

# **TERRACERÍAS, DRENAJE Y EXPLANADAS**

19 septiembre del 2007 (mañana)

**C4.5**

**REPORTE INTRODUCTORIO**

**CONTENIDO**

RESUMEN DE LOS TEMAS DE TRABAJO..... 3  
LISTA DE MIEMBROS PARTICIPANTES EN LA REDACCIÓN ..... 4  
TEMA 4.5.1 – PROMOVER LA UTILIZACIÓN ÓPTIMA DE MATERIALES LOCALES  
..... 5  
TEMA 4.5.2 – DISPONER DE INDICADORES REPRESENTATIVOS DEL ESTADO  
DE ESTRUCTURAS GEOTÉCNICAS PARA LA GESTIÓN DE ACTIVOS  
CARRETEROS..... 7  
TEMA 4.5.3 - ANTICIPAR LOS IMPACTOS DE LOS CAMBIOS CLIMÁTICOS ..... 9  
CONCLUSIONES PROVISIONALES..... 10

## RESUMEN DE LOS TEMAS DE TRABAJO

El comité técnico de PIARC « Terracerías, drenaje y explanadas» (CT 4.5) realizó el estudio de los temas de trabajo siguientes durante el período 2004-2007 :

- Promover la utilización óptima de materiales locales :
  - reportando los progresos constatados en el tratamiento de los suelos y rocas para aplicaciones en carreteras,
  - estudiando los avances en el empleo de desechos y subproductos industriales como materiales de terracería ;
- Definir indicadores representativos del estado de estructuras geotécnicas para la gestión de activos carreteros ;
- Anticipar los impactos de los cambios climáticos.

Las actividades del comité están de acuerdo con el tema estratégico No. 4 « Calidad de la infraestructura carretera » de PIARC. El objetivo es el de proponer una gestión eficaz de los activos carreteros a través de la puesta en marcha de sistemas de gestión que sean capaces de integrar todos los componentes de la infraestructura, basados en indicadores funcionales significativos y de acuerdo a las expectativas de los usuarios.

En el 2004, el comité se reunió en París y Tesalónica, en el 2005 en Tsukuba, Japón, y también en París; en el 2006 las reuniones fueron en México y en Lausana, Suiza. La última reunión tendrá lugar en Varsovia. Un último seminario PIARC esta previsto a realizarse en Rumania durante el mes de junio del 2007.

Con relación al primer tema de trabajo, se constató que el empleo de desechos y subproductos industriales tiene efectos positivos tanto desde un punto de vista económico como en el ambiental, pero las reglamentaciones nacionales locales para permitir su utilización como material de terracería cambian mucho de país a país, y más todavía en lo que a criterios ambientales se refiere. Por otro lado, una encuesta ha permitido de constatar un desarrollo importante en las técnicas y equipos de tratamiento de suelos con cal y ligantes hidráulicos gracias a las economías obtenidas, al desarrollo de restricciones ambientales y a la difusión de documentos de referencia adaptados a cada nación. Sin embargo, la falta de conocimientos técnicos, de equipos específicos, de ligantes apropiados, etc., son todavía frenos al desarrollo de esas técnicas en varios países.

El objetivo del segundo tema de trabajo es el de proporcionar referencias y prácticas modernas a los especialistas y profesionales, para una mejora en el corto plazo de la gestión de la infraestructura carretera.

El tercer tema de trabajo trata sobre el estudio de las consecuencias de los cambios climáticos y la posibilidad de anticipar sus efectos sobre la infraestructura carretera. Este tema se presentará y discutirá en una sesión especial del próximo Congreso Mundial de Carreteras.

Además de la redacción de los reportes temáticos y técnicos del comité presentados en este documento, el comité 4.5 ha organizado y participado en varias manifestaciones que han permitido el desarrollo de intercambios internacionales de alto nivel sobre temas en relación con las terracerías, el drenaje y las explanadas. Entre esos eventos podemos citar:

- La reunión del comité en Tsukuba, Japón, el 25 de mayo del 2005, que integró un taller de intercambio entre los miembros del comité presentes y los profesionales japoneses interesados en el tema del «empleo de desechos industriales y materiales locales en terracerías». Once es el número de comunicaciones presentadas por los diferentes países incluyendo al Japón.
- La reunión del comité en México, el 30 de marzo del 2006, previó una jornada de intercambios técnicos entre los miembros de la Asociación Mexicana de Vías Terrestres y los miembros del comité 4.5. Cerca de 120 personas asistieron al evento donde varias y variadas fueron las ponencias presentadas. Las memorias del evento se editaron en un CD-ROM.
- El simposio TREMTI, sobre el tratamiento de suelos con cal y ligantes hidráulicos, organizado en París con el apoyo de PIARC, donde se tuvo la participación de varios miembros del comité. La reunión del comité en octubre del 2005 se programó en París en la misma semana para facilitar una mayor participación.
- El coloquio «Terracerías en Europa» organizado igualmente en París en la misma semana, también con el apoyo de PIARC, recibió un apoyo importante por parte del comité 4.5. De hecho, se considera realizar un evento similar en Londres durante el 2008.

## **LISTA DE MIEMBROS PARTICIPANTES EN LA REDACCIÓN**

1 – Autor principal: J.-C. AURIOL (Francia)

Miembros participantes:

S. COMENALE PINTO (Italia)

P. GARNICA (México)

2 – Autor principal: D. PATTERSON (Inglaterra)

3 – Autor principal: C. DROUAUX (Francia)

Miembros participantes:

H. HAVARD (Francia)

A. PARRIAUX (Suiza)

M. SAMSON (Canada)

## **TEMA 4.5.1 – PROMOVER LA UTILIZACIÓN ÓPTIMA DE MATERIALES LOCALES**

El tema 4.5.1 « Promover la utilización óptima de materiales locales» se divide en dos subtemas importantes:

- Identificar los avances en el campo del tratamiento de suelos y materiales rocosos en aplicaciones de carreteras,
- Identificar el progreso en el empleo de desechos y subproductos industriales como materiales de terracerías en carreteras.

Inicialmente un tercer subtema estaba previsto: “Integración de la carretera dentro del paisaje”, que solo permitió la redacción de un artículo intitulado "Integración de las terracerías de carreteras en el paisaje : retrospectiva de algunos casos en Francia” a aparecer en la revista « Routes/Roads »; el tema quedaba fuera del alcance de las terracerías propiamente dichas, y también de las competencias del solo comité técnico 4.5.

El primer subtema se trató esencialmente a partir de los siguientes elementos:

- Los resultados de una encuesta PIARC lanzada en el 2005, a la ocasión del congreso TREMTI en París. Esta encuesta permitió de evidenciar los aspectos que favorecen ó restringen el desarrollo del tratamiento de suelos en los últimos años en una veintena de Países.
- Las comunicaciones técnicas presentadas en los dos últimos congresos internacionales sobre el tratamiento y reciclado de suelos llevados a cabo en Salamanca, España, en el 2001, y el de París 2005.

El análisis mostró que los beneficios económicos (transporte, economía de materiales), la consideración de restricciones ambientales (para explotación de bancos de materiales ó el uso de tiraderos inapropiados) y el desarrollo de documentos técnicos de referencia son aspectos que han permitido un fuerte desarrollo de las técnicas de tratamiento de suelos en muchos de los países desarrollados. Sin embargo, la falta de capacidad técnica, de equipos adecuados, la ausencia de producción local de ligantes, el fracaso de experiencias anteriores ó las condiciones climáticas específicas han constituido frenos al desarrollo de esas técnicas de varios países en vías de desarrollo en las últimas dos décadas.

Los progresos principales identificados se refieren tanto a los equipos de campo como a los productos de tratamiento, los métodos y los documentos de referencia. A manera de ejemplo podemos citar los siguientes:

- El desarrollo de pulverizadoras-mezcladoras de gran potencia que permiten la mezcla de suelos con alto contenido de boleos y con alcance para profundidades de al menos 50 cm, extendedoras cada vez más precisas en la dosificación y con ancho variable, escarificadoras-estabilizadoras de bloques que pueden fraccionar los elementos silíceos de gran tamaño presentes en suelos heterogéneos, equipos de aspersión que permiten un excelente control de los contenidos de agua, equipos móviles para las obras pequeñas y plataformas móviles;

- La aparición de ligantes granulares con baja tasa de emisión de polvos, que permiten su aplicación en la periferia de zonas urbanas ó en zonas agrícolas sensibles, ligantes de curado rápido, finos de escorias con altos contenidos de cal, etc.
- La aplicación a suelos secos ó muy secos con lechadas, el tratamiento escalonado en suelos con altos contenidos de sulfatos, aplicaciones a materiales reciclados naturales ó no, la aplicación de las técnicas de tratamiento a las capas de subrasante y explanadas;
- La elaboración de documentos de referencia en Francia, Alemania, Japón, etc., así como la publicación de normas nacionales y europeas.

El segundo subtema se trató esencialmente a partir de las respuestas a una encuesta lanzada por el CT 4.5 en 2005 a todos sus miembros. El cuestionario era un soporte para identificar cuales eran los desechos y subproductos industriales empleados en los diferentes países así como sus condiciones de empleo y las prácticas para la caracterización geotécnica y ambiental de esos materiales. Algunos documentos adicionales, como los reportes de los programas europeos SESAR, ALTMAT ó SAMARIS, permitieron a veces de completar la información obtenida.

Trece son los países que respondieron a la encuesta : Francia, Croacia, Italia, España, Bélgica, Portugal, Polonia, Suiza, Austria, Panamá, Chile y México.

Primeramente se pudo constatar que no se dispone de información de los países asiáticos, africanos ó norteamericanos. Los datos disponibles son esencialmente europeos, y en alguna medida de América Latina. Así entonces, la encuesta no puede pretender ser una imagen fiel de una práctica realmente mundial.

También es cierto que el contenido de las respuestas es más o menos exhaustivo según el país; por ejemplo, algunos datos de ciertos subproductos parecen incompletos ó confusos.

Suiza se caracteriza, en relación a otros países, por la aplicación de una política intencionalmente muy restrictiva al uso de esos materiales. De igual manera, Portugal no parece tener una política que promueva la reutilización de subproductos.

De manera general, todos los países tienen documentos específicos, más o menos generales, que rigen la utilización de desechos y subproductos industriales como materiales de construcción en carreteras. Sin embargo algunos países, como Chile, Japón, o Portugal, no tienen una clasificación particular para ese tipo de materiales. El conjunto de países europeos tiene una legislación común como base, que se completa con algún documento local.

Los residuos y subproductos industriales más reutilizados son los materiales de demolición (edificios y carreteras), los materiales asfálticos de antiguas carreteras, las escorias de fundición, las cenizas volantes y residuos de incineración de desechos urbanos, pero también los neumáticos, los plásticos y más raramente los desechos de celulosa.

El uso final de esos materiales es variable según su naturaleza y el país. Los usos más frecuentes son para terraplenes en general, en explanadas ó capas de subrasante ó como materiales de reemplazo. Se utilizan solos, casi nunca en mezclas con otros materiales,

Salvo Croacia, Suiza y Portugal, existe un fuerte desarrollo del empleo en carreteras de esos materiales en los últimos 10 años. Las razones van desde la falta de materiales de buena calidad, la necesidad de economizar los recursos naturales, la limitación de vertederos e incluso la aparición de políticas de desarrollo durables; también es cierto que esos residuos y subproductos industriales son generalmente más baratos.

## **TEMA 4.5.2 – DISPONER DE INDICADORES REPRESENTATIVOS DEL ESTADO DE ESTRUCTURAS GEOTÉCNICAS PARA LA GESTIÓN DE ACTIVOS CARRETEROS**

### **1 – INTRODUCCIÓN**

Si bien la gestión de activos carreteros no es precisamente un nuevo concepto, su objetivo se refería principalmente al pavimento y su capa de rodadura. Actualmente, existen relativamente pocas recomendaciones publicadas sobre la gestión de activos geotécnicos que sirvan de soporte a esos otros activos de la carretera. El objeto de este estudio fue de cubrir este vacío a través de una revisión de la ingeniería y práctica actual sobre ese campo en el mundo, para así definir una serie de recomendaciones de mejora a futuro que permita un enfoque convergente de la gestión de la infraestructura carretera en su conjunto.

Los activos geotécnicos de la carretera comprenden principalmente el terraplén y los cortes, los taludes reforzados y estabilizados, el terreno de apoyo del pavimento, la cimentación de estructuras, el drenaje y el paisaje.

La dificultad de los activos geotécnicos es que hay una gran variabilidad en el desempeño propio de cada estructura en comparación con los otros elementos de la red carretera.

La optimización del mantenimiento necesita :

- Información del estado,
- Una comprensión a largo plazo del comportamiento mecánico de los materiales y del flujo de agua,
- Un enfoque « pro-activo » de las actividades de mantenimiento,
- Un enfoque holístico de todo defecto detectado.

Al centro de tal enfoque, la gestión de datos operacionales debe ser efectiva, y a partir de estos el estado podrá ser apreciado, el desempeño vigilado y los análisis realizados. Los indicadores de desempeño constituyen un punto clave en un sistema de gestión de activos y los indicadores de estado son de naturaleza específica entre los indicadores de desempeño de los activos.

## 2 – CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Gestion « pro-activa » de los activos

Los indicadores de desempeño constituyen un elemento vital de un sistema de gestión de activos. Ellos son a la vez una parte del sistema de gestión y un punto clave para una buena intendencia del activo con todas las demás componentes de la logística de toda la carretera y del servicio que presta.

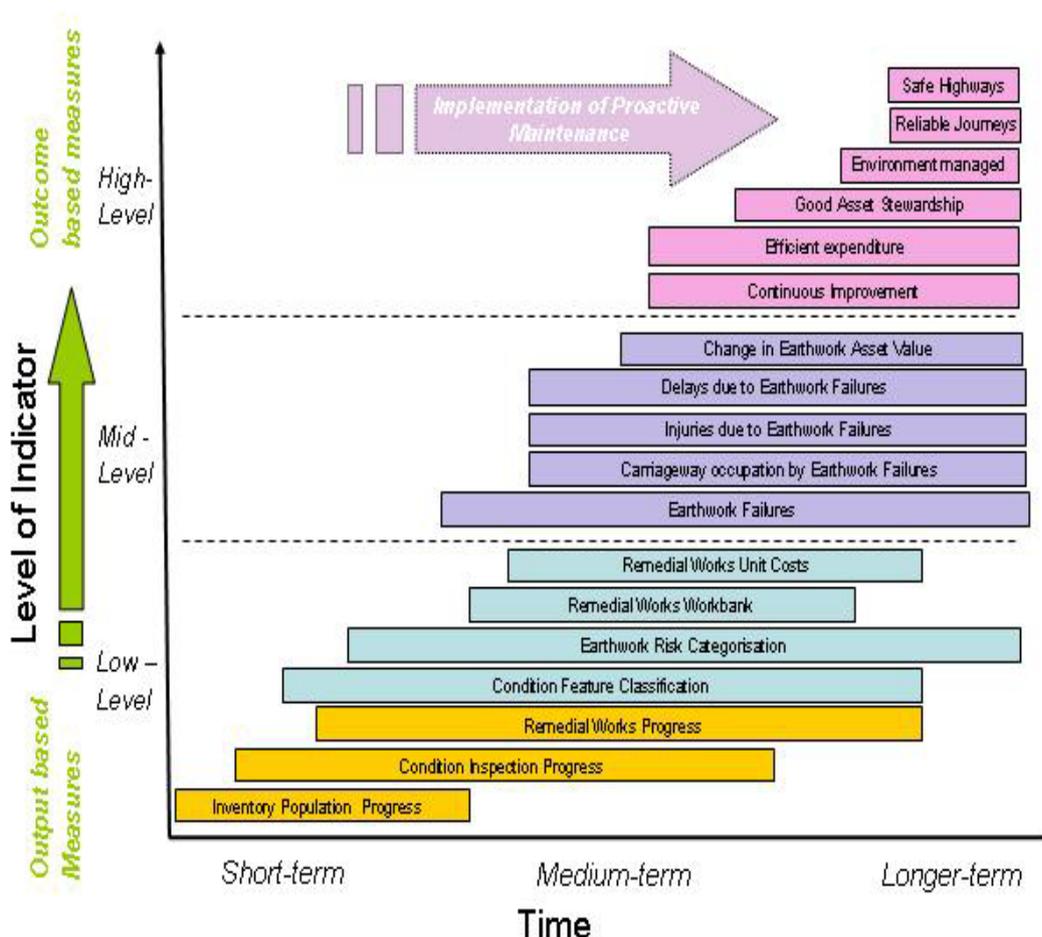
### Indicadores de desempeño

El trabajo realizado permite de emitir las siguientes sugerencias:

- Una combinación de esfuerzos concertados (« *output* ») y de resultados objetivos (« *outcome* »), basado sobre los indicadores de desempeño podría adoptarse para la gestión de activos geotécnicos, y
- una mezcla de indicadores de nivel inferior sea utilizada para la gestión de un activo en particular, de indicadores de nivel medio para la determinación del desempeño para fines de gestión integral de los activos, e indicadores de nivel superior para proporcionar información a los usuarios, con
- una distinción entre los indicadores de desempeño relativos a los activos en sí y aquellos indicadores basados en el desempeño resultante para los usuarios de la carretera.

Un esquema del camino a seguir para el desarrollo de indicadores del desempeño geotécnico, en un marco de un sistema de gestión « pro-activo » está representado en la figura 5.1.

FIGURE 5.1 RoadMap for Development of Performance Indicators



### **TEMA 4.5.3 - ANTICIPAR LOS IMPACTOS DE LOS CAMBIOS CLIMÁTICOS**

La evolución del clima y las consecuencias que pueden producirse, son una de las principales preocupaciones del siglo XXI.

El objetivo inicial del tema era el de redactar un documento que permitiera de anticipar los efectos de esos cambios climáticos. En un inicio, y dado lo amplio del tema, el comité técnico decidió de hacer únicamente un artículo para la revista Routes/Roads.

La idea era la de establecer primeramente cual es la evolución del clima y fijarse un escenario. Pero se descubrió que los climatólogos no tienen un consenso sobre las evoluciones futuras a nivel mundial, por lo que fijar un escenario mundial fue imposible. Así fue que se decidió fijar solamente las grandes líneas de tendencia de esa evolución.

Sobre esta base, las consecuencias y desórdenes generados sobre las obras de tierra se establecieron. A partir de estos elementos, se generaron recomendaciones y soluciones prácticas.

La última parte del artículo debía de presentar algunos ejemplos de esos desórdenes resultantes de la evolución del clima.

Durante la reunión del comité en Lausana, Suiza, en noviembre del 2006, se decidió de elaborar finalmente un reporte. El documento existente tenía que completarse con elementos del clima y una parte más con las recomendaciones de la buena práctica con una calificación del riesgo para cada parte de la obra de tierra.

La primera parte del reporte presenta entonces los elementos que constituyen las hipótesis sobre la evolución del clima. No existe un escenario mundial validado, pero se reconoce que la temperatura media del planeta esta en aumento y que ciertos fenómenos, excepcionales hasta ahora, se reproducirán con mayor frecuencia. A nivel local, algunos países y regiones han establecido y validado su propio escenario de evolución; tal es el caso de Suiza y Québec que se presentan en el reporte.

La segunda parte del trabajo se articula alrededor del tema del agua: falta de agua ó su exceso, y su estado físico. Es dentro de una tabla, que se describen las posibles consecuencias de fenómenos meteorológicos y se dan algunas pistas de soluciones. Se distinguen los casos de los terraplenes y los cortes carreteros: las dificultades que se encuentran en cada configuración son diferentes. El problema de la elevación del nivel del mar, las modificaciones en el permafrost y el aumento en la fuerza de los vientos se tratan de manera específica. Las medidas preventivas se refieren no solamente a obras nuevas, donde se puede considerar la evolución climática en las fases del proyecto, sino también en obras existentes donde trabajos de mejoramiento y refuerzo se pueden realizar, se dan consejos de mantenimiento y operación y algunas propuestas de reparación cuando los desórdenes producidos son severos.

Varios son los ejemplos que se presentan en la tercera parte. Ellos se relacionan principalmente con fallas de terraplenes ó deslizamientos de tierras por presencia de agua en exceso. Si bien no están directamente relacionados a los cambios climáticos, esos desórdenes pidieran serlo en el futuro donde la frecuencia de ocurrencia pudiera aumentar.

Una estrategia se presenta en la cuarta parte del reporte. En ella se insiste en el hecho de que el presente no permite la anticipación de una condición futura, si no se toma en cuenta el último escenario para la evolución del clima en una cierta región. Se presentan recomendaciones generales y una estrategia para el peor de los casos.

Sobre la base de un escenario de evolución climática, el reporte presenta las medidas preventivas y un posible plan de acción para evitar los imponderables en el futuro.

## **CONCLUSIONES PROVISIONALES**

### **Tema 4.5.1**

#### ***Subtema 1***

Fuerte desarrollo en el empleo de técnicas de tratamiento de suelos en los países desarrollados en las últimas dos décadas. Sin embargo, aparecen muchos países emergentes que no tienen acceso a esas metodologías (costo, ausencia de ligantes ó de equipo adaptado, etc.).

Progreso importante en la concepción y la difusión de equipos de campo específicos para la puesta en obra del tratamiento de suelos.

Elaboración, en los países desarrollados, de normas y documentos técnicos de referencia relativos al tratamiento de suelos y reconocidos por todos los actores: contratante, contratista, empresas, productores, etc.

Necesidad de integrar el tratamiento de suelos dentro de una estrategia de tratamiento durable a través de la consideración de elementos positivos (economía de materiales, aumento de la tasa de reutilización de materiales del lugar y disminución de vertederos...), pero también existen elementos más difíciles a valorar como los gastos de energía ó la emisión de gases.

Se necesita una mejor comprensión de los fenómenos fisico-químicos de las reacciones de fraguado, para optimizar los efectos y aumentar la durabilidad.

Es necesario desarrollar ligantes carreteros específicos y metodologías particulares que permitan inhibir, o al menos minimizar, la acción perturbadora de ciertos elementos (químicos ó mineralógicos) que se encuentran en ocasiones en los suelos naturales.

Adaptar el tratamiento de suelos a los materiales marginales ó fuera de especificación, de modo a optimizar su reutilización.

Elaborar y desarrollar técnicas confiables de puesta en obra del tratamiento de suelos para países en vías de desarrollo. Esas técnicas deberán estar basadas, por ejemplo, en una fuerte utilización de mano de obra local y de equipos sencillos, a tracción animal quizás, como sustitución de los equipos de campo sofisticados.

## ***Subtema 2***

Mucha variabilidad en el empleo de residuos y subproductos industriales como materiales de construcción en carreteras. Si bien el concepto de reutilización de esos materiales es bien tomado en cuenta en algunos países desarrollados del hemisferio norte, productores todos ellos de subproductos industriales, en muchos otros países es prácticamente ignorado.

Dos políticas públicas parecen enfrentarse : una promueve la reutilización de tales materiales (Francia, por ejemplo) a pesar de los riesgos ambientales potenciales y otra que aplica estrictamente el principio de precaución depositando esos materiales en vertederos especializados (Suiza, por ejemplo).

Las legislaciones (nacional ó europea) están en general bien adaptadas para el caso de los países implicados directamente en la reutilización de residuos y subproductos industriales pero se necesita de documentos técnicos de referencia que definan las condiciones del empleo.

La naturaleza de los subproductos industriales utilizados como materiales en estructuras carrteras está relacionado directamente con la producción industrial local. Salvo un caso particular, existe muy poca importación ó exportación de esos materiales.

El modo de empleo de esos materiales es constante en todos los países, en la mayoría se utilizan en la construcción de terraplenes, a veces incluso en capa de subrasante ó explanada.

Si bien el impacto en el medio ambiente es una preocupación reconocida por todos, su consideración efectiva necesita un mayor desarrollo e investigación.

Necesidad de promover la valoración de esos materiales sobre terraplenes de prueba para dominar tanto las características geotécnicas como las ambientales.

Necesidad de instalar una política de calidad y trazabilidad en el uso de esos materiales.

Interés en la adaptación de ensayos y del perfeccionamiento de ensayos específicos para la caracterización geotécnica y ambiental de esos materiales. Esto es esencial ya que los ensayos clásicos no son necesariamente los más adecuados.

### **Tema 4.5.2**

- Se recomienda a la PIARC de proseguir mucho más en el estudio de los indicadores utilizados en el mundo de otro tipo de infraestructura, como las presas, ferrocarriles, etc.
- Se requiere de un esfuerzo adicional para comparar los costos , la validez y la confiabilidad de los datos que se utilizan en una gestión de activos « reactiva » con una gestión del tipo « pro-activa ». Esto permitiría de fortalecer la elección de un tipo u otro.
- La evaluación efectiva y material de los activos geotécnicos se debe llevar a cabo.
- Un enfoque « pro-activo » de la gestión de activos requiere de datos de buena calidad. Existe actualmente un esfuerzo internacional en ese sentido y podría ser apoyado por la PIARC.
- Este trabajo ha permitido de poner en evidencia que un procedimiento coherente se necesita para la evaluación de los diferentes activos. Los campos particulares del costo de ciclo de vida, la gestión de riesgos y el control de los costos de gestión deben de ser integrados. Esto permitiría que los activos que actualmente presente una baja frecuencia de fallas pero con impactos grandes en la operación de la red (como lo son los activos de estructuras geotécnicas y estructurales) se puedan comparar en costo con aquellos activos con una frecuencia elevada de fallas pero con impactos relativamente bajos.

### **Tema 4.5.3**

Este tema será parte de una sesión especial en el Congreso Mundial de Carreteras sobre los cambios climáticos. Las conclusiones generales de este tema se establecerán al final de esa sesión.