



UNIVERSIDAD DE  
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL  
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

# EL CEMENTO Y EL CONCRETO EN LA INFRAESTRUCTURA VIAL



**PITRA** Programa de  
Infraestructura del Transporte

# ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>5</b>
<b>1. DISEÑO MECANÍSTICO EMPÍRICO</b>	<b>5</b>
1.1. Desarrollo de modelos estadísticos para la determinación de respuestas mecánicas críticas en pavimentos rígidos .....	5
1.2. Herramienta de Cálculo Complementaria a la Nueva Metodología de Diseño Mecanístico-Empírico de Pavimentos Rígidos de Costa Rica .....	6
1.3. Modelos de Desempeño en Pavimentos Rígidos .....	7
<b>2. EVALUACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES</b>	<b>8</b>
2.1. Evaluación del Comportamiento a la Fatiga de una Mezcla de Concreto MR-4,5 MPa con Adición de Fibras de Polipropileno .....	8
2.2. Desarrollo de un protocolo de ensayo para estimación de fatiga en una base estabilizada con cemento .....	9
<b>3. EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO</b>	<b>10</b>
3.1. Evaluación del desempeño de materiales tratados con cemento en tramos de prueba .....	10
3.2. Evaluación del efecto de la temperatura en la regularidad superficial de pavimentos rígidos .....	12
<b>4. NUEVOS PROYECTOS</b>	<b>13</b>
<b>5. ESTUDIO DE CASOS MEDIANTE INFORMES DE AUDITORÍA TÉCNICA</b>	<b>14</b>
5.1. Estudio de Casos sobre Bases Estabilizadas con Cemento .....	14
5.2. Estudio de Casos sobre IRI en Pavimentos Rígidos .....	15
<b>6. OTROS DOCUMENTOS RELACIONADOS</b>	<b>17</b>
6.1. Experiencia costarricense en diseño, aseguramiento de la calidad y construcción de bases estabilizadas con cemento .....	17
6.2. Especificación para Resistencia a la Compresión Máxima de Base Estabilizada con Cemento .....	17
6.3. Transferencia de Tecnología en IRI .....	18
<b>REFERENCIAS</b>	<b>19</b>

# EL CEMENTO Y EL CONCRETO EN LA INFRAESTRUCTURA VIAL

PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN  
PITRA LANAMME UCR

Sequeira-Rojas, Wendy<sup>1</sup>, Aguiar-Moya, José Pablo<sup>2</sup>, Loría-Salazar, Guillermo<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Coordinadora Unidad Auditoría Técnica PITRA LANAMME UCR

<sup>2</sup> Coordinador Unidad Materiales y Pavimentos PITRA LANAMME UCR

<sup>3</sup> Coordinador general PITRA LANAMME UCR

**Palabras Clave:** cemento, concreto, desempeño, diseño, evaluación

**Resumen:** Este documento tiene como objetivo principal informar sobre las diversas líneas de investigación que se han desarrollado en el Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA) en el área del cemento y del concreto. Específicamente, se presenta un resumen de los proyectos que se están realizando en las áreas de diseño mecanístico empírico, evaluación y caracterización de materiales y evaluación del desempeño.

**Keywords:** cement, concrete, performance, design, evaluation

**Abstract:** The main objective of this document is to show the research projects in cement and concrete that the Transportation Infrastructure Program (PITRA) has been developed. A summary of projects is presented, specifically in the areas of mechanistic empirical design, evaluation and characterization of materials and performance evaluation.

---

## Referencias

1. Alfaro Martínez, J. P. (2015). *Análisis experimental de las variables mecánicas que definen el comportamiento de las bases estabilizadas para carreteras ante cargas de fatiga*. Universidad de Costa Rica. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Civil: Proyecto de graduación.
2. Miranda Villegas, J. M. (2016). *Modelos de desempeño en pavimentos rígidos*. Universidad de Costa Rica. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Civil: Proyecto de graduación.
3. Monge Morales, S. (2013). *Evaluación del comportamiento a la fatiga de una mezcla de concreto MR-4,5 MPa con adición de fibras de polipropileno*. Universidad de Costa Rica. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Civil: Proyecto de graduación.
4. Quirós Orozco, R. J. (2015). *Desarrollo de modelos estadísticos para la determinación de respuestas mecánicas críticas en pavimentos rígidos*. Universidad de Costa Rica. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Civil: Proyecto de graduación (licenciatura en ingeniería civil).
5. Vargas Perez, L. F. (2016). *Herramienta de Cálculo Complementaria a la Nueva Metodología de Diseño Mecanístico-Empírico de Pavimentos Rígidos de Costa Rica*. Universidad de Costa Rica. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Civil: Proyecto de graduación.

6. Salas Chaves, M., Acosta Hernández, E., Arriola Guzmán, R. (2009). LM-AT-156-09: Evaluación de Regularidad Superficial (IRI), Proyecto: Mejoramiento de la Ruta Nacional No. 204, Sección: Zapote-San Francisco. Informe PITRA, LanammeUCR.
7. Arriola Guzmán, R., Salas Chaves, M., Hidalgo Arroyo, A.E. (2009). LM-AT-215-09: Evaluación de Regularidad Superficial (IRI), Proyecto: Mejoramiento de la Ruta Nacional No. 211, Sección: San Francisco-La Colina. Informe PITRA, LanammeUCR.
8. Arriola Guzmán, R., Hidalgo Arroyo, A.E. (2009). LM-AT-255-09: Evaluación de Regularidad Superficial (IRI), Proyecto: Mejoramiento de la Ruta Nacional No. 167, Sección: Librería Universal - M.A.G. (La Salle). Informe PITRA, LanammeUCR.
9. Arriola Guzmán, R., Hidalgo Arroyo, A.E. (2010). LM-AT-111-10: Evaluación de Regularidad Superficial (IRI), Proyecto: Mejoramiento de la Ruta Nacional No. 34, Sección: Librería Universal - M.A.G. (La Salle). Informe PITRA, LanammeUCR.

## INTRODUCCIÓN

Uno de los pilares fundamentales que desarrolla el Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA) es la Gestión del Conocimiento. Como parte de esta tarea se han creado programas permanentes de investigación y actualización; complementados por la experiencia y la información técnica recopilada en las actividades de evaluación, fiscalización y asesoría técnica realizadas.

Dentro del programa de investigación dedicado a estudiar los materiales utilizados en la construcción de vías, se crearon diversas líneas de investigación destinadas a profundizar más en el comportamiento del cemento y del concreto. Específicamente, se están desarrollando líneas de investigación en las siguientes áreas:

- Diseño mecánico empírico
- Evaluación y caracterización de materiales
- Evaluación del desempeño.

A continuación se presenta un resumen de los proyectos que se están desarrollando en cada una de las líneas de investigación mencionadas anteriormente así como diversos estudios de casos y documentación complementaria que se ha generado a través de las actividades de fiscalización y asesoría técnica.

### 1. DISEÑO MECANÍSTICO EMPÍRICO

#### 1.1. Desarrollo de modelos estadísticos para la determinación de respuestas mecánicas críticas en pavimentos rígidos

El proyecto desarrolla mediante metodologías estadísticas de regresión lineal múltiple y de redes neurales artificiales, una serie de modelos predictivos de respuestas mecánicas críticas en pavimentos rígidos para su uso en metodologías de diseño mecanicistas. Estos modelos, fueron incluidos en una herramienta de cálculo computacional desarrollada propiamente para el proyecto denominado ApRIGID.

La obtención de una base de datos de calibración para el proyecto implicó la caracterización y análisis por medio del software de elemento finito ISLAB2000 de 19.683 estructuras de pavimentos rígidos. Los modelos fueron evaluados en tres posiciones de carga correspondientes a las tres respuestas mecánicas críticas del diseño empírico mecanicista definidos por la American Association of Highway and Transportation Officials (AASHTO). A partir de los modelos validados mediante técnicas estadísticas, se desarrolló la herramienta de cálculo ApRIGID.

Los modelos planteados presentan una excelente capacidad de predicción de respuestas mecánicas. La validación estadística desarrollada garantiza un adecuado comportamiento en procesos de diseño mediante metodologías empírico mecanicistas. La aplicación ApRIGID por su parte conformará a futuro, el motor de análisis estructural de la eventual guía de diseño empírico mecanicista de pavimento (CR-ME).



Figura 1. Interfaz principal de APRIGID. Fuente: Trabajo Final de Graduación, Ricardo José Quirós Orozco, 2015.

## 1.2. Herramienta de Cálculo Complementaria a la Nueva Metodología de Diseño Mecánico-Empírico de Pavimentos Rígidos de Costa Rica

Este trabajo compiló la información existente para el diseño mecánico-empírico de pavimentos rígidos en el país y por otro lado, elaboró una herramienta computacional de diseño basada en estos planteamientos.

Se utilizó como base del desarrollo del trabajo la guía de diseño empírico mecanicista de la American Association of Highway and Transportation Officials (AASHTO). Se buscaron valores típicos y correlaciones de propiedades de materiales, datos de clima y tránsito, modelos de respuestas mecánicas y modelos de deterioro de pavimento desarrollados para Costa Rica.

Se establecieron correlaciones de propiedades del concreto, datos de tránsito, modelos de respuestas de pavimento y un modelo de deterioro para agrietamiento por fatiga desarrollados para el medio local. La herramienta ME-CR Rigid 1.0 desarrollada permite el diseño iterativo de estructuras simples de pavimentos rígidos usando planteamientos mecánicos-empíricos.

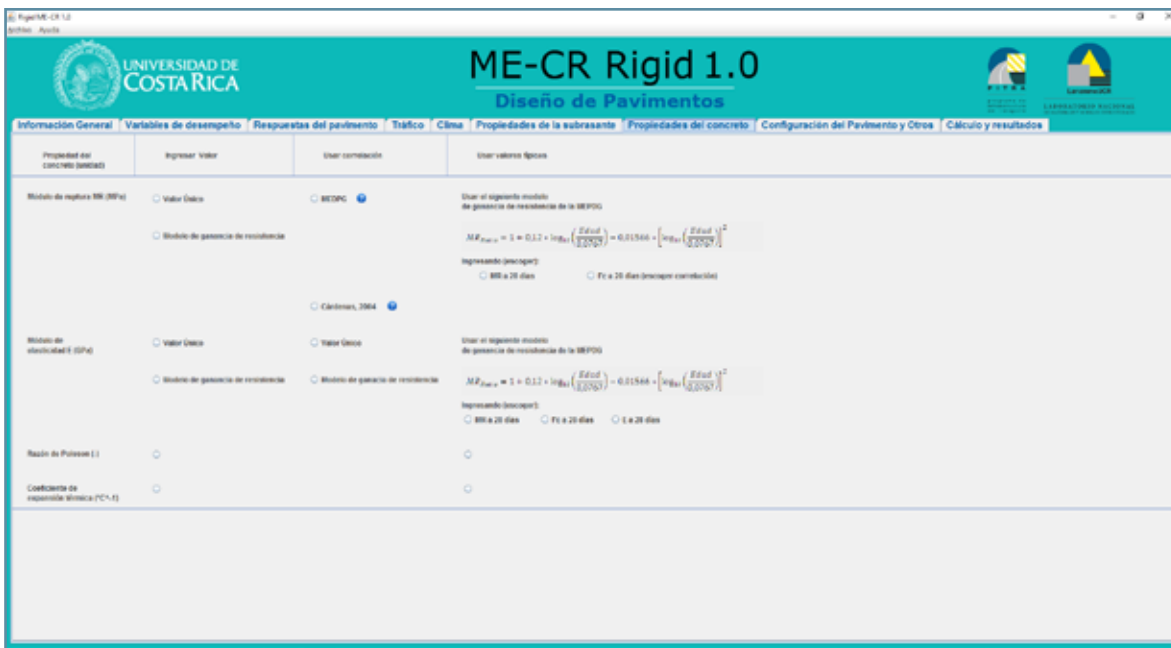


Figura 2. Interfaz principal de ME-CR Rigid 1.0. Fuente: Trabajo Final de Graduación, Luis Felipe Vargas Pérez, 2016.

### 1.3. Modelos de Desempeño en Pavimentos Rígidos

En este proyecto se desarrolló un modelo genérico de fatiga a partir del análisis de los resultados del ensayo de fatiga elaborado a tres tipos de concreto utilizados en proyectos viales de Costa Rica.

Se modeló una estructura de pavimento mediante el software ISLAB2000 y el programa ApRIGID 1.0, para obtener respuestas con las cuales se probó el modelo de fatiga. Adicionalmente, se realizó una investigación sobre los procedimientos de diseño de la guía del MEPDG (Mechanistic Empirical Pavement Design Guide), y se concluyó que para el desarrollo de metodologías mecanicistas aplicables a Costa Rica, tal como la guía de diseño empírico mecanicista de pavimento (CR-ME), es importante considerar todos los elementos que afectan el desempeño de los pavimentos rígidos, desde las características del tráfico, las condiciones climáticas, los aspectos concernientes al diseño estructural y las propiedades de los materiales.

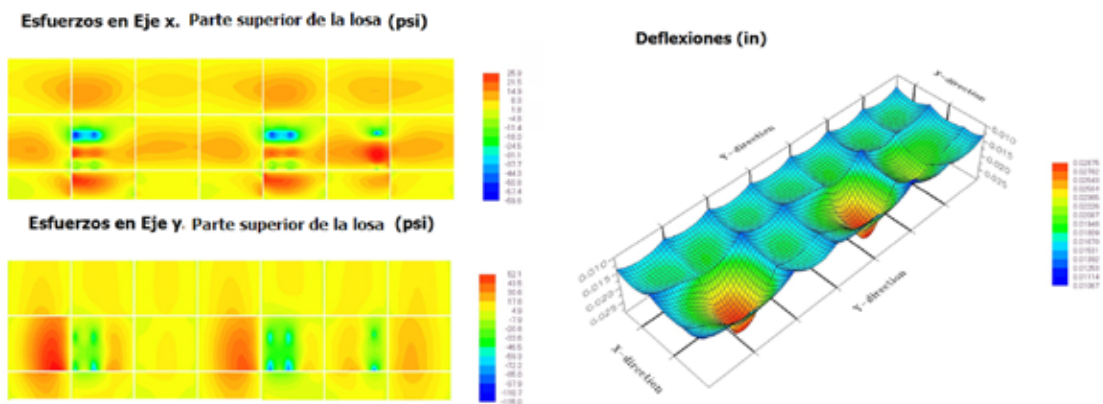


Figura 3. Modelaciones en ISLAB. Fuente: Trabajo de Graduación, José Mauricio Miranda Villegas, 2016.

## 2. EVALUACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES<sup>1</sup>

### 2.1. Evaluación del Comportamiento a la Fatiga de una Mezcla de Concreto MR-4,5 MPa con Adición de Fibras de Polipropileno

Esta investigación permitió desarrollar el primer protocolo de ensayo en Costa Rica para cuantificar el daño por fatiga en el concreto. Adicionalmente, se evaluó el comportamiento a la fatiga del concreto con adición de fibras de polipropileno.

Se realizaron ensayos de resistencia mecánica para evaluar el comportamiento del concreto con y sin adición de fibras de polipropileno. Se eligió un porcentaje de dosificación óptimo de fibra con el que se realizaron los ensayos dinámicos. A partir de los resultados de los ensayos dinámicos se determinó el modelo de fatiga con el cual se realizó el diseño mecanicista del pavimento rígido.

La importancia del trabajo radica en la implementación del ensayo de fatiga para concreto en el LanammeUCR. Los resultados de la investigación se han ido complementando con otras investigaciones siguiendo el mismo método de ensayo. Se encontró que el concreto con adición de fibras de polipropileno presenta mejor comportamiento a la fatiga que el concreto simple.

<sup>1</sup> Para la evaluación y caracterización del cemento y del concreto se cuenta permanentemente con la colaboración del Laboratorio de Infraestructura Civil del LanammeUCR.





Fotografía 1. Montaje de ensayo de fatiga en concreto. Fuente: Trabajo de Graduación, Sukti Monge Morales, 2013.

## 2.2. Desarrollo de un protocolo de ensayo para estimación de fatiga en una base estabilizada con cemento

Como parte de las investigaciones que se realizan de forma periódica en el LanammeUCR, se está desarrollando actualmente un proyecto que busca establecer un protocolo de ensayo para estimación de fatiga en una base estabilizada con cemento.

Este proyecto contribuirá al mejoramiento del diseño de pavimentos a nivel general, lo que permitirá que a mediano y largo plazo se incorporen los conocimientos adquiridos en materia de desempeño de las bases estabilizadas con cemento de forma que influyan directamente en la vida útil de los pavimentos a nivel nacional y la optimización de los recursos invertidos en la rehabilitación y mantenimiento de las obras viales.

Pese a que en Costa Rica se han realizado investigaciones en el tema de las bases estabilizadas con cemento, no existe una ley o modelo de fatiga que permita definir las variables de diseño para las bases estabilizadas que fundamente valores de límites de resistencia y fatiga.

Es importante recalcar que en el país no se ha implementado completamente un ensayo de fatiga para bases estabilizadas con cemento, por lo que este proyecto será de gran importancia para el desarrollo del conocimiento y especificaciones en este tema.

Los resultados generados a partir de la calibración del modelo de fatiga serán un aporte para este laboratorio, con el objetivo de impulsar la creación de una ley de fatiga en bases estabilizadas en Costa Rica que se utilice como insumo para regular la construcción de los pavimentos construidos en el país.



Fotografía 2. Falla de espécimen de base estabilizada con cemento. Fuente: Trabajo de Graduación, José Pablo Alfaro Martínez, 2015.

### **3. EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO**

#### **3.1. Evaluación del desempeño de materiales tratados con cemento en tramos de prueba.**

Esta investigación busca verificar y monitorear la evolución del desempeño de las bases estabilizadas con cemento mediante la construcción de tramos de prueba, empleando las técnicas de construcción típicamente utilizadas en el país. Una vez construidos estos tramos, se evaluará el desempeño de los mismos en distintos momentos durante su vida útil, mediante mediciones de deflectometría, con el objetivo de verificar si la técnica representa una solución competitiva, económica y ambientalmente amigable que ofrezca una mejor superficie de ruedo y mejor desempeño ante condiciones de lluvia y humedad.

En 2015 se realizó el primer tramo de prueba en Cartago, en donde se realizaron sub tramos con diferentes contenidos de cemento y se han realizado 4 mediciones con el deflectómetro de impacto para analizar su desempeño estructural.



Fotografía 3. Tramo de prueba de base estabilizada ubicado en Cartago, 2015. Fuente: LanammeUCR

La técnica también está siendo estudiada, bajo distintas condiciones de saturación, en el PaveLab (Laboratorio de Pavimentos a Escala Natural) del LanammeUCR con el Simulador de Vehículos Pesados (HVS-Mark VI).

Con base en dicha investigación se tiene un mayor entendimiento del comportamiento y durabilidad de las bases estabilizas con cemento.



Fotografía 4. Proceso de colocación de base estabilizada en PaveLab, 2013. Fuente: LanammeUCR

### 3.2. Evaluación del efecto de la temperatura en la regularidad superficial de pavimentos rígidos

Estudios internacionales han demostrado que existen diferencias significativas en las mediciones de regularidad superficial en pavimentos rígidos dependiendo de la temperatura horaria diaria en que se realicen dichas mediciones, así como en la época del año. Estas diferencias se han atribuido al efecto del alabeo por temperatura y humedad.

En el caso de Costa Rica, no existen investigaciones al respecto, por lo que este estudio pretende estimar valores de IRI tomando como variables diferentes horarios (diurno y nocturno) y épocas del año.

Como objeto de estudio se está tomando la Ruta Nacional N°1, específicamente el tramo Cañas – Liberia, en el cual ya se realizaron las primeras mediciones en el día y en la noche.

Los resultados de esta investigación pretenden aportar insumos que permitan estandarizar los requerimientos de mediciones de regularidad superficial establecidos en las especificaciones vigentes en el país.



Fotografía 5. Ruta 1, sección Cañas – Liberia, 2016. Fuente: LanammeUCR

#### 4. NUEVOS PROYECTOS

Adicional a los proyectos que se están desarrollando actualmente, existen otros que se han planteado como parte de las líneas de investigación en concreto. Algunos de estos proyectos aún no han iniciado pero surgen con el objetivo de complementar las investigaciones presentadas anteriormente:

- Mejora en el modelo de predicción de respuestas de pavimentos rígidos mediante Redes Neurales Artificiales.
- Mejora en la Interface de Cálculo de diseño ME de Pavimentos Rígidos de Costa Rica.
- Definición de una ley de fatiga para pavimentos rígidos
- Calibración modelos de deterioro de tramos de prueba de losas cortas en la pista a escala natural de ensayos acelerados del LanammeUCR.
- Modelación de Desempeño mediante Elemento Finito de Pavimentos de Adoquín.
- Calibración modelos de deterioro de tramos de prueba de pavimentos con adoquines en la pista a escala natural de ensayos acelerados del LanammeUCR.
- Medición del coeficiente de expansión térmica en concretos costarricenses.
- Evaluación del alabeo permanente.

## 5. ESTUDIO DE CASOS MEDIANTE INFORMES DE AUDITORÍA TÉCNICA

El LanammeUCR desde el año 2002 realiza fiscalización a proyectos viales del país (Ley N° 8114) mediante auditorías técnicas con el propósito de conocer la situación técnica, administrativa y financiera de los proyectos viales durante todas o cada una de las etapas de ejecución: planificación, diseño y especificaciones; cartel y proceso licitatorio; ejecución y finiquito. Las auditorías técnicas que realiza el LanammeUCR pretenden contribuir a que la construcción de las obras viales se logren ejecutar de una manera eficiente, minimizando la posibilidad de atrasos en los plazos de entrega del proyecto, gastos adicionales que se presenten por aspectos previsibles y procurando siempre la calidad requerida y esperada en las obras de acuerdo con las especificaciones establecidas en apego a la inversión realizada.

### 5.1. Estudio de Casos sobre Bases Estabilizadas con Cemento

Desde el año 2010 se han efectuado diversas auditorías técnicas dando especial atención a los procesos de fabricación y construcción de bases estabilizadas, y a continuación se resumen las particularidades observadas en los casos estudiados.

**Caso Cañas - Liberia:** durante el proceso de fabricación de la base estabilizada efectuado entre el año 2013 a 2014 se denotan resistencias a la compresión mayores a la especificada, para una base Tipo BE-35 cuya resistencia promedio es de 40 kg/cm<sup>2</sup>.

De acuerdo con los resultados de ensayo del proyecto se evidencia un cumplimiento de la resistencia promedio requerida de un 17% y un 4% para los años indicados. Asimismo se determina que el 50% de estos valores son mayores a resistencias de 50 kg/cm<sup>2</sup> y 70 kg/cm<sup>2</sup>, llegando a reportarse valores de 113 kg/cm<sup>2</sup> (2013) y 156 kg/cm<sup>2</sup> (2014).

**Caso Bernardo Soto:** en este proyecto se especificó un tipo de base estabilizada que no se encuentra normada en el país, por lo que la resistencia a la compresión se compara con el tipo de base BE-35 cuya resistencia promedio es de 40 kg/cm<sup>2</sup>. De los datos analizados se determina que el 10% de los valores cumplen el requisito promedio, llegándose a observar valores de 95 kg/cm<sup>2</sup>.

**Caso Sifón La Abundancia:** la base estabilizada especificada para este proyecto se estableció una resistencia promedio de 30 kg/cm<sup>2</sup>, correspondiente a una base tipo BE-25. Del análisis de los resultados de ensayo para el periodo 2014 a 2016 se denota un incumplimiento general de este requisito, reportándose valores al menos 1,5 veces superiores. Además se determina que durante este periodo el 50% de estos valores son mayores a resistencias de 60 kg/cm<sup>2</sup>, aproximadamente, llegándose a reportar valores de 145 kg/cm<sup>2</sup>.

**Proyectos varios:** se denota un bajo cumplimiento con relación al valor promedio especificado por la normativa para los diferentes tipos de base estabilizada utilizada en los proyectos. Asimismo, se observa que en la mayoría de los casos el 50% de las resistencias a la compresión son mayores al menos 1,5 veces a la resistencia solicitada. Inclusive se reportan valores de 145 kg/cm<sup>2</sup>, siendo hasta 3,4 veces lo requerido.



Fotografía 6. Colocación de base estabilizada con cemento en proyecto Sifón – La Abundancia. Fuente: LanammeUCR

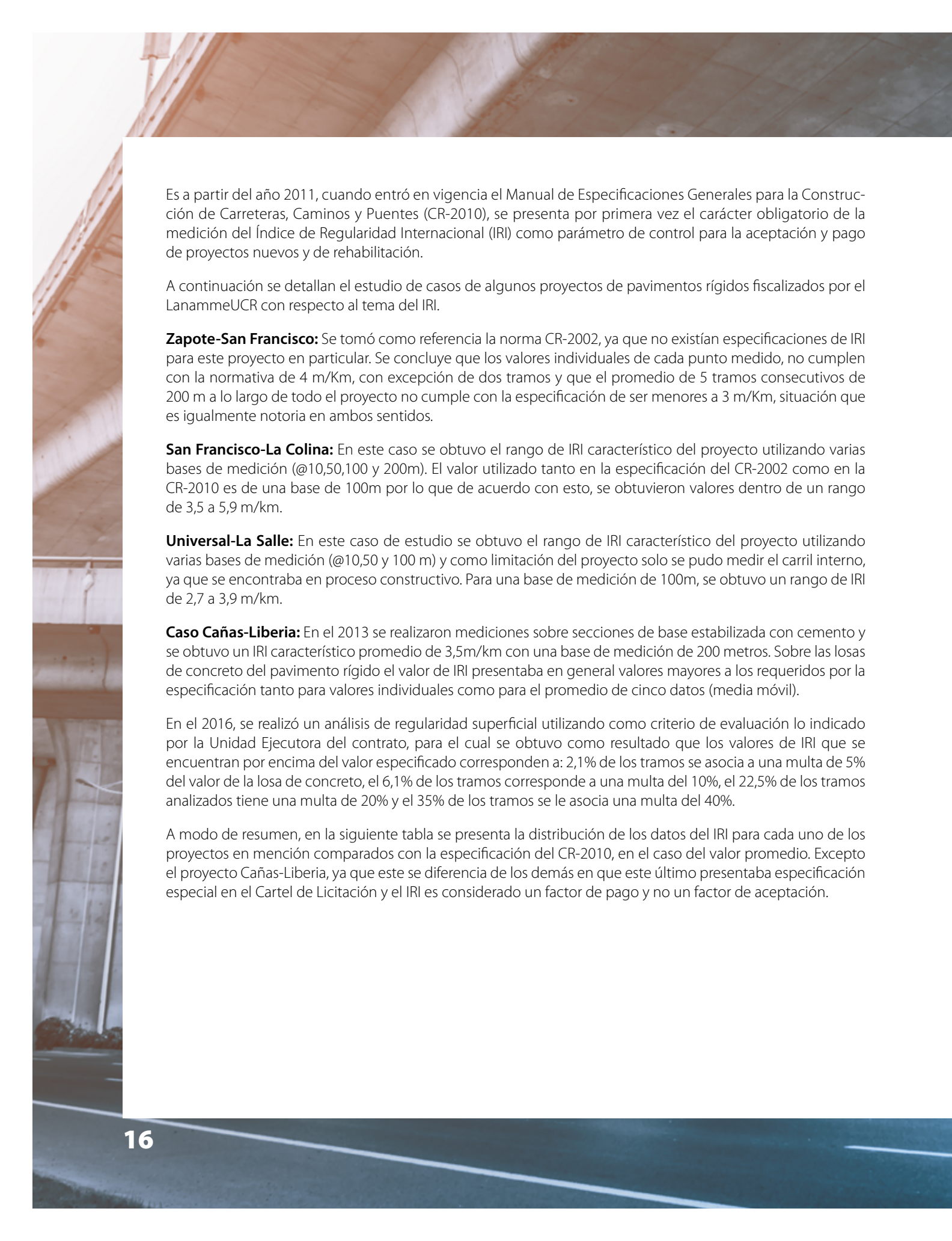
Tabla 1. Cumplimiento de parámetro de resistencia a la compresión de la base estabilizada con cemento en proyectos auditados por LanammeUCR

Proyecto	Heredia-Alajuela	Sabalito – Las Mellizas	27 de Abril - Villareal	Paso a desnivel Paso Ancho
Tipo de Base	BE25	BE25	BE25	BE35
Valor promedio especificado (kg/cm <sup>2</sup> )	40	30	30	40
Cumplimiento con respecto a valor promedio	9,0%	4,0%	2,0%	10,0%
Cumplimiento con respecto a límite máximo	31%	32%	13%	10%
50% de datos mayor a	61,0	48,0	46,0	76,0
Valor máximo (kg/cm <sup>2</sup> )	130,0	75,5	64,8	135,0

## 5.2. Estudio de Casos sobre IRI en Pavimentos Rígidos

Desde el año 2009 se han efectuado auditorías técnicas en proyectos de obra nueva, así como en rehabilitaciones realizadas en pavimentos de concreto de la Red Vial Nacional considerando el índice de Regularidad Internacional (IRI) como un parámetro de suma relevancia para cuantificar el desempeño del pavimento.

El IRI es un parámetro de gran importancia utilizado en el control, aceptación y recepción de proyectos nuevos y de rehabilitación de carreteras, ya que este permite garantizar la funcionalidad del pavimento, por lo que brinda mayor seguridad y confort a los usuarios.



Es a partir del año 2011, cuando entró en vigencia el Manual de Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras, Caminos y Puentes (CR-2010), se presenta por primera vez el carácter obligatorio de la medición del Índice de Regularidad Internacional (IRI) como parámetro de control para la aceptación y pago de proyectos nuevos y de rehabilitación.

A continuación se detallan el estudio de casos de algunos proyectos de pavimentos rígidos fiscalizados por el LanammeUCR con respecto al tema del IRI.

**Zapote-San Francisco:** Se tomó como referencia la norma CR-2002, ya que no existían especificaciones de IRI para este proyecto en particular. Se concluye que los valores individuales de cada punto medido, no cumplen con la normativa de 4 m/Km, con excepción de dos tramos y que el promedio de 5 tramos consecutivos de 200 m a lo largo de todo el proyecto no cumple con la especificación de ser menores a 3 m/Km, situación que es igualmente notoria en ambos sentidos.

**San Francisco-La Colina:** En este caso se obtuvo el rango de IRI característico del proyecto utilizando varias bases de medición (@10,50,100 y 200m). El valor utilizado tanto en la especificación del CR-2002 como en la CR-2010 es de una base de 100m por lo que de acuerdo con esto, se obtuvieron valores dentro de un rango de 3,5 a 5,9 m/km.

**Universal-La Salle:** En este caso de estudio se obtuvo el rango de IRI característico del proyecto utilizando varias bases de medición (@10,50 y 100 m) y como limitación del proyecto solo se pudo medir el carril interno, ya que se encontraba en proceso constructivo. Para una base de medición de 100m, se obtuvo un rango de IRI de 2,7 a 3,9 m/km.

**Caso Cañas-Liberia:** En el 2013 se realizaron mediciones sobre secciones de base estabilizada con cemento y se obtuvo un IRI característico promedio de 3,5m/km con una base de medición de 200 metros. Sobre las losas de concreto del pavimento rígido el valor de IRI presentaba en general valores mayores a los requeridos por la especificación tanto para valores individuales como para el promedio de cinco datos (media móvil).

En el 2016, se realizó un análisis de regularidad superficial utilizando como criterio de evaluación lo indicado por la Unidad Ejecutora del contrato, para el cual se obtuvo como resultado que los valores de IRI que se encuentran por encima del valor especificado corresponden a: 2,1% de los tramos se asocia a una multa de 5% del valor de la losa de concreto, el 6,1% de los tramos corresponde a una multa del 10%, el 22,5% de los tramos analizados tiene una multa de 20% y el 35% de los tramos se le asocia una multa del 40%.

A modo de resumen, en la siguiente tabla se presenta la distribución de los datos del IRI para cada uno de los proyectos en mención comparados con la especificación del CR-2010, en el caso del valor promedio. Excepto el proyecto Cañas-Liberia, ya que este se diferencia de los demás en que este último presentaba especificación especial en el Cartel de Licitación y el IRI es considerado un factor de pago y no un factor de aceptación.



Tabla 2: Porcentaje de m/km del valor del IRI para proyectos de pavimento rígido

Porcentaje de m/Km	CR-2010	Proyectos de obra vial analizados		
	(Resto de Vías) m/Km	Zapote-San Francisco	San Francisco-La Colina	Universal-La Salle
50	1,5	4,6	4,4	3,1
80	2,0	4,7	4,5	3,5
100	2,5	4,8	4,7	4,0

Nota: Base de medición es de 100m, año de medición: 2009, tomado del Informe LM-PI-AT-042-12.

## 6. OTROS DOCUMENTOS RELACIONADOS

### 6.1. Experiencia costarricense en diseño, aseguramiento de la calidad y construcción de bases estabilizadas con cemento

En el año 2012, como parte del esfuerzo del PITRA en aportar en el conocimiento en el tema de bases estabilizadas se realiza una publicación relacionada con la "Experiencia costarricense en diseño, aseguramiento de la calidad y construcción de bases estabilizadas con cemento" en el que se recopila el conocimiento y experiencia de ingenieros costarricenses en el diseño y construcción de esta capa de pavimento, incluyendo recomendaciones de resistencia, control de calidad, desempeño y aspectos constructivos. Este documento se puede descargar de la página del LanammeUCR.

### 6.2. Especificación para Resistencia a la Compresión Máxima de Base Estabilizada con Cemento

En el año 2015, como parte de una disposición de la Contraloría General de la República, se efectuó un estudio de la variabilidad espacial existente en los resultados de resistencia de base estabilizada con cemento en los proyectos de obra vial.

Del análisis estadístico de la información, se determinó que para una base estabilizada tipo BE-25 el valor máximo de resistencia a la compresión uniaxial a los 7 días corresponde a un valor de 3,9 MPa (39 kg/cm<sup>2</sup>) para una desviación estándar permisible de 0,5 MPa (39 kg/cm<sup>2</sup>) asociada con un nivel de confianza del 90%. Por tanto, se modificó la sección 302 «Base granular estabilizada con cemento» del CR 2010 y se estableció la siguiente especificación de resistencia a la compresión inconfina para producción de base tipo BE-25:

Tabla 3. Propuesta de cambio para la especificación de resistencia a la compresión inconfina para producción de base tipo BE-25

Resistencia a la compresión	Especificación
Mínima	2,1 MPa
Promedio	3,0 MPa
Máxima	3,9 MPa

### 6.3. Transferencia de Tecnología en IRI

El PITRA-LanammeUCR desde el 2004 ha venido desarrollando una serie de labores en investigación, asesoría, auditoría, evaluación, divulgación y capacitación, que se encuentran definidas dentro de sus obligaciones de ley, para la implementación del parámetro IRI en Costa Rica. Para ilustrar lo anterior, a continuación se despliega un listado con el nombre de algunos de los documentos y actividades realizadas:

#### **Documentos de investigación:**

- 2005: LM-PI-PV-IN-24b-05: Índice de Regularidad Internacional. Preparado por: Ing. Tracy Gutiérrez Ruiz.
- 2008: Proyecto No. UI-03-08: Determinación de un procedimiento de ensayo para el cálculo del IRI. Preparado por: Ing. Gustavo Badilla Vargas, Ing. Fabián Elizondo Arrieta, MSc, Ing. Roy Barrantes Jiménez.
- 2013: LM-PI-002-2013: Propuesta para la definición de un procedimiento de medición y análisis del Índice de Regularidad Internacional (IRI). Preparado por: Ing. Gustavo Badilla Vargas, Ing. Ana Elena Hidalgo Arroyo.

#### **Documentos de asesoría:**

- 2014: LM-PI-026-2014: Respuesta al oficio UE-358-2014 con referencia al proyecto Ampliación y Rehabilitación de la Ruta Nacional N°1, Carretera Interamericana Norte, Sección Cañas-Liberia. Preparado por: Ing. Luis Guillermo Loría Salazar, MSc, Ph.D.
- 2014: LM-PI-UMP-A-007 (Anexo al oficio LM-PI-026-2014, mencionado en la línea anterior): Consideraciones técnicas en relación con la especificación de IRI para el proyecto: Ampliación y rehabilitación de la Ruta Nacional No. 1, Carretera Interamericana Norte, sección Cañas - Liberia (LPI No. 2011LI-000004) y futuros proyectos de similar condición. Preparado por: Ing. Ana Elena Hidalgo Arroyo, Ing. Paulina Leiva Padilla.

#### **Artículos científicos:**

- 2004: Índice de Regularidad Internacional (IRI). Preparado por: Ing. Jorge Arturo Castro.
- 2009: Determinación de la regularidad superficial de pavimentos mediante el cálculo de índice internacional de regularidad (IRI). Preparado por: Ing. Gustavo Badilla Vargas.
- 2009: Determinación de la regularidad superficial de pavimentos mediante el cálculo de índice internacional de regularidad (IRI): Aspectos y consideraciones importantes

Adicionalmente, se elabora como una parte de las Investigaciones en Infraestructura del Transporte el documento "CIRCULAR Número LM-PI-C1" donde se realiza una compilación de esfuerzos realizados por la utilización del Índice Internacional de Regularidad (IRI) en Costa Rica, en este documento en el Capítulo 3: INDICE DE REGULARIDAD INTERNACIONAL EN EL PROYECTO CAÑAS - LIBERIA, se emite una recomendación en cuanto a los valores límites especificados en el proyecto y la aplicación del IRI como parámetro de pago.

## REFERENCIAS

Alfaro Martínez, J. P. (2015). Análisis experimental de las variables mecánicas que definen el comportamiento de las bases estabilizadas para carreteras ante cargas de fatiga. Universidad de Costa Rica. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Civil: Proyecto de graduación.

Miranda Villegas, J. M. (2016). Modelos de desempeño en pavimentos rígidos. Universidad de Costa Rica. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Civil: Proyecto de graduación.

Monge Morales, S. (2013). Evaluación del comportamiento a la fatiga de una mezcla de concreto MR-4,5 MPa con adición de fibras de polipropileno. Universidad de Costa Rica. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Civil: Proyecto de graduación.

Quirós Orozco, R. J. (2015). Desarrollo de modelos estadísticos para la determinación de respuestas mecánicas críticas en pavimentos rígidos. Universidad de Costa Rica. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Civil: Proyecto de graduación (licenciatura en ingeniería civil).

Vargas Perez, L. F. (2016). Herramienta de Cálculo Complementaria a la Nueva Metodología de Diseño Mecánico-Empírico de Pavimentos Rígidos de Costa Rica. Universidad de Costa Rica. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Civil: Proyecto de graduación.

Salas Chaves, M., Acosta Hernández, E., Arriola Guzmán, R. (2009). LM-AT-156-09: Evaluación de Regularidad Superficial (IRI), Proyecto: Mejoramiento de la Ruta Nacional No. 204, Sección: Zapote-San Francisco. Informe PITRA, LanammeUCR.

Arriola Guzmán, R., Salas Chaves, M., Hidalgo Arroyo, A.E. (2009). LM-AT-215-09: Evaluación de Regularidad Superficial (IRI), Proyecto: Mejoramiento de la Ruta Nacional No. 211, Sección: San Francisco-La Colina. Informe PITRA, LanammeUCR.

Arriola Guzmán, R., Hidalgo Arroyo, A.E. (2009). LM-AT-255-09: Evaluación de Regularidad Superficial (IRI), Proyecto: Mejoramiento de la Ruta Nacional No. 167, Sección: Librería Universal - M.A.G. (La Salle). Informe PITRA, LanammeUCR.

Arriola Guzmán, R., Hidalgo Arroyo, A.E. (2010). LM-AT-111-10: Evaluación de Regularidad Superficial (IRI), Proyecto: Mejoramiento de la Ruta Nacional No. 34, Sección: Librería Universal - M.A.G. (La Salle). Informe PITRA, LanammeUCR.

Arriola Guzmán, R., Hidalgo Arroyo, A.E. (2012). LM-PI-AT-042-12: Evaluación del desempeño de la condición superficial de proyectos de reconstrucción vial. Informe PITRA, LanammeUCR.

(2016). LM-PI-AT-034-16: Evaluación del PPC, de los Deterioros y del Desempeño de la Losa de Rodamiento mediante los parámetros de IRI y GRIP, del proyecto "Ampliación y Rehabilitación de la Ruta Nacional No. 1, Carretera Interamericana Norte, Sección Cañas -Liberia.", LPI NO. 2011LI-000004-0DI00. Informe PITRA, LanammeUCR.



**LABORATORIO NACIONAL**  
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

LanammeUCR

## **PROGRAMA DE INFRAESTRUCTURA DEL TRANSPORTE**

# **PITRA**

Ing. Luis Guillermo Loría Salazar, PhD.

*Coordinador General*

Ing. Fabián Elizondo Arrieta, MBA

*Subcoordinador*

### **UNIDADES**

#### **Unidad de Auditoría Técnica (UAT)**

Ing. Wendy Sequeira Rojas, MSc

*Coordinadora*

#### **Unidad de Seguridad Vial y Transporte (USVT)**

Ing. Diana Jiménez Romero, MSc, MBA

*Coordinadora*

#### **Unidad de Normativa y Actualización Técnica (UNAT)**

Ing. Raquel Arriola Guzmán

*Coordinadora*

#### **Unidad de Materiales y Pavimentos (UMP)**

Ing. José Pablo Aguiar Moya, PhD.

*Coordinador*

#### **Unidad de Gestión y Evaluación de la Red Vial Nacional (UGERVN)**

Ing. Roy Barrantes Jiménez

*Coordinador*

#### **Unidad de Gestión Municipal (UGM)**

Lic. Carlos Campos Cruz

*Coordinador*

CENTRO DE TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA

Diagramación, diseño y control de calidad: Licda. Daniela Martínez Ortiz / Óscar Rodríguez Quintana

EL CEMENTO Y EL CONCRETO EN LA INFRAESTRUCTURA VIAL

Junio, 2017