

PROPUESTA DE SISTEMA DE GESTIÓN DE PAVIMENTOS PARA MUNICIPALIDADES Y GOBIERNOS LOCALES

PROPOSAL FOR MUNICIPALITIES AND LOCAL GOVERNMENTS PAVEMENT MANAGEMENT SYSTEMS

Fecha de recepción: 14 de mayo de 2014

Fecha de aprobación: 08 de agosto de 2014

Ing. Andrés Sotil Chávez, Ph.D., P.E.
SAYS Ingeniería SAC, Perú
andressotil@hotmail.com

RESUMEN

La presente ponencia presenta una propuesta de Sistema de Gestión de Pavimentos (SGP, Pavement Management System – PMS) para municipalidades o gobiernos locales con bajos recursos y que del cual se puede proseguir a una mayor sofisticación.

La ponencia tiene como objetivo el proponer a las jurisdicciones respectivas la metodología que le permita abandonar las decisiones de reparación basadas en política (presión popular, reclamos), para pasar a un sistema objetivo, racionalizado y programado con base probabilística y estocástica, basada en evaluaciones funcionales y de confortabilidad.

Una vez que el programa de SGP se establece, se propone la metodología para que las jurisdicciones respectivas construyan una base de datos histórica que permitan dar el salto a metodologías empíricas propias, que luego nos permitan, apropiadamente direccionados, dar el salto a largo plazo a métodos mecánicos y empíricos.

Este trabajo propone un ejemplo aplicativo producido y que podría ser utilizado como guía por otras jurisdicciones. Mas aún, puede ser tomado como el inicio para la elaboración y posterior implementación de un manual nacional para la Gestión de Pavimentos en el país.

PALABRAS CLAVES: gestión; pavimentos; municipales; bajos recursos

ABSTRACT

The following paper provides a proposal for a Pavement Management System for municipalities and/or local government with low funds, and from which a further sophistication can take place.

The paper has the main objective of proposing to the respective jurisdictions a methodology that allows abandon the maintenance practices based on politics (local pressures, claims), to convert it into a more objective,

rationalized and programmed probabilistic/stochastic methodology, based on serviceability and functional evaluations.

Once the PMS is established, it is proposed that the jurisdictions start building a historic database so that they can jump towards an empiric methodology of their own, that eventually will allow the future implementation of mechanistic-empiric methodologies.

This paper provides an applicative example that can be used as an example by other jurisdictions. Even more, it can be taken as the starting point for the preparation and later implementation of a national manual for the country's PMS.

KEY WORDS: PMS; municipal; local; low funds.

SITUACIÓN DE LOS CAMINOS EN EL PERÚ

Al 2012, el Ministerio de Transportes y Comunicación (MTC) del Perú (1) reportó que la red vial nacional bajo su administración, tenía las siguientes condiciones:

- 26 017.07 km de carreteras (100%)
- 12 444.93 km de carreteras pavimentadas (48%)
- 11 150.91 km de carreteras no pavimentadas (43%)
- 2 421.23 km de carreteras en proyecto (9%)

Ampliando la visión de carreteras, la DGCF (Dirección General de Caminos y Ferrocarriles) del MTC indica que el SINAC (Sistema Nacional de Carreteras) está conformado como se muestra en la Tabla 1, con un total de 137 327 km de vías nacionales (de las cuales 10 314 km están en fase de proyecto).

Tabla 1. Sistema Nacional de Carreteras (SINAC) (1)

Red Vial	Número de rutas	Pavimentadas		No Pavimentadas		Sub Total Existentes		En Proyecto	Total
		km	%	km	%	km	%	km	%
Nacional (*)	116	12 445	53	11 151	47	23 596	100	2 421	26 017
Departamental o Regional	386	1 493	7	21 300	93	22 793	100	6 050	28 843
Vecinal o Rural	4 650	624	1	80 000	99	80 624	100	1 843	82 467
Total	5 152	14 562	11	112 451	89	127 013	100	10 314	137 327

* Actualización del Inventario Básico de las Rutas de la Red Vial Nacional del SINAC - Julio 2011 - R.M. N° 618-2011-MTC/02

Como se puede observar, 1 493 km de vías regionales/ departamentales están pavimentados, mientras que solo 624 km de vías vecinales o rurales se encuentran pavimentados. A nivel nacional esto suma un bajísimo 11% de vías pavimentadas en el Perú, y un altísimo 89% que aun requieren ser pavimentados. Y más aún, bajo la jurisdicción vecinal/rural el porcentaje es de 1% pavimentado vs. 99% pavimentado para los 80 624 km de vías.

A nivel nacional las vías están siendo concesionadas a empresas privadas, tanto para su explotación y mejora, como para el mantenimiento por niveles de servicio y su posterior mejora. Alrededor de 18 000 km del SINAC están concesionadas y 109 000 kms tienen administración estatal, siendo en su gran mayoría vías de la red vecinal o rural (2, 3, 4).

Tabla 2. Referencia del Estado Vial, según la Rugosidad (10)

	Pavimentadas	No Pavimentadas
Estado	Rugosidad	Rugosidad
Bueno	0 < IRI < 2.8	IRI < 6
Regular	2.8 < IRI < 4.0	6 < IRI < 8
Malo	4.0 < IRI < 5.0	8 < IRI < 10
Muy Malo	5 > IRI	10 > IRI

Es importante mencionar que estas cantidades están bajo la jurisdicción del MTC. Los pavimentos urbanos (aquellos en ciudades y poblaciones) están bajo la jurisdicción del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS) y un resumen similar al del MTC no se pudo encontrar en su página de internet (5) o alguna publicación similar. Sin embargo, se puede estimar que se tienen 65 000 km-carril, o cerca de 130 000 km lineales (asumiendo calles de al menos 2 carriles, uno para cada dirección), bajo la administración de gobiernos municipales

distritales y provinciales. Las condiciones de estas vías son desconocidas pero se tienen desde vías pavimentadas nuevas hasta vías afirmadas y trochas carrozables.

Así, se estima que bajo jurisdicción vecinal o local, sea en el ámbito del MTC o del MVCS, el Estado Peruano tiene la administración de alrededor de 239 000 km.

LOS MANUALES EN EL ÁREA DE PAVIMENTOS EN EL PERÚ

Existen manuales publicados por el MTC (6) y por el MVCS (7) ambos en sus respectivas jurisdicciones. Así, por ejemplo, existen manuales (8, 9) que establecen que la superficie de rodadura puede ser clasificada “en función de ciertos criterios sobre los elementos y condiciones del camión y un cierto valor referencial del IRI.”

Relevante es mencionar “Las Especificaciones Técnicas Generales para la Conservación de Carreteras” (10) publicada por el MTC en 2007 que establece que para el Perú se usen los valores de IRI mostrados en la Tabla 2 para clasificar las vías pavimentadas y no pavimentadas, indicando que debe investigarse de manera rigurosa las condiciones específicas en la costa, sierra y selva.

Actualmente en el Perú se realizan análisis de comportamiento de pavimentos con modelos como el HDMIII y HDM4 del Banco Mundial, como lo reconoce el Manual de Carreteras del MTC publicado a inicios del 2013 (11). Estos programas incorporan submodelos de deterioro de pavimentos afirmados, flexibles y rígidos y son aceptados por el MTC, pero este manual (11) indica que “ingenieros proyectistas podrán utilizar otros modelos de reconocida procedencia técnica institucional y que cuenten con la aceptación previa del MTC.”

Sin embargo, según se explica en el manual del MTC, el uso del HDMIII y HDM4, se limita a un análisis por proyecto, y no se usaría para un uso de un sistema complejo vial.

El manual del MTC sí menciona el término de Niveles de Servicio (NdS) y provee varios indicadores a controlar y que determinen la toma de decisiones de conservación y se proveen diversos valores limitantes para la toma de decisiones de proyectos individuales, pero no tiene la visión global de un sistema de carreteras jurisdiccional.

En el ámbito del MVCS, el capítulo 6 de la NTE de Pavimentos Urbanos (7) menciona el mantenimiento de pavimentos, y enumera 7 actividades para realizarlo; sin embargo no indica la metodología o provee ejemplos de cómo realizarlo.

PROPUESTA DE SISTEMA DE GESTIÓN DE PAVIMENTOS PARA EL PERÚ

Se puede concluir entonces de la sección anterior que en el Perú la normativa referente a mantenimiento de pavimentos está referida a las acciones concretas de mantenimiento, y se muestra de forma **conceptual** la importancia de evitar la generación de daños en los pavimentos, dando algunos valores límites (IRI, ahuellamiento, baches, deflexiones, entre otros), pero aplicándolo a un ámbito más de proyecto que a un análisis amplio de un sistema, ya sea la longitud de una concesión carretera, o la conjunción de pavimentos en una jurisdicción como lo puede ser un municipio distrital o provincial; y no profundizan en el tema de la planificación, la sustentación y la toma de decisiones.

Es por esto que esta ponencia es una propuesta inicial para un Sistema de Gestión de Pavimentos (SGP o PMS = Pavement Management System) para Municipalidades y Gobiernos Locales, que tendría aplicación directa en todos los pavimentos bajo la jurisdicción del MVCS (estimados 130 000 km) y MTC (aproximadamente 80 000 km), y podría ser utilizado también por las concesionarias de la red vial nacional y por el Estado en las vías nacionales y regionales. Su aplicación directa es en los caminos pavimentados e incluye la pavimentación progresiva de la red no pavimentada.

El SGP propuesto tiene su base teórica en los conceptos presentados en la referencia 10, y desarrolla el Capítulo 6, Sección 6.4 de la NTE de Pavimentos Urbanos de la referencia 7. Así, la secuencia de trabajos necesarios para el SGP propuesto aquí se explica en las siguientes subsecciones.

Inventario

El primer paso de este SGP es el registro de las características básicas de cada sección de los caminos en la jurisdicción respectiva.

Así, se tiene que determinar:

- Longitud de los caminos en la jurisdicción
- Tipos de superficie de rodadura (flexible, rígidos, compuestos, afirmados, estabilizados, u otro tipo similar)
- Importancia de la vía en la jurisdicción (vía expresa, arterial, colectora, local u otra)
- Cantidad de tráfico vía el cálculo del IMDA (Índice Medio Diario Anual) por vía

Esto servirá para priorizar los trabajos de inspección y las decisiones a futuro.

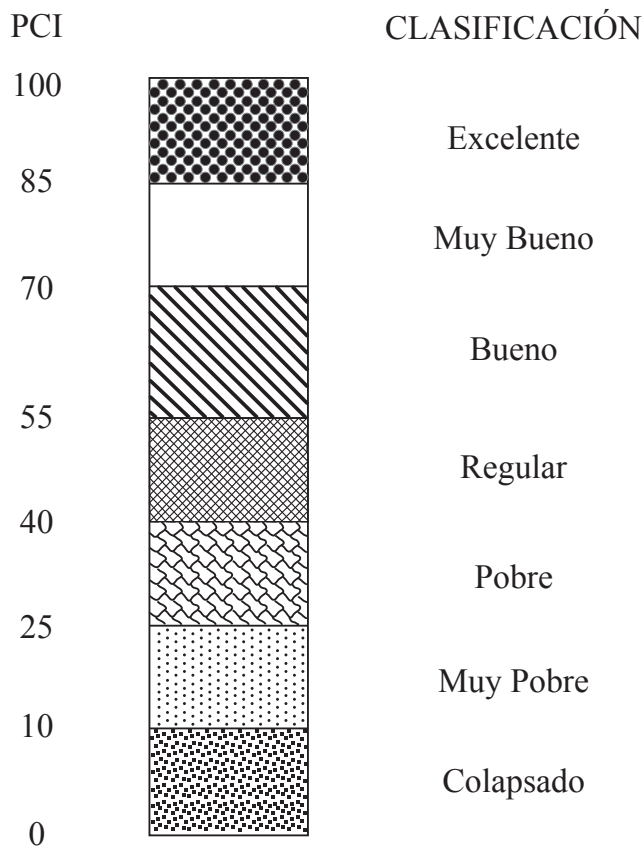
Inspección

En un inicio se contempló el usar las metodologías existentes en los manuales disponibles y provistos por el MTC y/o el MVCS. Sin embargo, se encontraron problemas de aplicabilidad, ya que los manuales están orientados a mantener un sistema arreglado por las concesionarias, mas no arreglar un sistema vecinal totalmente deteriorado.

Por lo tanto, el SGP de esta ponencia propone que esta primera inspección se haga de forma escalonada, según las condiciones disponibles en la localidad, teniendo como herramienta básica el relevamiento de fallas y la clasificación de condiciones utilizando el PCI o Pavement Condition Index (Índice de Condición de Pavimentos) explicada y reglamentada en la Norma ASTM D6433-11 (12), y presentadas a continuación:

- Relevamiento visual de daños y subsecuente cálculo del PCI
- Determinación de la rugosidad, IRI
- Determinación de la fricción, IFI
- Determinación de la capacidad estructural del pavimentos con ensayos no destructivos
- Determinación de la condición estructural vía ensayos destructivos (calicatas, ensayos de materiales)

La ventaja del PCI sobre los otros métodos mencionados en los manuales como Las Especificaciones Técnicas Generales para la Conservación de Carreteras y la NTE de Pavimentos Urbanos disponibles del MTC y MVCS, respectivamente, es que



consiste en una herramienta visual de bajo costo y que provee de una clasificación numérica que servirá para análisis comparativos necesarios para los siguientes pasos del SGP.

Clasificación del Sistema Vial

Una vez determinado el PCI de los pavimentos en la jurisdicción, es necesario clasificarlos y agruparlos según los tipos explicados en la etapa del inventario. La norma ASTM 6433-11 (12) propone la escala de PCI mostrada en la Figura 1.

Se reconoce que esta metodología se reduce a vías pavimentadas y tal vez existan condiciones en el Perú que la norma no contempla y deberá ser evaluado mas adelante con investigaciones nacionales, regionales y/o locales, pero para cubrir la clasificación de vías no pavimentadas, se recomienda que el PCI de estas vías sea fijado en un valor de 25 (muy pobre).

Este paso incluye la cuantificación de secciones en la jurisdicción respectiva según la Figura 1 y la clasificación del inventario levantado. Así, la Tabla 3 muestra un ejemplo de resultados de cuantificación de secciones de cualquier jurisdicción en el Perú.

Esta tabla puede ser conseguida para todo tipo de pavimento, o puede ser segmentada para pavimentos flexibles, pavimentos rígidos y pavimentos compuestos (la jurisdicción respectiva debería determinar donde se colocarían las vías no pavimentadas, siendo lo más probable que se coloquen en el tipo que se usaría para la pavimentación).

Con esta tabla se tiene que determinar cuáles secciones mantener. El concepto tradicional de conservación vial atacaría el 40.75% de pavimentos (27.5% muy pobres y 13.25% colapsados), abandonando los pavimentos en condición buena o mejor, y dejando que éstas se deterioren con el tiempo. El concepto moderno, sin embargo, si se enfocaría en estos pavimentos buenos, muy buenos y excelentes (30.75%) que, para este ejemplo al menos (y muy probable para la mayor cantidad de jurisdicciones en el país), son menores en cantidad que los pavimentos pobres, muy pobres y colapsados, y su costo de mantenimiento es mucho menor.

Siguiendo este concepto moderno se procede a tomar decisiones sobre cuáles avenidas y calles mantener y cuáles secciones reparar y reconstruir y también cuáles vías no pavimentadas requerirían pavimentación. Para esto se requiere determinar el tipo de mantenimiento y la estimación de recursos.

Determinación del Tipo de Mantenimiento

Los manuales del MTC, y la literatura en general, proveen explicaciones sobre cómo realizar mantenimientos, inclusive bajo la

Figura 1. Escala de PCI sugerida por ASTM 6433-11 (traducido, 12).

Tabla 3. Ejemplo hipotético de cuantificación y clasificación de secciones

Condición	Vías Expresas	Vías Arteriales	Vías Colectoras	Vías Locales	TODO
% Jurisdicción	5 %	15 %	35 %	45 %	100 %
Excelente	30 %	10 %	5 %	5 %	7.00 %
Muy Bueno	40 %	20 %	10 %	5 %	10.75 %
Bueno	20 %	15 %	15 %	10 %	13.00 %
Regular	10 %	20 %	20 %	10 %	15.00 %
Pobre	- -	10 %	15 %	15 %	13.50 %
Muy Pobre	- -	20 %	25 %	35 %	27.50 %
Colapsado	- -	5 %	10 %	20 %	13.25 %

denominación de mantenimientos rutinarios, preventivos, periódicos y/o correctivos.

Este SGP propone el uso de la Tabla 4 basado en experiencias norteamericanas para el tratamiento de pavimentos según la clasificación PCI mostrada en la Figura 1 y la denominación usada en el Perú (rutinario, correctivo, etc.). Nótese que se proponen actividades para todas las clasificaciones con excepción a la condición regular. La experiencia ha podido determinar que existen condiciones de deterioro tales que gastar en mantenimiento puede llegar a ser contra-productivo y por lo tanto, pavimentos que presenten PCI de 40 a 55 es mejor que se dejen deteriorar a condiciones de rehabilitación mayor, y por eso no se propone actividad de mantenimiento alguna.

Estimación de Recursos

Cada jurisdicción deberá determinar los costos de reparación, mantenimiento y construcción, según los recursos locales, y por lo tanto es claro que las decisiones variarán por región y locación. Estos costos deberán llevarse a costo unitario por m² de pavimento para que puedan tomarse las decisiones respectivas, clasificándolo según la Tabla 4.

La Figura 2 (PCI vs Tiempo con costos en \$/pie²) muestra un ejemplo de cómo podría realizarse esto, pero como se indicó anteriormente, esto tiene que realizarse de manera local.

Planificación del Mantenimiento del Sistema de Pavimentos

En esta etapa se requiere proyectar el futuro comportamiento de los pavimentos. Como se indicó existen diversas metodologías en la literatura, siendo la más utilizada en el Perú el método del HDMIII y HDM4 del Banco Mundial. Sin embargo, esta ponencia propone la creación de modelos propios por jurisdicción partiendo de cuatro condiciones:

- Un punto de partida con condiciones de deterioro desconocidos para la localidad
- Un momento en el mediano plazo donde se pueden aplicar métodos empíricos de predicción de modelos de deterioro
- Un momento en el largo plazo donde, con información de campo y de laboratorio, se puedan aplicar métodos mecanísticos-empíricos, calibrados para las condiciones regionales y locales del país
- Una condición a futuro donde puedan aplicarse condiciones puramente mecanísticas

Tabla 4. Categorización del PCI vs. Tipos de Mantenimiento (adaptado, 13)

Índice de Estado Superficial del Pavimento - Categorías de Acción		
Rango de Índice de Estado	Categoría de Acción	Descripción
100 a 85	Excelente Mantenimiento Preventivo o Mínimo	Pavimento en condición muy buena; no requiere acciones de mantenimiento correctivo inmediatas; ocasionalmente pueden requerir acciones de mantenimiento mínimo preventivo
85 a 70	Muy Bueno Mantenimiento Correctivo Menor	Pavimento en condición buena, con fallas incipientes que requieren acciones de mantenimiento correctivas inmediatas y/o en el corto plazo
70 a 55	Bueno Mantenimiento Correctivo Mayor o Intensivo	Pavimento en condición dudosa o regular, con fallas evidentes que requieren acciones de mantenimiento correctivo frecuentes y probablemente una rehabilitación a mediano plazo: 1. Condición dudosa mantenimiento correctivo mayor. 2. Sellado de superficie 3. Re-encarpetado delgado
40 a 25	Pobre Rehabilitación - Refuerzo Estructural	Pavimento en condición deficiente con fallas en proceso de generación, que requieren una rehabilitación en el corto plazo para evitar la generalización de daños irreversibles
< 25	Muy Pobre y Colapsado Rehabilitación - Reconstrucción	Pavimento en condición muy deficiente, con fallas severas generalizadas que requieren una rehabilitación mayor, probablemente con alto porcentaje de reconstrucción, en el corto plazo

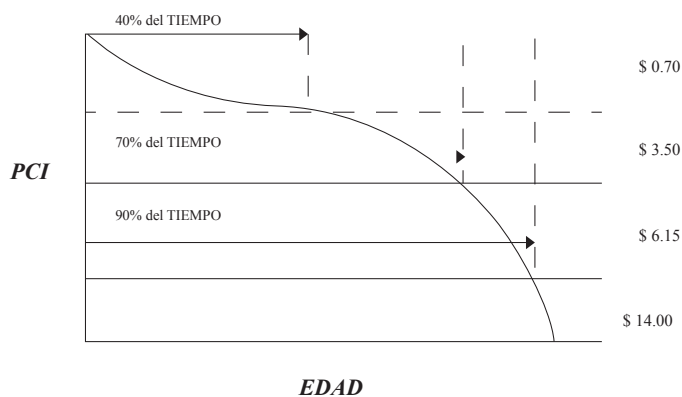


Figura 2. Evolución del PCI en el tiempo frente a los gastos de intervención (14).

En la actualidad, los pavimentos son “mantenidos” bajo el pensamiento clásico, y la decisión sobre que vías se arreglan y que vías se dejan en su condición actual está orientada a decisiones políticas más que técnicas o análisis técnico-económicos. Así, en el Perú nos encontramos en una condición inclusive previa a la situación “a” de la lista anterior.

En los EEUU actualmente se encuentran en una transición en el tema de Gestión de Pavimentos de condiciones “a” hacia “b”, e inclusive algunas entidades están intentando dar el salto a métodos mecanísticos-empíricos, o condición “c”, con la implementación en los EEUU de la nueva guía de diseño del AASHTO 2008.

Mientras tanto, algunos investigadores norteamericanos y europeos, han diferido de los métodos mecanísticos-empíricos y han preferido mantenerse en la ruta del diseño puramente mecanístico, basado en conceptos de viscoelasticidad para pavimentos flexibles y elementos finitos para pavimentos rígidos, pero aún se está lejos de llegar a métodos aplicables en la industria.

Para esta ponencia se van a presentar dos métodos, para la condición “a” y para la condición “b”.

Método Estocástico e Hipótesis de Markov

En otras realidades, las entidades dedicadas a la gestión de pavimentos buscan preservar y optimizar el presupuesto disponible tratando de entender el comportamiento de su infraestructura, y por eso, invierten en la acumulación de datos históricos, para su posterior análisis y uso.

En Perú no existe, aún, la costumbre de acumular este tipo de información. Por eso es que el punto de partida para esta SGP tiene que enfocarse en condiciones de deterioro asumidos y/o similares a otras realidades.

En la literatura existen modelos de estimación probabilística que resultan factibles para aplicar la Gestión de Pavimentos en su mejor magnitud. Estos modelos pueden calcular, en base a una información combinada, un índice de condición en un punto determinado del tiempo. Uno de los modelos o métodos a utilizarse en esta ponencia es el Método Estocástico y la Hipótesis de Markov o Markoviano para la aplicación del SGP.

Método Estocástico. Un proceso estocástico es un concepto matemático que sirve para caracterizar una sucesión de variables aleatorias o estocásticas que evolucionan en función de otra variable, generalmente el tiempo. Cada una de las variables aleatorias del proceso tiene su propia función de distribución de probabilidad y, entre ellas, pueden estar correlacionadas o no (15). Para este SGP, la variable a evaluar contra el tiempo sería el valor del PCI.

Hipótesis de Markov. El proceso de condición de transición del PCI es incierto, ya que se deben tomar datos reales durante un determinado periodo para verificar el factor de deterioro. Sin embargo, como se ha explicado anteriormente, aún no se tienen estos datos disponibles.

La hipótesis de Markov es una probabilidad de cambio del PCI en un determinado momento en el tiempo. Indica el comportamiento del estado del pavimento en condiciones normales. Es por eso que, la hipótesis del Markov o el markoviano se utiliza para representar un patrón de transición incierta de condición (PCI) del pavimento en un periodo de tiempo (16). Es así que la hipótesis de Markov es utilizada para predecir el deterioro progresivo del pavimento en relación a la información de inspecciones periódicas.

Es entonces que el Markoviano inicial utilizará valores fijados en base a otras experiencias y/o adaptaciones de las mismas. La Figura 3, por ejemplo, muestra el Markoviano de deterioro aplicado en Delhi Township, Ohio (17).

En esta figura, por ejemplo, para la condición “C” del 100% de pavimentos, existe una porción que recibe fondos y otra que no.

- Del 100% de la porción que sí se mantiene, el 95% mantiene la condición C y el 5% se deteriora y se convierte a nivel D.
- Del 100% de la porción que no se mantiene, el 50% mantiene la condición C y el 50% se deteriora y se convierte a nivel D.

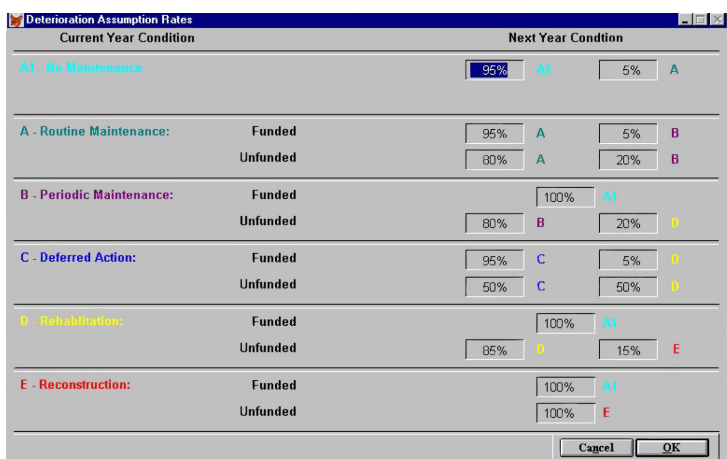


Figura 3. Hipótesis de Markov de deterioro del PCI en un año (17)

Las demás condiciones pueden ser entendidas de forma similar. Como se puede observar, un sistema como el mostrado ayuda, de manera muy simple, a simular el deterioro de un sistema de pavimentos, en términos de porcentaje. Lo que se requiere determinar entonces son esos porcentajes, que en el caso de la referencia son la acumulación de 10 años de información. Para el caso peruano, se pueden aplicar unos valores estándar que tienen que determinarse según el conocimiento empírico de cada zona y jurisdicción para poder empezar con el SGP, para luego, en base a mediciones locales, recalibrar estos porcentajes y acumular la información necesaria para robustecer este sistema o proceder al siguiente sistema o metodología.

Curvas Maestras de PCI

Sotil y Kaloush (18) presentaron una propuesta de generación de curvas maestras de PCI en base a la información que tenía Delhi Township, Ohio, EEUU. En esa ponencia se presentó y propuso un método confiable por el cual el tiempo de vida útil de un pavimento pueda ser calculado usando un modelo matemático calibrado con datos medido en el campo. El método podría ser fácilmente implementado por cualquier agencia siempre y cuando se cuente con suficiente información en la base de datos histórica de la agencia.

Programa de Trabajo y Medición del Comportamiento

Una vez que, utilizando ya sea la metodología “a” o “b” de la sección anterior, se definen los porcentajes de sectores a ser tratados ya sea con mantenimientos rutinarios, periódicos, rehabilitaciones o reconstrucciones, se proceden a definirlos a nivel de expediente técnico en las calles y sectores específicos.

Una vez que se realizan los trabajos, se procede entonces a realizar una nueva medición, fecharla y actualizar la base de datos de la entidad, indicando la obra realizada, la fecha de apertura al tráfico y el nuevo PCI de la sección afectada.

Monitoreo

Como se indicó, sea el método “a” o “b”, se requiere de información sustentatoria para generar cambios en los modelos de deterioro estocástico o empírico, respectivamente. Por eso se tiene que determinar el plan de monitoreo de las secciones y esto se puede realizar según las necesidades de las vías y/o condiciones económicas de la entidad. Así, se recomienda (siguiendo la clasificación de la Figura 4):

- Si se tienen los fondos necesarios, para sectores críticos (niveles B, C, o D), se debería monitorear al menos dos veces al año. Una antes de la época de lluvias o invierno o cuando

se sepa que se genera el mayor daño, y otra medición después de esta época.

- Para pavimentos en niveles E y para el caso peruano, caminos afirmados, monitorearlos una vez cada dos años.
- Para pavimentos en niveles A1 o A, monitorear una vez al año.

EJEMPLO APLICATIVO PARA LA MUNICIPALIDAD “PERÚ”

Se va a presentar este ejemplo simplificado para mostrar la aplicabilidad del SGP propuesto y su potencialidad como método que mejore la condición de los pavimentos en la localidad y la optimización de los recursos disponibles.

Inventario

Para mostrar un ejemplo simplificado se van a indicar las siguientes condiciones:

- Longitud (dos carriles, promedio) del sistema = 60 km
- Ancho de vía (dos carriles, promedio) = 7 m
- Área del sistema = 420 000 m²

Se han encontrado pavimentos flexibles, rígidos, y compuestos, con diversas clasificaciones (arteriales, colectoras, locales), e Índices Medio Anuales Diarios (IMDA). Para posteriores análisis, se podrían segregar los siguientes pasos por tipo de vía e IMDA, pero para este ejemplo se mostrará el sistema como un todo.

Inspección

Se realizó un relevamiento de todo el distrito siguiendo la metodología del ASTM. Esto se realizó al momento de decidir implementar el SGP con personal capacitado, ya sea de la misma municipalidad, subcontratado, o vía algún convenio con una universidad aledaña que otorgue carreras de ingeniería civil, y puede ser realizado por estudiantes de la carrera.

Clasificación del Sistema Vial

Después de calculado el PCI se procede a clasificar el sistema entero siguiendo una escala como la Figura 1, o alguna adaptación. Para este ejemplo, se juntaron las clasificaciones “Muy Pobre” y “Colapsado” y colocados solamente como “Muy Pobre” y asignándoles las letras A hasta la F. Para realizar el ejercicio, se asume que el relevamiento produjo los resultados de la Tabla 5, mostrada a continuación:

Tabla 5. Resumen de Condición de Pavimentos de Municipalidad "Perú"

Condición (PCI)	Porcentaje (%)	Costos de Mantto (\$/m ²)
A	7.00 %	15
B	10.75 %	25
C	13.00 %	35
D	15.00 %	50
E	13.50 %	120
F	40.75 %	160

Estos resultados, para mejor toma de decisiones y visualización, pueden ser colocados en mapas o figuras, en especial usando software como GIS.

Determinación del Tipo de Mantenimiento

Se va seguir la Tabla 4, y las especificaciones de los trabajos se pueden encontrar en los diversos manuales del MTC o la literatura.

Estimación de Recursos

La Tabla 5 también muestra los costos por metro cuadrado para el mantenimiento respectivo, asumido según información para la ciudad de Lima conseguida de diversas fuentes al inicio del 2013.

Planificación de Mantenimiento del Sistema de Pavimentos

Para mostrar los beneficios de un SGP se van a realizar las siguientes tres condiciones:

No hacer nada: El sistema del distrito no será arreglado en lo absoluto, suponiendo que las autoridades responsables no tienen el dinero o el interés por hacer algo. Otros motivos son el cambio constante de autoridades y la no continuación o implementación de políticas de mantenimiento.

Para el análisis se asumieron los ratios de deterioro mostrados en la Tabla 6. Es importante mencionar que estos ratios no son estándar de localidad en localidad, pero ya que la Municipalidad "Perú" es una de las tantas entidades que no tienen datos históricos, se puede comenzar con estos ratios y corregirlo según transcurran los años.

La Tabla 7 muestra el cálculo de las tasas de deterioro del inicio del año 0 al inicio del año 1. Como se puede observar, el 90% de A (6.3% se mantuvo en A) y el 0.70% se deteriora a condición B. De esta forma se puede leer esta tabla, conjugando los valores de la Tabla 5 y 6. Si esto se realiza para los siguientes 20 años, se

puede conseguir la Tabla 8. Se puede observar como el sistema se deteriora, llegando a que un alto porcentaje del sistema llegue a nivel "F". Asumiendo los valores intermedios de PCI (nivel A por ejemplo entre 85 y 100 tiene un valor promedio de 92.5), se puede calcular el PCI promedio del sistema. Así se puede observar que el PCI promedio del sistema inicia en 36.9 y a los 20 años estaría en un nivel de 15.3.

Sistema de Gestión de Pavimentos Reactivo o Pensamiento Clásico.

Para hacer la comparación respectiva, se realizó el mismo análisis de deterioro que lo mostrado en la opción de No Hacer Nada, con excepción que se arreglará cierto sector de pavimentos "Muy Pobres". Inclusive, puede considerarse que los pavimentos afirmados se empiezan a construir, o los muy fallados se reconstruyen. Esta política sucede en muchas municipalidades del país, pero es muy dependiente de los fondos que entregue el Estado o que la municipalidad pueda autogestionar.

La Tabla 9 muestra cuánto costaría reparar el sistema si es que se tuvieran los fondos disponibles. Esto varía año a año, y la tabla muestra el valor futuro, así como también el valor presente al 2013.

Como se puede observar, mientras más tiempo se deje desatendido el sistema, más caro costaría la reparación. Si se tuvieran los fondos actualmente, costaría cerca de US\$43 millones, y al año 20, costaría US\$ 64.7, que llevados a US\$ del 2013 con una tasa de interés del 4% significarían hoy US\$ 30.7 millones.

Entonces, lo que se va a realizar para este ejemplo aplicativo es asumir que en vez de recibir del Estado el monto de US\$43.1 millones hoy, los fondos se recibirán en montos cerca del 5% necesario por los próximos 20 años (US\$2.1 millones). Ejercicios similares pueden realizarse con otros montos (mayores y menores) pero para el ejemplo en esta ponencia, este valor se cree apropiado.

La Tabla 10 muestra el cálculo de deterioro del primer año y se puede observar un deterioro similar a la Tabla 7, pero con la excepción que se arregla el 3.2% de los pavimentos en condición "F", y los 37.5% se mantienen en "F". Este 3.2% se calcula usando los \$2 155 millones entre los \$160/m², resultando en cerca de 13,470 m² que son el 3.2% del sistema de 420 000 m².

Continuando con el cálculo para los siguientes 20 años (ver Tabla 11), se puede observar que el deterioro fue frenado por esta acción, teniendo 42% de los pavimentos "A" a "B", y el nivel de pavimentos "F" es igual 45.1%. El PCI en vez de bajar, subió a un valor de 51.6, aunque el crecimiento aún es moderado.

Tabla 6. Ratios de Deterioro sin Mantenimiento de Municipalidad "Perú"

Actual		Futuro	
Condición	Condición	Porcentaje	
A	A	90 %	
	B	10 %	
B	B	80 %	
	C	20 %	
C	C	50 %	
	D	50 %	
D	D	70 %	
	E	30 %	
E	E	80 %	
	F	20 %	
F	F	100 %	

Tabla 7. Cálculo de Deterioro en un Año de Análisis

	% Act	A	B	C	D	E	F	% Fut
A	7	6.30						6.30
B	10.75	0.70	8.60					9.30
C	13		2.15	6.50				8.65
D	15			6.50	10.50			17.00
E	13.5				4.50	10.80		15.30
F	40.75					2.70	40.75	43.45
	100.0							100.0

Tabla 8. Deterioro del Sistema de Pavimentos sin Mantenimiento Alguno

Tiempo (Años)	"A"	"B"	"C"	"D"	"E"	"F"	PCI Promedio
1	6.3	9.3	8.7	17.0	15.3	43.5	36.9
2	5.7	8.1	6.2	16.2	17.3	46.5	34.5
3	5.1	7.0	4.7	14.5	18.7	50.0	32.3
4	4.6	6.1	3.8	12.5	19.3	53.7	30.3
5	4.1	5.4	3.1	10.6	19.2	57.6	28.4
6	3.7	4.7	2.6	9.0	18.5	61.4	26.7
7	3.3	4.1	2.3	7.6	17.5	65.1	25.2
8	3.0	3.6	2.0	6.4	16.3	68.6	23.8
9	2.7	3.2	1.7	5.5	15.0	71.9	22.5
10	2.4	2.8	1.5	4.7	13.6	74.9	21.4
11	2.2	2.5	1.3	4.0	12.3	77.6	20.4
12	2.0	2.2	1.2	3.5	11.1	80.1	19.5
13	1.8	2.0	1.0	3.0	9.9	82.3	18.8
14	1.6	1.8	0.9	2.6	8.8	84.3	18.1
15	1.4	1.6	0.8	2.3	7.8	86.0	17.5
16	1.3	1.4	0.7	2.0	7.0	87.6	16.9
17	1.2	1.3	0.6	1.8	6.2	89.0	16.4
18	1.0	1.1	0.6	1.6	5.5	90.2	16.0
19	0.9	1.0	0.5	1.4	4.8	91.3	15.6
20	0.9	0.9	0.5	1.2	4.3	92.3	15.3

Tabla 9. Comparación de Gastos Necesarios para llevar todo el Sistema a Punto

Tiempo (Años)	Costo Anual de Reparación del Sistema Total, Millones \$	
	Valor Futuro	Valor Actual
1	43.1	43.1
2	45.5	43.8
3	47.8	44.2
4	49.9	44.4
5	51.9	44.4
6	53.6	44.1
7	55.2	43.6
8	56.6	43.0
9	57.8	42.2
10	58.9	41.4
11	59.8	40.4
12	60.7	39.4
13	61.4	38.3
14	62.1	37.3
15	62.6	36.2
16	63.1	35.1
17	63.6	34.0
18	64.0	32.9
19	64.3	31.8
20	64.7	30.7

Tabla 10. Cálculo de Deterioro en un Año de Análisis con Arreglos a los "F"

	% Act	A	B	C	D	E	F	% Fut
A	7	6.3						9.5
B	10.75	0.7	8.6					9.3
C	13		2.2	6.5				8.7
D	15			6.5	10.5			17.0
E	13.5				4.5	10.8		15.3
F	40.75					2.7	37.5	40.2
	100.0							100.0

Si se suman los \$2 155 millones individuales, llevados a US\$ del 2013, se puede calcular que se requerirían invertir cerca de US\$ 30 millones durante los siguientes 20 años en forma distribuida.

Sistema de Gestión de Pavimentos Preventiva o Pensamiento Moderno. Para hacer la comparación respectiva, se realizó el mismo análisis de deterioro que lo mostrado en las opciones anteriores, con excepción que:

- En vez de usar el 5% en pavimentos "F", se ha decidido usar la mitad de los fondos en pavimentos "B"
- La otra mitad se usará para arreglar los pavimentos "F"
- Si se llegara al punto que ya no hay pavimentos en condición "B" o se disponen de más fondos en nivel B que los necesarios, se procede a mejorar los pavimentos "D".
- Si los fondos sobran después de arreglar "B" o "D", entonces recién ahí se aumentaría el presupuesto para los pavimentos "F".

Continuando con el cálculo para los siguientes 20 años (ver Tabla 12), se puede observar que el deterioro fue frenado aún más, teniendo 78.1% de los pavimentos "A" a "B", y el nivel de pavimentos "F" es igual 21.5%. El PCI subió a un valor promedio de 74, siendo mucho mayor que la opción correctiva analizada anteriormente.

Si se suman los \$2 155 millones individuales, llevados a US\$ del 2013, se puede calcular que se requerirían invertir los mismos US\$ 30 millones durante los siguientes 20 años en forma distribuida, pero los resultados serían mucho mejores, demostrando que la metodología moderna resultaría en pavimentos mejor mantenidos y un sistema en condición general buena o excelente (PCI = 74).

Programa de Trabajo y Medición del Comportamiento

Teniendo las necesidades definidas, y los presupuestos establecidos, se procede a realizar los expedientes técnicos para los proyectos específicos, según las normas de los manuales del MTC. Una vez que se termina el trabajo, se vuelve a medir el PCI y se registra la nueva condición del pavimento.

Monitoreo

Como se indicó se requiere de información sustentatoria para generar cambios en los modelos de deterioro estocástico (o empírico, una vez que se decida realizar esta práctica, más ejemplos de este modelo se encuentran en la referencia 18). Estos deben realizarse según se recomendó en la Sección 3.8.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La ponencia ha presentado una propuesta de Sistema de Gestión de Pavimentos (SGP) para el Perú basado en la metodología del cálculo del PCI según norma ASTM, que servirá para clasificar los pavimentos desde condición Excelente hasta condición Muy Pobre y/o caminos afirmados.

Tabla 11. Deterioro del Sistema de Pavimentos con Mantenimiento sólo en "F"

Tiempo (Años)	"A"	"B"	"C"	"D"	"E"	"F"	PCI Promedio
1	9.5	9.3	8.7	17.0	15.3	40.2	39.5
2	11.8	8.4	6.2	16.2	17.3	40.1	39.6
3	13.8	7.9	4.8	14.5	18.7	40.4	39.9
4	15.6	7.7	4.0	12.5	19.3	40.9	40.2
5	17.3	7.7	3.5	10.7	9.2	41.6	40.7
6	18.7	7.9	3.3	9.3	18.6	42.2	41.2
7	20.1	8.2	3.2	8.1	17.7	42.7	41.9
8	21.3	8.6	3.3	7.3	16.6	43.0	42.6
9	22.4	9.0	3.3	6.7	15.4	43.1	43.3
10	23.3	9.4	3.5	6.4	14.4	43.0	44.1
1	24.2	9.9	3.6	6.2	13.4	42.7	44.9
12	25.0	10.3	3.8	6.2	12.6	42.2	45.8
13	25.7	10.7	4.0	6.2	11.9	41.5	46.6
14	26.3	11.2	4.1	6.3	11.4	40.7	47.4
15	26.9	11.6	4.3	6.5	11.0	39.7	48.2
16	27.4	11.9	4.5	6.7	10.8	38.7	48.9
17	27.9	12.3	4.6	6.9	10.6	37.7	49.7
18	28.3	12.6	4.8	7.1	10.6	36.6	50.4
19	28.7	12.9	4.9	7.4	10.6	35.5	51.0
20	29.0	13.2	5.0	7.6	10.7	34.4	51.6

Tabla 12. Deterioro de Pavimentos con Mantenimiento a Pavimentos "B, D y F"

Tiempo (Años)	"A"	"B"	"C"	"D"	"E"	"F"	PCI Promedio
1	18.2	1.1	6.6	17.0	15.3	41.8	40.0
2	23.6	1.8	3.3	12.0	16.0	43.3	41.6
3	28.9	2.4	1.6	7.1	15.1	44.9	43.5
4	33.9	2.9	0.8	3.0	13.0	46.3	45.6
5	38.3	3.4	0.4	0.4	10.4	47.1	47.7
6	40.8	3.8	0.2	0.2	8.3	46.6	49.5
7	43.3	4.1	0.1	0.1	6.7	45.8	51.2
8	45.7	4.3	0.1	0.1	5.3	44.6	53.0
9	48.0	4.6	0.0	0.0	4.3	43.1	54.7
10	50.3	4.8	0.0	0.0	3.4	41.5	56.5
1	52.5	5.0	0.0	0.0	2.7	39.7	58.3
12	24.7	5.3	0.0	0.0	2.2	37.8	60.1
13	56.9	5.5	0.0	0.0	1.7	35.9	61.9
14	59.0	5.7	0.0	0.0	1.4	33.9	63.7
15	61.1	5.9	0.0	0.0	1.1	31.8	65.5
16	63.2	6.1	0.0	0.0	0.9	29.8	67.2
17	65.3	6.3	0.0	0.0	0.7	27.7	69.0
18	67.3	6.5	0.0	0.0	0.6	25.6	70.7
19	69.3	6.7	0.0	0.0	0.5	23.6	72.4
20	71.2	6.9	0.0	0.0	0.4	21.5	74.0

Esta propuesta viene a complementar los diversos documentos disponibles tanto por el MTC y MVCS, que se han enfocado en el análisis de los pavimentos pero a una escala de proyecto mas no de jurisdicción y/o administración local municipal o regional.

La propuesta está basada en una metodología inicial estocástica probabilística, asumiendo tasas de deterioro, que con el tiempo, deberán ser verificadas y/o corregidas con la información conseguida en campo; para luego en un futuro mediano dar el salto a solución empírica, y luego a soluciones mecánicas-empíricas.

La literatura ha indicado que la tendencia en Gestión de Pavimentos debe orientarse a tratamientos preventivos en vez de reactivos o correctivos. Se han realizado tres ejemplos para un mismo sistema hipotético en el cual se puede comprobar

que atendiendo a pavimentos en Excelente y Buena Condición, evitando que estos se deterioren, y mejorando poco a poco el sistema Muy Pobre o Caminos Afirmados, permitirá un crecimiento sostenido en el numero de vías en excelentes condiciones, para el beneficio de los ciudadanos. Es tal el beneficio que dependiendo de cuanto se tenga disponible para invertir, se puede llegar no sólo al arreglo de todo el sistema, sino también al mantenimiento en excelentes condiciones. Por otro lado, poca disponibilidad de fondos demora el proceso, pero siguiendo la metodología moderna se llega más rápido a resultados óptimos.

Por eso, se recomienda implementar esta metodología en los pavimentos del Perú, en todas las jurisdicciones posibles, utilizando ya sean a trabajadores municipales, entidades privadas, o mejor aún, alumnos universitarios vía convenio con las universidades de su localidad.

REFERENCIAS

1. Portal del MTC. www.mtc.gob.pe
2. OSITRAN. Nota de Prensa No. 40. Carreteras concesionadas representan el 35% de la red vial nacional. Oficina de Relaciones Institucionales del 12/08/2011.
3. Peru21. El MTC impulsará concesiones viales por US\$3,000 millones hasta el 2016. Entrevista del 5 de Julio del 2012 al ministro Carlos Paredes. <http://peru21.pe/2012/07/05/economia/mtc-impulsara-concesiones-viales-us3000-millones-hasta-2016-2031828>
4. Portal de Provias Nacional. Proyecto Perú. 2011. [En línea] 04 de Abril de 2011. [Citado el: 20 de Abril de 2011.] www.proviasnac.gob.pe.
5. Portal del MVCS. www.vivienda.gob.pe
6. Portal de Reglamentos, Manuales y Directivas del MTC. http://www.mtc.gob.pe/portal/transportes/caminos_ferro/manuales.htm
7. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. Norma Técnica de Edificaciones (NTE) CE.010 Pavimentos Urbanos. 2010.
8. Ministerios de Transportes y Comunicaciones. Manual Técnico de Mantenimiento Rutinario para la Red Vial Departamental No Pavimentada. Aprobado por la Resolución Directoral No 015-2006-MTC/14 del 22 de marzo del año 2006.
9. Ministerios de Transportes y Comunicaciones. Manual Técnico de Mantenimiento Periódico para la Red Vial Departamental No Pavimentada. Aprobado por la Resolución Directoral No 015-2006-MTC/14 del 22 de marzo del año 2006.
10. Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Las especificaciones técnicas generales para la conservación de carreteras. Aprobado por la Resolución Directoral No 015-2007-MTC/14 del 27 de agosto del año 2007.
11. Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Manual de Carreteras. Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. Sección Suelos y Pavimentos. Marzo del 2013.
12. ASTM. Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Surveys. Designación D6433-11. 2011.
13. Secretaría de Infraestructura y Desarrollo Urbano del Estado de Baja California. Normas Técnicas de Proyecto y Construcción para obras de Vialidades del Estado de Baja California. Mantenimiento de Pavimentos. California, EEUU. 2004
14. Smith, R., Freeman, T, y Chang, C. Gestión de Infraestructura Vial. 1ra Edición, 2006. Fondo Editorial ICG
15. Wikipedia. Proceso Estocástico. Búsqueda virtual de la definición de Proceso Estocástico. 2013. Wikimedia Project.
16. Suharman, H. Development of A Practical Model for Pavement Management Systems. Kyoto University, Japón, 2012
17. Kaloush, K. Delhi Township Pavement Management System Software. Ohio, EEUU, 2002.
18. Sotil, A y Kaloush, K. Predicción del Comportamiento de Pavimentos con Familia de Curvas Maestras. XIV CONIC, Iquitos, Perú, 2003.