

La auscultación de pavimentos a nivel de red y su importancia en la gestión de carreteras

José David Rodríguez Morera

Auditor Técnico

*Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA)
LanammeUCR, Universidad de Costa Rica*

La auscultación es una actividad fundamental en la gestión de los pavimentos, especialmente cuando se trata de redes viales extensas donde se necesita conocer el estado de las estructuras del pavimento.

Las evaluaciones de los pavimentos permiten, además de conocer su estado, la planificación de las inversiones que se necesitan para mejorar la condición de los pavimentos o mantenerla cuando ésta es buena.

A través de las modernas herramientas disponibles actualmente, se puede conocer la capacidad de las capas del pavimento para soportar cargas vehiculares, las características superficiales relacionadas con la seguridad que provee la carretera a sus usuarios, e incluso la regularidad superficial de la vía que puede impactar en los gastos de operación en la ruta.

Uno de los aspectos más importantes en la evaluación de pavimentos es definir la intención en el uso de la información a recabar. Si la necesidad de información es para monitorear las redes viales, el número de mediciones por unidad de longitud será menor que si la evaluación se realiza con la intención de conocer el estado del pavimento a nivel de proyecto, en el que será preciso conocer detalladamente las propiedades del pavimento para

utilizarlo como insumo para la recepción de una obra o para el diseño detallado de una rehabilitación de la vía.

La información que se genera a partir de las evaluaciones de los pavimentos se convierte en el corazón de la gestión de éstos. Esta información, que generalmente se presenta en forma espacial o georreferenciada, también puede ser utilizada para la rendición de cuentas a los usuarios, autoridades y partes interesadas, tal como sucede en el modelo de fiscalización de obras viales desarrollado en Costa Rica por parte del Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad de Costa Rica (LanammeUCR).

El presente artículo trata de destacar la importancia de la auscultación de los pavimentos a nivel de red, ejemplificado con el caso de las evaluaciones bienales que realiza el Programa de Infraestructura del Transporte del LanammeUCR en Costa Rica.

1. La evaluación de los pavimentos

En la actualidad existe una amplia oferta de equipos para poder realizar auscultaciones y evaluaciones de los pavimentos. Esto permite que las mediciones sean cada vez de mejor ca-

lidad y se puedan cubrir redes viales extensas de forma eficiente

Además de poder medir y determinar la condición del pavimento, la información generada por las evaluaciones es importante porque permite la construcción de índices de condición de pavimento que facilitan la comprensión del estado de las carreteras.

A continuación se describen los principales tipos de evaluaciones de los pavimentos.

1.1. Capacidad estructural

Las deflexiones sufridas por la estructura del pavimento, ante la carga que representa el peso de los vehículos, se relacionan con deterioros tales como agrietamiento y deformaciones permanentes (roderas por ejemplo).

El deflectómetro de impacto, conocido como *Falling Weight Deflectometer (FWD)* (Figura 1), es un equipo de alta tecnología que mide el hundimiento o deflexión instantánea que experimenta el pavimento en un punto, debido al golpe de un peso lanzado desde un mecanismo diseñado específicamente con este propósito, de tal manera que produzca una fuerza de reacción en el pavimento de 40 KN (566 MPa). Esta carga cae sobre un plato circular cuya



Figura 1. Deflectómetro de impacto del LanammeUCR [4]

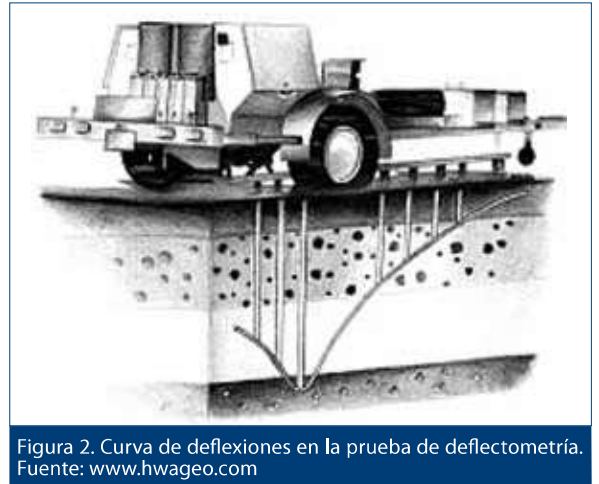


Figura 2. Curva de deflexiones en la prueba de deflectometría. Fuente: www.hwageo.com

área de contacto es similar a la de una llanta de vehículo; las deflexiones obtenidas son registradas por nueve sensores, el primero directamente en el plato de carga, y los demás dispuestos en un arreglo lineal con una longitud máxima de 180 centímetros. Con esta disposición “es posible obtener además, la forma y tamaño del cuenco de deflexiones, el cual se relaciona con aspectos como el espesor y la rigidez del pavimento, las características de los materiales de las capas subyacentes y la magnitud de la carga aplicada” [4], como se muestra en la Figura 2.

La distancia entre los puntos de medición con el FWD, dependerá del nivel de la gestión del pavimento para el que se está recabando la información. Si es a nivel de red la distancia es mayor, en este caso LanammeUCR utiliza una separación de 400 m para la evaluación de la Red Vial Nacional (aproximadamente 5000 km). Cuando se esté obteniendo información para el diseño de un pavimento, o sea a nivel de proyecto, la distancia entre los puntos de medición de las deflexiones debe ser como máximo 50 m ó hasta 10 m inclusive, dependiendo de la exactitud del estudio [7].

1.2. Regularidad de la superficie del pavimento

La rugosidad es la irregularidad en la superficie de un pavimento que afecta adversamente a la calidad del rodado, seguridad y costos de operación del vehículo. La regularidad superficial del pavimento se define como la suma de las irregularidades de la superficie por unidad de longitud, lo que es percibido por el usuario como el confort de marcha [10].

El aspecto más importante de la regularidad superficial es que se relaciona directamente con los costos del vehículo que circula por dicha carretera, dado que afecta su consumo de combustible y sus costos de mantenimiento, como se muestra en la Figura 3.

El IRI (*International Roughness Index*) es el parámetro más utilizado a nivel mundial que permite medir la condición de regularidad superficial del pavimento. Una carretera recién construida tiene una irregularidad mínima; sin embargo, cuando se pone en uso, la carga de los vehículos hace que se incrementen las irregularidades y por lo tanto el valor del IRI.

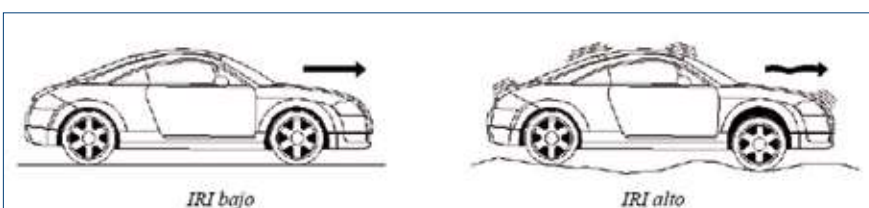


Figura 3. Efecto de la regularidad superficial en el confort del usuario [4]

El concepto de IRI está relacionado con sistemas dinámicos. El modelo matemático que se utiliza para medir el IRI se conoce como RQCS (*Reference Quarter Car Simulation*) ó cuarto de carro, donde se calcula y se acumulan los movimientos verticales de la suspensión y luego son divididos por la distancia recorrida, de ahí que sus unidades son metros/kilómetro ó pulgadas/milla [7].

Para evaluaciones a nivel de red o de proyecto, se utiliza un vehículo equipado con un perfilómetro láser (Figura 4). Este equipo consta de tres sensores láser ubicados en la defensa delantera del vehículo, uno sobre cada huella de rodamiento y el tercero central. Estos sensores están conectados a un computador con GPS, el cual calcula en tiempo real el valor de IRI para segmentos de 100 metros de longitud. La información sobre irregularidad se almacena en archivos digitales. Posteriormente, cada uno de estos archivos debe ser procesado individualmente, para convertirlos en las tablas de datos que se necesitan para crear los mapas y los informes finales de las mediciones para cada tramo de carretera evaluado [4].

1.3. Fricción de la superficie del pavimento

La fricción es el nivel de agarre o rozamiento que experimenta la llanta del vehículo con la carretera. La fricción es un elemento muy importante en la seguridad vial de una carretera. A

mayor nivel de rozamiento, mayor es la fuerza que trata de oponerse al deslizamiento del vehículo, lo cual es necesario, por ejemplo, cuando el conductor debe tomar una curva a una velocidad moderada en carreteras principales o rotondas, o cuando debe realizar una frenada de emergencia.

Los pavimentos con nivel de rozamiento bajo brindan condiciones inseguras para los usuarios, debido a que se eleva el riesgo de derrape o pérdida del control del vehículo. Como se deriva de lo anterior, mantener un valor mínimo de rozamiento de la superficie es vital para conservar las condiciones de servicio y seguridad normales de una vía, [6].

El nivel de rozamiento de la superficie depende de varios factores, siendo los principales la macrotextura y la microtextura de la mezcla asfáltica o concreto utilizado en la vía. Estas propiedades se ilustran en la Figura 5.

La macrotextura se relaciona directamente con el tipo de agregado expuesto en la mezcla y afecta directamente la capacidad de drenaje del agua en la superficie de la vía. Por ejemplo, a una menor macrotextura, menor será la capacidad de drenaje de la carretera, que ante ciertas condiciones de cantidad de agua superficial y velocidad de los vehículos produce el fenómeno llamado hidropelaneo.

Por otra parte, la microtextura depende directamente de la superficie del agregado expuesto en la mezcla, y es la que brinda la adhesión entre este agregado y la llanta de los vehículos.

Se han realizado estudios a nivel internacional que relacionan los bajos niveles de rozamiento de un tramo vial



Figura 4. Perfilómetro láser utilizado por LanammeUCR [5]

con índices más elevados de ocurrencia de accidentes; lo cual indica que se deben mejorar los niveles de rozamiento para reducir la cantidad de accidentes y los gastos asociados con estos.

El LanammeUCR utiliza un equipo denominado Griptester para medir el coeficiente de rozamiento. Este equipo utiliza una rueda parcialmente bloqueada en dirección de la trayectoria seguida (Figura 6).

2. ¿Nivel de red o nivel de proyecto? El detalle de la información

Como se mencionó anteriormente, para la validez del uso de la información generada por las evaluaciones de pavimentos recién descritas, es fundamental definir en qué nivel de la gestión de pavimentos se utilizará la información. De esta forma se podrá definir el nivel de detalle con que es necesario conocer el estado de las vías.

Este concepto sobre el detalle de la información en un Sistema de Gestión

de Pavimentos se muestra gráficamente en la Figura 7. Como se observa, cuando se hace planificación a nivel estratégico o de red, no es factible utilizar información detallada puesto que los modelos generarían una exagerada cantidad de información y la complejidad de los modelos de deterioro utilizados para planificación tampoco es muy alta.

Es decir, hay un riesgo de que se genere el fenómeno "data rich-info poor" que se refiere a abundante cantidad de datos que no influyen en la calidad de las salidas de los programas o modelos utilizados en la gestión de los pavimentos.

El espaciamento de las pruebas de deflectometría ha sido conceptualmente definido por varios autores a nivel internacional. Según el informe *Data Collection Technologies for Road Management* [3], existen cinco niveles de información en la gestión de carreteras que correlacionan el grado de sofisticación y detalle requerido para la toma de decisiones.

Los niveles de información se muestran en la Figura 8. Como se

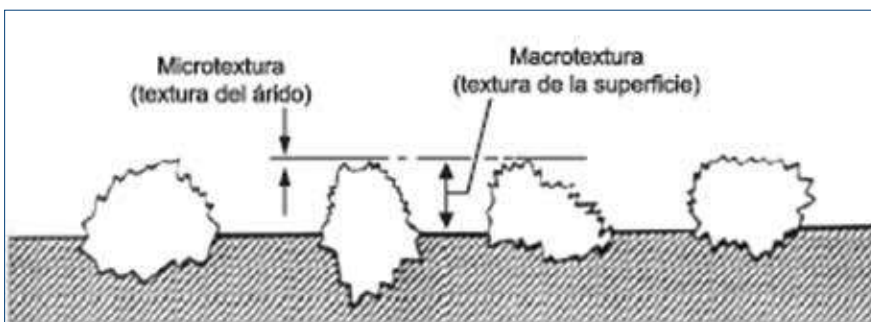


Figura 5. Macrotextura y microtextura en una mezcla asfáltica [6]



Figura 6. Griptester [6]

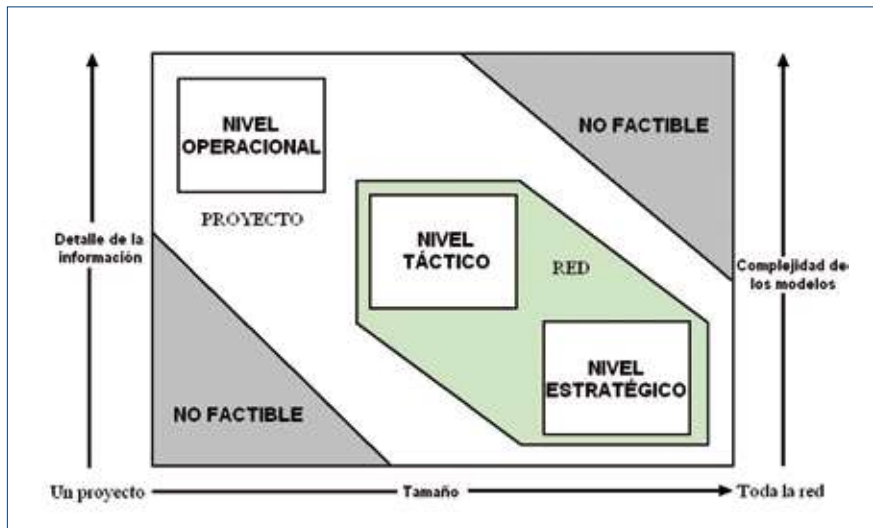


Figura 7. Detalle de información y complejidad para un sistema de gestión de pavimentos [10]

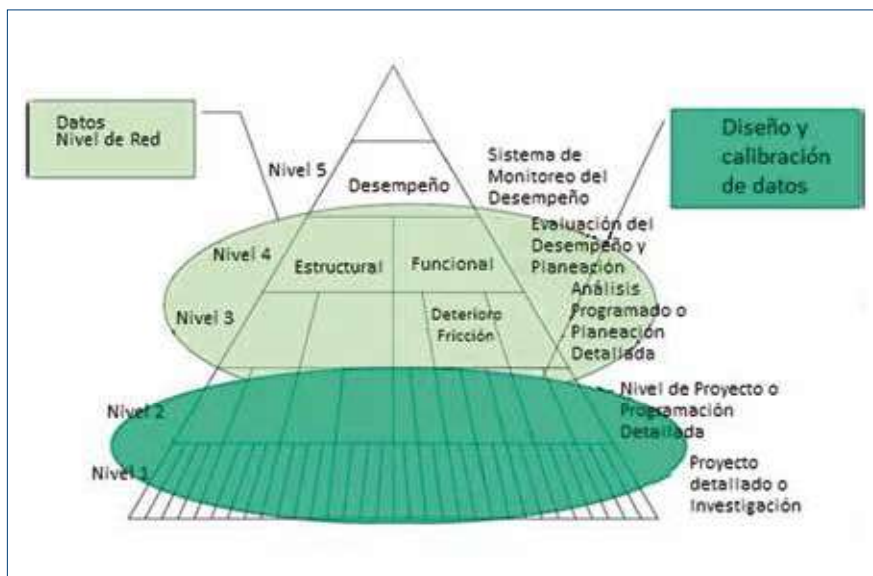


Figura 8. Niveles de calidad de la información en la gestión de la infraestructura vial [3]

puede observar, en el nivel 1 se obtiene información para una investigación detallada; en el nivel 2 se encuentra la información típica para un análisis de ingeniería y decisiones a nivel de proyecto.

El nivel 3, es un nivel de detalle más simple, generalmente dos o tres atributos que pueden ser utilizados a nivel de red o en la recopilación de datos más simples.

El nivel 4 de calidad de información es un resumen de atributos clave que tienen su uso en la planificación e informes de alta dirección ejecutiva, por ejemplo. Por último, el nivel 5 representa los datos de nivel superior, tales como indicadores clave en el desempeño de los activos de transporte.

Asimismo, en el documento *Asset Management Data Collection for Supporting Decision Process de la Federal Highway Administration* del Departamento de Transportes de Estados Unidos (2010) se plantea que en el nivel 2 de calidad de información se debe manejar el detalle suficiente para los modelos de programación completa de obras y los métodos de diseño estándar.

Es importante destacar que existen definiciones cuantitativas sobre la frecuencia o espaciamiento de la deflectometría, según el nivel de calidad de la información requerida. Según la ASTM D 4695-03 *Standard Guide for General Pavement Deflection Measurements*, para conocer un panorama general de

Tabla 1. Magnitud de la campaña de evaluación de la RVN pavimentada de Costa Rica

Tipo de medición	Longitud (km)
Deflectometría FWD	5028
Regularidad superficial IRI	5280
Coefficiente de rozamiento GRIP	1918

la capacidad estructural a nivel de red, las deflexiones suelen medirse con un espaciamiento de 100 m a 500 m.

Para los casos donde la deflectometría se utilizará a nivel general de proyecto, esta guía recomienda el ensayo de deflectometría espaciado entre 50 m a 200 m, dependiendo de las condiciones específicas del pavimento.

Por último, para una evaluación detallada y específica a nivel de proyecto, la cual se realiza con el propósito de localizar áreas que presenten altas deflexiones, se plantea una separación entre cada prueba de entre 10 m y 100 m. En esto se debe tomar en cuenta la variabilidad de materiales y los patrones de deterioro, entre otras condiciones de la sección de la vía evaluada.

3. La importancia de las evaluaciones de pavimentos a nivel de red: el caso de Costa Rica

Las evaluaciones de pavimentos a nivel de red, es decir la auscultación de los pavimentos que componen una red vial, son una excelente herramienta de la planificación, el monitoreo y la rendición de cuentas de las instituciones encargadas de la gestión de la infraestructura vial.

En el caso de la red vial nacional (RVN) de Costa Rica, los legisladores encargaron a la Universidad de Costa Rica la fiscalización de las inversiones en la RVN mediante la Ley 8114. Como parte de la fiscalización, el Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA) del Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LanammeUCR) ha desarrollado evaluaciones bienales de la RVN que comprenden deflectometría, medición de IRI, medición del coeficiente de rozamiento e incluso la retrorreflexión de la señalización horizontal.

Tabla 2. Equipo del LanammeUCR para evaluación de la RVN pavimentada

Evaluación	Funcional (Regularidad)	Estructural	Resistencia al deslizamiento	Deterioro superficial	Retroreflectividad
Equipo					
	Perfilómetro	Deflectómetro	Grip Tester	Geo-3D	Reflectómetro

Las evaluaciones comenzaron con un plan piloto en el año 2002 y a la fecha se han generado siete evaluaciones completas de la RVN pavimentada de Costa Rica. Para la última evaluación, el LanammeUCR cubrió más de 5000 km de vías pavimentadas (ver Tabla 1).

En la actualidad, el LanammeUCR cuenta con el equipo tecnológico que se indica en la Tabla 2.

De esta forma, el LanammeUCR realiza las campañas de evaluación de la red vial pavimentada y presenta, cada dos años, los resultados de la evaluación. De acuerdo con la Ley 8114 de la República de Costa Rica, estos resultados se deben enviar a la Asamblea Legislativa, a la Contraloría General de la República, al Ministerio de Obras Públicas y Transportes, al Consejo Nacional de Vialidad y la Defensoría de los Habitantes. Todo esto supone un intenso ejercicio de rendición de cuentas sobre las inversiones y las políticas sobre el mantenimiento de los pavimentos de la RVN de Costa Rica.

El informe de evaluación bienal de la RVN, recibe en la misma línea de rendición de cuentas, una atención mediática muy significativa que ha hecho a las autoridades plantear algunos cambios e incluso proyectos de reformas legales al sector de la obra pública.

A continuación se muestran (Figuras 9 y 10) ejemplos de los productos de las evaluaciones bienales que realiza el LanammeUCR a la RVN de Costa Rica:

3.1. Generación de estrategias de gestión de pavimentos a partir de las evaluaciones

Las evaluaciones de pavimentos no sólo son útiles para rendir cuentas sobre el resultado de las inversiones

en las carreteras. Los datos que se recaban con las evaluaciones de los pavimentos son el corazón de un sistema de gestión de pavimentos.

Como se puede observar en la Figura 11, a partir de los inventarios se realiza la planificación y programación de las obras en las redes viales. Luego, mediante auscultaciones posteriores, se realiza el monitoreo de los resultados, la retroalimentación de la planificación y los inventarios. Todo lo anterior en línea con las metas y políticas de las agencias de transportes.

A partir de los parámetros obtenidos de cada una de las propiedades del pavimento como el estado estructural, funcional y el coeficiente de ro-

zamiento, es posible calcular índices compuestos que permitan conocer de una forma general el estado de las redes viales.

Por ejemplo, para el caso de Costa Rica, se han desarrollado investigaciones utilizando a nivel estratégico un índice de estado del pavimento compuesto (PCI, por sus siglas en inglés) por un 50% de la situación estructural y un 50% de la funcional [8]. A partir del cálculo de este índice para toda la RVN pavimentada de Costa Rica se han realizado modelaciones sobre escenarios de inversión y se ha logrado determinar la aplicabilidad del índice y la eficiencia de las estrategias de inversión a nivel académico.

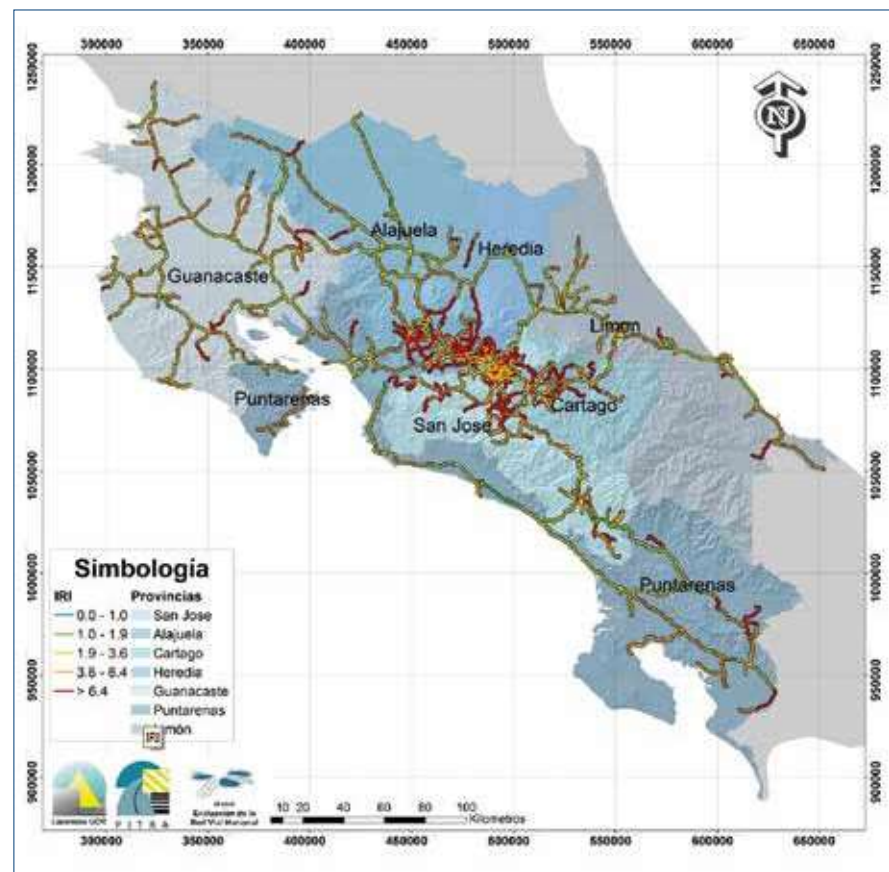


Figura 9. Medición del IRI en la red nacional pavimentada de Costa Rica en 2010 [6]

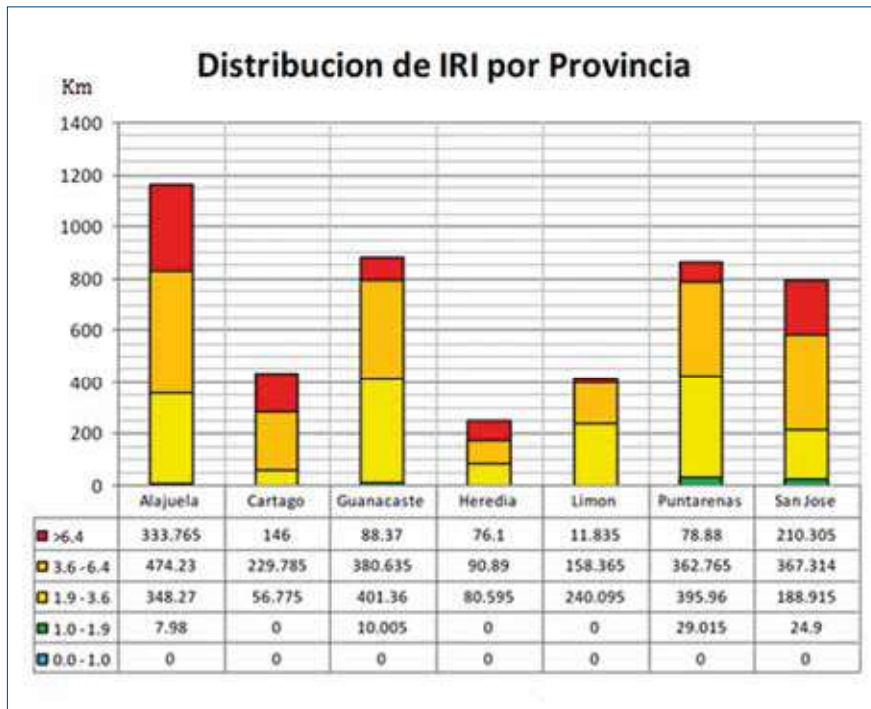


Figura 10. Datos del IRI en la red vial nacional pavimentada de Costa Rica en 2010 [6]



Figura 11. Niveles del sistema de gestión de activos. Fuente: NCHRP-AASHTO, 2002

4. Conclusiones

La auscultación y evaluación de los pavimentos es una actividad fundamental en la gestión de los pavimentos y en la optimización de la inversión en las redes viales pavimentadas.

Actualmente existe tecnología de punta que ayuda a que las auscultaciones sean más eficientes, logrando cubrir redes enteras y caracterizando

el estado de los pavimentos con el propósito de monitorear y generar políticas adecuadas de inversión en la conservación vial.

Además de la gestión técnica que se logra a través de las auscultaciones de pavimentos, es posible sistematizar procesos de rendición de cuentas a los usuarios y autoridades políticas sobre la evolución de la condición de las redes viales pavimentadas. Esta rendición, además de inevitable en

el contexto actual de búsqueda de transparencia en la gestión vial, provoca presión para mejorar la gestión de pavimentos y brindar el mejor servicio a los usuarios.

5. Bibliografía

- [1] BARRANTES, R. (2013). "Evolución del proceso de gestión de redes viales en Costa Rica". Evaluación Bienal. Antigua, Guatemala: CILA XVII.
- [2] FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION (2006). "Asset Management Data Collection for Supporting Decision Processes".
- [3] FLINTSCH, G. (2007). "Data Collection Technologies for Road Management". Washington D.C.: World Bank.
- [4] LANAMME UCR, (2008). "Informe de Evaluación de la Red Vial Nacional 2008". Universidad de Costa Rica, San José.
- [5] LANAMME UCR, (2008). "Informe de Evaluación de la Red Vial Nacional Pavimentada Año 2008". Informe Bienal, Universidad de Costa Rica, LanammeUCR, San José.
- [6] LANAMME UCR, (2011). "Informe de Evaluación de la Red Vial Nacional pavimentada de Costa Rica Años 2010 -2011". Universidad de Costa Rica, Unidad de Evaluación de la Red Vial Nacional, San José.
- [7] MADRIGAL, D. (2008). "TFG Plan de Inversiones a Nivel Estratégico para la zona 1-9 de Conservación Vial de CONAVI". Universidad de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Civil, San José.
- [8] MATA, D. (2010). "TFG Índices de Condición de Pavimentos". San José: Escuela de Ingeniería Civil.
- [9] AMERICAN STANDARD FOR TESTING MATERIALS (ASTM) (2003). "Standard Guide for General Pavement Deflection Measurements D 4695-03".
- [10] SOLMINIHAC, H. D. (1998). "Gestión de Infraestructura Vial". Santiago: Ediciones Universidad Católica de Chile. ❖