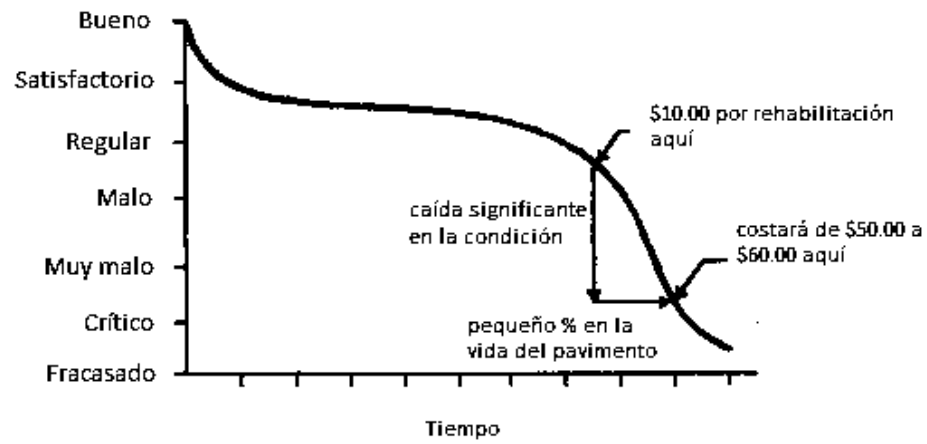


Figura 79 Importancia de un Sistema de gestión en pavimentos

Índice de tablas

Tabla 1 Comparación entre Flyer 1 y Airbus A380.....	20
Tabla 2 Entradas y salidas de HDM-III	30
Tabla 3 Deterioros en pavimentos flexibles y rígidos	43
Tabla 4 Aeropuerto de Chihuahua - Estacionamientos.....	64
Tabla 5 Aeropuerto de Chihuahua - Vialidades.....	66
Tabla 6 Aeropuerto de Chihuahua - Helipuerto	67
Tabla 7 Aeropuerto de Chihuahua - Pistas.....	68
Tabla 8 Aeropuerto de Chihuahua - Plataforma	69
Tabla 9 Aeropuerto de Chihuahua - Rodajes	71
Tabla 10 Aeropuerto de San Luis Potosí - Pista	72
Tabla 11 Aeropuerto de San Luis Potosí - Plataforma	73
Tabla 12 Aeropuerto de San Luis Potosí - Rodajes.....	74
Tabla 13 Aeropuerto de San Luis Potosí - Vialidades	75
Tabla 14 Aeropuerto de San Luis Potosí - Estacionamientos.....	76
Tabla 15 Aeropuerto de Zihuatanejo - Pista	77
Tabla 16 Aeropuerto de Zihuatanejo - Plataforma	78
Tabla 17 Aeropuerto de Zihuatanejo - Rodajes.....	79
Tabla 18 Aeropuerto de Zihuatanejo - Estacionamientos.....	79
Tabla 19 Aeropuerto de Zihuatanejo - Vialidades	80
Tabla 20 Asignación de montos correspondientes.....	83
Tabla 21 División de monto en 3 ramas del aeropuerto SLP.....	84
Tabla 22 Obras en pista principal	85
Tabla 23 Obras en pista principal	86
Tabla 24 Asignación de tratamiento	86
Tabla 25 Costos de tratamientos preventivo local en 2013, aeropuerto de Chihuahua	87
Tabla 26 de costos actualizada (marzo, 2015)	88
Tabla 27 Tratamiento en pista principal.....	88
Tabla 28 Riego de taponamiento en calles de rodaje	89
Tabla 29 Riego de niebla en pista 18D - 36L.....	89
Tabla 30 Colocación de carpeta en pista principal	90
Tabla 31 Rehabilitación de márgenes en la pista	91
Tabla 32 Suministro de riego de taponamiento en plataforma comercial.....	91
Tabla 33 Rehabilitación de plataforma de aviación comercial norte	92
Tabla 34 Rehabilitación de plataforma de aviación comercial sur	92
Tabla 35 Suministro y aplicación de mortero a rodaje Charly	93
Tabla 36 Suministro y aplicación de mortero a rodaje Delta	93
Tabla 37 Suministro y aplicación de mortero a rodaje Alfa	94
Tabla 38 Rehabilitación de pista secundaria paralela	94
Tabla 39 Suministro y colocación de mortero a pista auxiliar	94
Tabla 40 Suministro y aplicación de mortero a rodaje Alfa	95
Tabla 41 Suministro y aplicación de mortero a pista principal 18L - 36R.....	95
Tabla 42 Suministro y aplicación de mortero a plataforma comercial	95
Tabla 43 Rehabilitación de la pista secundaria 18D - 36L.....	96

Tabla 44 Rehabilitación de plataforma comercial	97
Tabla 45 Rehabilitación en rodajes en plataforma.....	97
Tabla 46 Rehabilitación de vialidades exteriores y estacionamiento público	99
Tabla 47 Reconstrucción de calle de rodaje.....	99
Tabla 48 Nivelación de hombros	99
Tabla 49 Sobrecarpeta en pista secundaria.....	100
Tabla 50 Sobrecarpeta en vialidades	100
Tabla 51 Mortero en pista secundaria.....	100
Tabla 52 Mortero en calles de rodaje	101
Tabla 53 Sustitución de losas en calles de rodaje	103
Tabla 54 Sustitución de losas en plataforma de aviación comercial	103
Tabla 55 Sustitución de losas en calles de rodaje	103
Tabla 56 Sustitución de losas en plataforma de aviación comercial	104
Tabla 57 Sustitución de losas en calles de rodaje	104
Tabla 58 Sustitución de losas en plataforma de aviación comercial	104
Tabla 59 Sustitución de losas en calles de rodaje	105
Tabla 60 Sustitución de losas en plataforma de aviación comercial	105
Tabla 61 Nivelación de hombros en calles de rodaje y plataforma.....	105
Tabla 62 Sustitución de losas en calles de rodaje	106
Tabla 63 Sustitución de losas en plataforma de aviación comercial	106
Tabla 64 Nivelación de hombros en calles de rodaje	107
Tabla 65 Sustitución de losas en calles de rodaje	107
Tabla 66 Sustitución de losas en plataforma de aviación comercial	107
Tabla 67 Comparación de presupuestos	112
Tabla 68 Inflación en años pasados.....	112
Tabla 69 Diferencia de presupuestos considerando inflación	113
Tabla 70 Diferencia de archivo no calibrado y otro calibrado	113
Tabla 71 Diferencia de presupuestos considerando inflación	119
Tabla 72 Inversión en ZIH en 2013.....	119
Tabla 73 Inversión en ZIH, 2013	119
Tabla 74 Diferencia de inversión necesaria	120
Tabla 75 Costos correctivo localizado	126
Tabla 76 Costos preventivo localizado	126
Tabla 77 Costos preventivo local	127
Tabla 78 Costos M&R Mayor	127
Tabla 79 Costos correctivo localizado	128
Tabla 80 Costos preventivo localizado	128
Tabla 81 Costos preventivo local	128
Tabla 82 Costos M&R Mayor	128
Tabla 83 Costos correctivo localizado	129
Tabla 84 Costos preventivo localizado	129
Tabla 85 Costos preventivo local	129
Tabla 86 Costos M&R Mayor	129
Tabla 87 Costos correctivo localizado	132

Tabla 88 Costos preventivo localizado	132
Tabla 89 Costos preventivo Global.....	133
Tabla 90 Costos M&R Mayor	133
Tabla 91 Costos correctivo localizado	134
Tabla 92 Costos preventivo localizado	134
Tabla 93 Costos preventivo Global.....	134
Tabla 94 Costos M&R Mayor	134
Tabla 95 Costos correctivo localizado	135
Tabla 96 Costos preventivo localizado	135
Tabla 97 Costos preventivo Global.....	135
Tabla 98 Costos M&R Mayor	135

Índice de figuras

Figura 1 Principales pavimentos en un aeropuerto	19
Figura 2 RESA	21
Figura 3 OFZ	21
Figura 4 Zona de parada	21
Figura 5 Relación tiempo - PCI	27
Figura 6 Menú principal de MicroPAVER	36
Figura 7 Interfaz de Inventario	37
Figura 8 Interfaz de Trabajos Realizados	39
Figura 9 Uso de PCI.....	40
Figura 10 Inspecciones visuales.....	41
Figura 11 Deflectómetro de impacto.....	41
Figura 12 Perfilómetro	42
Figura 13 Mu Meter.....	42
Figura 14 Formato para inspección de pavimentos asfálticos lado aire	45
Figura 15 Niveles de severidad para grietas longitudinales y transversales	47
Figura 16 Formato para inspección de pavimentos rígidos lado aire.....	48
Figura 17 Interfaz de registro de PCI.....	50
Figura 18 Interfaz de Reporte	50
Figura 19 Modelo de predicción.....	52
Figura 20 Interfaz de análisis de condiciones.....	53
Figura 21 Aeropuertos operados por OMA	55
Figura 22 Pavimentos principales del Aeropuerto de Chihuahua.....	56
Figura 23 Plano de pavimentos acorde al tipo de pavimento en CUU	57
Figura 24 Pavimentos principales del Aeropuerto de San Luis Potosí.....	58
Figura 25 Plano de pavimentos acorde al tipo de pavimento en SLP.....	59
Figura 26 Pavimentos principales del Aeropuerto de Zihuatanejo	60
Figura 27 Plano de pavimentos acorde al tipo de pavimento en ZIH	61
Figura 28 interfaz de PCI.....	63
Figura 29 información ordenada	81
Figura 30 Uso de colores para celdas	81
Figura 31 Mezcla de conceptos	82
Figura 32 Rodajes en CUU	96
Figura 33 Reporte de condiciones en CUU	96
Figura 34 Obras en aeropuerto de Zihuatanejo	102
Figura 35 Colores representativos de condición de pavimento.....	108
Figura 36 PCI Global de CUU en 2013	108
Figura 37 PCI Global de CUU en 2014	108
Figura 38 Plan M&R basado en archivo no calibrado.....	110
Figura 39 Plan M&R basado en archivo calibrado	111
Figura 40 Tendencia de inflación por extrapolación.....	112
Figura 41 PCI Global de SLP en 2013	114
Figura 42 PCI Global de SLP en 2014	114

Figura 43 Plan M&R basado en archivo no calibrado.....	115
Figura 44 Plan M&R basado en archivo calibrado	115
Figura 45 PCI Global de ZIH en 2013.....	117
Figura 46 PCI Global de ZIH en 2014.....	117
Figura 47 Plan M&R basado en archivo no calibrado.....	118
Figura 48 Plan M&R basado en archivo calibrado	118
Figura 49 Tablas de costos en menú principal.....	121
Figura 50 Tipo de trabajo	122
Figura 51 Tabla de costo por tipo de trabajo	122
Figura 52 Tabla por políticas de mantenimiento de deterioros	123
Figura 53 Consecuencia de políticas de mantenimiento.....	123
Figura 54 Tabla de costo por condición	124
Figura 55 Tabla de familias M&R	124
Figura 56 Calculadora de Inflación de INEGI	131
Figura 57 PCI - Edad del pavimento.....	136
Figura 58 Datos de PCI	138
Figura 59 Curva característica	139
Figura 60 Definición de familia	140
Figura 61 Ejemplo del resultado de filtración	141
Figura 62 Ejemplo del resultado de la delimitación	141
Figura 63 Modelo de predicción y su ecuación.....	142
Figura 64 Modelo de predicción en calles de rodaje	144
Figura 65 Modelo de predicción en estacionamientos	144
Figura 66 Modelo de predicción en helipuerto	145
Figura 67 Modelo de predicción en pistas	145
Figura 68 Modelo de predicción en plataforma.....	145
Figura 69 Modelo de predicción en vialidades.....	146
Figura 70 Modelo de predicción en calles de rodaje	147
Figura 71 Modelo de predicción en estacionamientos	147
Figura 72 Modelo de predicción en pistas	147
Figura 73 Modelo de predicción en plataforma.....	148
Figura 74 Modelo de predicción en vialidades.....	148
Figura 75 Modelo de predicción en calles de rodaje	149
Figura 76 Modelo de predicción en estacionamientos	149
Figura 77 Modelo de predicción en plataforma.....	149
Figura 78 Modelo de predicción en vialidades.....	150
Figura 79 Importancia de un Sistema de gestión en pavimentos	152

Bibliografía

- Aguilera, F. E. (2008). *En Pleno Vuelo*. México D.F., México: Porrúa. Recuperado el septiembre de 2014
- ASA. (21 de mayo de 2014). *asa.gob.mx*. Recuperado el 13 de marzo de 2015, de <http://www.asa.gob.mx/es/ASA/Historia>
- ASTM INTERNATIONAL. (Junio de 2010). ASTM INTERNATIONAL. West Conshohocken, Pensilvania, Estados Unidos. Recuperado el Septiembre de 2012
- ASUR. (2013). *asur.com.mx*. Recuperado el 14 de febrero de 2015, de <http://www.asur.com.mx/es/conoce-asur/historia.html>
- E. J. Yoder, M. W. (1975). *Principles of Pavement Design* (Second Edition ed.). (J. W. Sons, Ed.) Estados Unidos. Recuperado el Febrero de 2015
- GAP. (2015). *aeropuertogap.com.mx*. Recuperado el 23 de febrero de 2015, de <https://www.aeropuertogap.com.mx/es/>
- Huang, Y. H. (2004). *Pavement Analysis and Design*. United States of America: Pearson Prentice Hall.
- INEGI. (noviembre de 2013). *inegi.org.mx*. Recuperado el 26 de febrero de 2015
- Nicholas J. Garber, L. A. (2005). *Ingeniería de Tránsito y Carreteras 3a. ed.* (V. G. Raúl Arriola, Trad.) México: Thomson. Recuperado el febrero de 2015
- OACI. (Julio de 2004). *Aeródromos. Anexo 14 al Convenio sobre Aviación Civil Internacional, I(4)*. Obtenido de <http://idbdocs.iadb.org/wsdocs/getdocument.aspx?docnum=38691888>
- OMA. (2014). *oma.aero*. Recuperado el 18 de marzo de 2015, de <http://www.oma.aero/es/somos/>
- Shahin, M. Y. (2005). *Pavement Management for Airports, Roads and Parking Lots*. New York: Springer.
- Solminihaç, H. d. (1998). *Gestión de Infraestructura Vial*. Chile: Ediciones Universidad Católica de Chile.
- Suplementos Corporativos. (2014). *aicmaniversario.com*. Recuperado el 7 de marzo de 2015, de <http://www.aicmaniversario.com/2013/01/breve-historia-del-aicm/>
- Villalaz, I. C. (1980). *Vías de Comunicación Caminos, Ferrocarriles, Aeropuertos, Puentes y Puertos*. México D.F., México: Limusa. Recuperado el Enero de 2015
- Winchester, J. (2007). *The Timeline of Aviation*. China: Thunder Bay Press. Recuperado el Marzo de 2010

Yamada, A. (abril de 1999). *fs.fed.us*. Recuperado el 21 de noviembre de 2014, de <http://www.fs.fed.us/eng/pubs/html/99771201/99771201.htm#COAL>