

90-3-13

**DETERIOROS PREMATUROS DE LA SUPERFICIE DE RUEDO DE UN
PROYECTO EN CONCESIÓN: CASO DE ESTUDIO**

Edgar Camacho Garita

Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, Universidad de Costa Rica
San José, Costa Rica
edgar.camachogarita@ucr.ac.cr

Alejandro Navas Carro, Msc.

Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, Universidad de Costa Rica
San José, Costa Rica
alejandro.navas@ucr.ac.cr

Resumen

El primer proyecto de carreteras construido en Costa Rica mediante la figura de concesión de obra pública es el proyecto denominado San José – Caldera, el cual es un proyecto de 77 kilómetros de longitud que une la ciudad capital con uno de los puertos de mayor importancia comercial del país. Por diversas situaciones presentadas durante el proceso constructivo se solicitó la asesoría del LanammeUCR en el análisis de la información disponible respecto a las propiedades de la mezcla asfáltica. El producto de dicho análisis se entrega meses antes de la inauguración del proyecto, poniendo en evidencia la vulnerabilidad de la mezcla asfáltica a sufrir deterioros prematuros producto de sus características volumétricas. Pese a esto el proyecto fue inaugurado el día 27 de enero de 2010. Después de diez meses de uso de la carretera se presentan diversos deterioros en la superficie de ruedo, por lo que nuevamente se solicita la intervención del LanammeUCR. Algunos de los deterioros que se pudieron documentar a lo largo del proyecto son: la pérdida de recubrimiento asfáltico de los agregados, la pérdida de agregado en la capa de rodadura y agrietamientos de diversa naturaleza. La intensidad y extensión con que se presentaron estos deterioros, así como su evolución de los deterioros, dependieron de diversos factores; presentándose en varios tramos del proyecto condiciones que propiciaron un muy acelerado deterioro. El artículo presenta el caso de estudio de los deterioros prematuros presentados este proyecto en concesión, buscando mostrar a la comunidad técnica regional los datos y la experiencia acumulados como parte del proceso de asesoría. Así como las posibles razones de los deterioros.

Resumo

O primeiro projeto de rodovia construída na Costa Rica através da figura de concessão de obra pública é o projeto chamado San José - Caldera, o qual é um projeto de 77 quilômetros de extensão que liga a capital com um dos portos comerciais mais importantes do país. Por várias situações apresentadas durante o processo construtivo foi solicitado o aconselhamento do LanammeUCR na análise das informações disponíveis sobre as propriedades da mistura asfáltica. O produto desta análise foi entregue meses antes da inauguração do projeto, destacando uma vulnerabilidade da mistura asfáltica a sofrer danos prematuros produto de suas propriedades volumétricas. Apesar disso, o projeto foi inaugurado o dia 27 de janeiro de 2010. Depois de dez

meses de uso da rodovia se apresentam vários danos na superfície de rolamento, e é por isso que novamente foi solicitado a intervenção do LanammeUCR. Alguns dos danos que foram documentados na extensión do projeto são: a perda do revestimento de asfalto dos agregados, a perda de agregado na camada de rolamento e trincas de diversas naturezas. A intensidade e extensión de como se apresentaram estes danos, e a evolução dos danos, depende de vários factores; aparecendo em várias seções do projeto condições que favoreceram uma deterioração muito rápida. O artigo apresenta o caso de estudo dos danos prematuros deste projeto em concessão, procurando mostrar à comunidade técnica regional os dados e a experiência acumulada que faz parte do processo de avaliação. Assim como também as possíveis razões para os danos.

INTRODUCCION

Este estudio se desarrolló como parte del proceso de apoyo y asesoría que ha brindando el Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad de Costa Rica, LanammeUCR, al Ministerio de Obras Públicas y Transportes de Costa Rica, en relación con las obras del Contrato de Concesión de la Carretera San José-Caldera. El objetivo de este estudio fue establecer las causas técnicas por las cuales se han presentado fallas de la mezcla asfáltica en algunas secciones de la carretera de forma prematura; adicionalmente establecer si los deterioros podrían seguirse presentando en el proyecto.

En el año 2009 se realizaron dos informes previos, de asesoría al Concejo Nacional de Concesiones, los mismos titulados: “Análisis del Diseño Estructural del Pavimento Propuesto en la Concesión de la Carretera San José – Caldera” (UI-PE-03-09) y “Análisis de los porcentajes de vacíos de la mezcla asfáltica para la Concesión de la Carretera San José – Caldera” (UI-PE-04-09).

Estos informes respondieron a solicitudes concretas hechas por el Concejo Nacional de Concesiones, a fin de analizar la información entregada para tales efectos. Los mismos fueron entregados el 11 de Diciembre de 2009 a dicha entidad. El presente estudio está enmarcado en el proceso de asesoría del proyecto de concesión de obra pública posterior a estos informes, pero también dio continuidad a los mismos.

Para la elaboración de este documento se retomaron algunos hallazgos presentados en el informe UI-PE-04-09, profundizando en su análisis a la luz de información adicional e inspecciones periódicas al proyecto, en Octubre y Noviembre de 2010, esto a fin de documentar la condición de la capa de ruedo compuesta por concreto asfáltico. Así mismo se analizó la documentación del proyecto relativa al tema.

ANTECEDENTES

En el informe “Análisis de los porcentajes de vacíos de la mezcla asfáltica para la Concesión de la Carretera San José – Caldera”, se señalan los valores obtenidos para los diferentes parámetros de caracterización tradicional de mezcla asfáltica en caliente.

En la Tabla 1 se resumen dichos valores. Donde se puede apreciar que para los vacíos en el agregado mineral, VMA, se presentan porcentajes altos de cumplimiento, siendo el menor 95% para las capas intermedias.

Tabla 1. Valores representativos de los diferentes parámetros para todos los datos analizados.

	% VMA	% VFA	Relación Polvo/Asfalto efectivo	Estabilidad (kg)	Flujo (cm/100)
<i>Percentil 90</i>	16,6	75,5	1,4	2081,3	37,4
<i>Promedio</i>	15,4	68,9	1,2	1725,0	33,2
<i>Percentil 10</i>	14,6	60,9	1,0	1393,0	28,5
<i>Especificación superior</i>	-	75	1,3	800 mínimo *m.s.	40 *m.s.
<i>Especificación inferior</i>	14 mínimo	65	0,6		20 *m.s.
Porcentaje de cumplimiento general	97,1%	63,6%	80%	100%	100%
<i>Porcentaje de cumplimiento para capa de rodadura</i>	99,0%	82,3%	83,6%	100%	100%
<i>Porcentaje de cumplimiento para capas intermedias</i>	95,2%	49,4%	74,9%	100%	100%

*m.s.: Marshall estándar.

Respecto al contenido de vacíos llenos de asfalto, VFA, se obtuvo un cumplimiento general de 63,6% de las muestras respecto a los límites de especificación contractuales, definidos en la disposición AM-01-2001 (65% a 75%). Debe tenerse claro, que el VFA, representa el contenido de cavidades llenas con asfalto en volumen efectivo relativo a la cantidad de cavidades en el agregado (llenas de aire y con asfalto efectivo). Un exceso puede provocar problemas de estabilidad y resistencia al resbalamiento; mientras que, una carencia, determina problemas de durabilidad, fatiga, flexibilidad y facilidad para trabajar con el material.

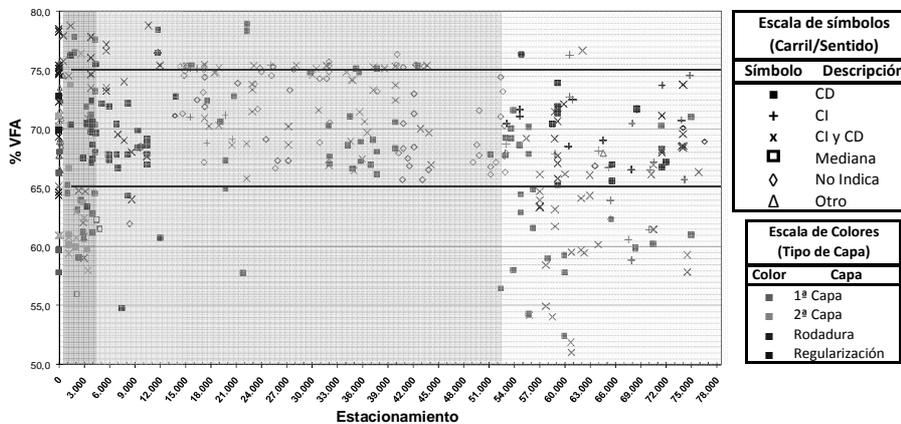
De la información expuesta anteriormente en la Tabla 1 se observa que la mezcla asfáltica contiene suficientes vacíos en el agregado mineral (VMA), los cuales son requeridos para “almacenar” el asfalto que contiene la mezcla, al analizar el porcentajes de estos vacíos llenos con asfalto se presentan incumplimientos tanto en la especificación superior como en la inferior, siendo marcados los incumplimientos del rango inferior, relacionados con dosificaciones bajas de asfalto. Es importante subrayar que el mayor incumplimiento de este parámetro se presenta en los tramos I (1) y III (3) y en las capas identificadas como capas intermedias, sin que esto excluya al resto de incumplimientos.

Con los mismos datos se muestra el Gráfico 2 con las relaciones de polvo contra asfalto para la mezcla asfáltica utilizada, según el estacionamiento donde fue colocada la mezcla. Es importante

aclarar que a la base de datos entregada con los resultados de laboratorio, le faltan datos de la capa de rodadura del tramo 2, pues estos no fueron entregados.

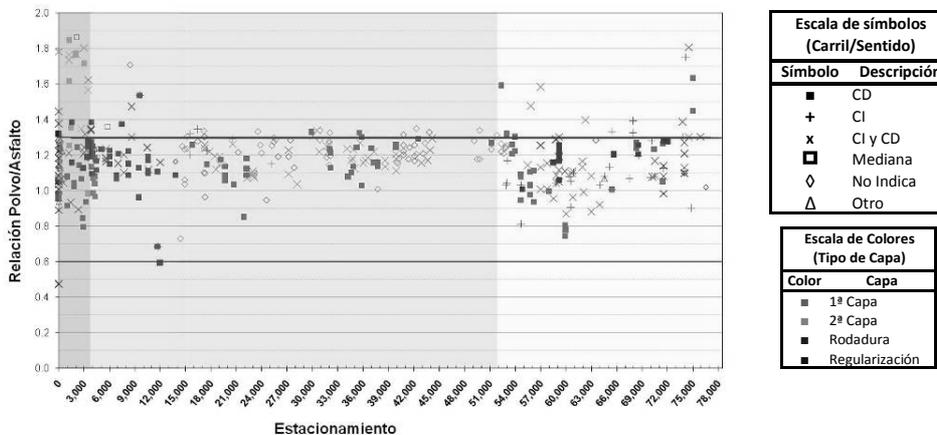
La relación polvo / asfalto define la cantidad de relleno mineral (fracciones muy finas de agregado que pasan por el tamiz 0.075mm (N°200)) y el contenido de asfalto efectivo que tiene la mezcla. De acuerdo con el Manual de principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente (MS-22) del Instituto del Asfalto, altos contenidos de relleno mineral, pueden absorber, literalmente gran parte del contenido de asfalto resultando en una mezcla inestable y seca. Valores por encima del rango máximo especificado se relaciona con bajos contenidos de asfalto o altos contenidos de relleno mineral los cuales producen mezclas rígidas, susceptibles a la fatiga, afectándose negativamente su durabilidad.

Grafico 1. Síntesis de los valores los porcentajes de vacíos llenos de asfalto (%VFA), según estacionamiento, uso y ubicación de las muestras analizadas.”



Con base en los resultados del parámetro polvo / asfalto se puede observar que estos tienen una tendencia a valores altos en los tres tramos del proyecto dándose los incumplimientos (valores fuera de la especificación) repartidos por todo el proyecto, lo anterior reflejo de bajos contenidos de asfalto y/o altos contenidos de relleno mineral.

Grafico 2. Síntesis de las relaciones Polvo / Asfalto de las mezclas asfálticas utilizadas, según estacionamiento, uso y ubicación de las muestras analizadas.



En el informe UI-PE-04-2009 se hace también referencia al contenido de vacíos de diseño de la mezcla fabricada y colocada en el proyecto. En este análisis se indica lo siguiente respecto al análisis efectuado y adicionalmente se muestra un gráfico que resume el cumplimiento de este parámetro de acuerdo con un rango de tolerancia de $5,5 \pm 2,5\%$

En lo que respecta al contenido de vacíos de la mezcla asfáltica, se procedió a verificar el cumplimiento del artículo 401.06.d de la disposición AM-01-2001, el cual especifica que para mezcla asfáltica a ser utilizada como capa de ruedo debe tener un porcentaje de vacíos con aire de $4\% \pm 1\%$. Por otro lado, cuando la mezcla asfáltica va a ser utilizada como capas intermedias o como base asfáltica se permite $5,5\% \pm 2,5\%$, de vacíos de aire en las pastillas Marshall.

En relación con el contenido de vacíos de diseño se evidenciaron incumplimientos respecto a las especificaciones de vacíos principalmente en las capas definidas como de ruedo. Para las capas intermedias, se les valoró su cumplimiento de acuerdo con las especificaciones definidas para los vacíos de este tipo de capas las cuales se permiten contenidos de vacíos mayores, no obstante se señaló la gran dispersión presente en resultados obtenidos en el tramo III del proyecto. Así mismo, es importante aclarar que una mezcla asfáltica a colocarse como capa intermedia debe ser diseñada para este fin y cumplir con todos los parámetros volumétricos y de desempeño requeridos, tema que se tratará más adelante en este texto.

INSPECCIONES REALIZADAS

Durante el mes de Octubre y Noviembre de 2010, aproximadamente 10 meses después de la inauguración del proyecto; se realizaron de forma sistemática inspecciones al proyecto en concesión. Primero se realizaron de forma detallada a todo lo largo de la obra con el fin de identificar las zonas más deterioradas y posteriormente a los puntos específicos que fueron identificados con los deterioros más notables; con el fin de darle seguimiento al comportamiento de los mismos durante el período de estudio.

Considerando el contrato, y la solicitud expresa del Ministerio de Obras Públicas y Transportes a través del Consejo Nacional de Concesiones de realizar una asesoría que brindara herramientas técnicas para valorar las causas de los problemas que ha tenido esta ruta, se procedió a realizar giras de inspección al proyecto, durante los meses de octubre y noviembre, a fin de documentar los deterioros prematuros que se han presentado, su evolución y las obras que la Concesionaria realiza en la capa de rodadura.

3.1. Condiciones y deterioros encontrados

Durante el proceso de documentación de la condición del proyecto se pudo apreciar una pérdida marcada del recubrimiento asfáltico en grandes extensiones del proyecto; dicho deterioro se presentaba en diferentes intensidades, desde una pérdida muy superficial del recubrimiento hasta una pérdida casi total del recubrimiento en los agregados.

Esta pérdida del material asfáltico es coherente con los parámetros de control de mezcla asfáltica que se mostraron en los antecedentes, donde un bajo contenido del ligante asfáltico es un importante elemento en común.

Adicionalmente, y como consecuencia lógica de la evolución se presenta una pérdida de agregado en la capa de rodadura, en una gran extensión del proyecto este deterioro se presentó con una gravedad leve a moderada, existiendo diversos tramos donde el deterioro se intensifica de forma importante.

Fotografía 1: Kilómetro 47+000, problemas característicos encontrados en diferentes puntos del proyecto en estudio. Fuente: Ing. Edgar Camacho G.



Caracterizada por diferentes niveles de severidad, y presente en gran parte de la longitud del proyecto, la pérdida de agregado por falta de material asfáltico se ve agravada por la alta presencia de humedad en el proyecto.

Se reconoce que el fenómeno de la pérdida de agregado es por lo general un fenómeno complejo en el que podrían intervenir muchas variables y condiciones, en el marco de este estudio es importante mencionar que por las propiedades de la mezcla analizadas, existen razones suficientes para considerar que la baja dosificación de asfalto en la mezcla sea el detonante para estos y otros deterioros, los cuales serían agravados por varios factores entre ellos las condiciones de humedad presentes en esta zona, una alta agresividad del tránsito y problemas constructivos en las capas inferiores de algunos tramos.

Fotografía 2: Kilómetros 55+250 pérdida severa de agregado en la superficie de ruedo Fuente: Ing. Edgar Camacho G.



La combinación de estos factores nos dan tramos del proyecto donde la evolución de los deterioros es mayor, y se manifiesta de maneras donde el usuario se percata del problema y le causa problemas en su libre circulación.

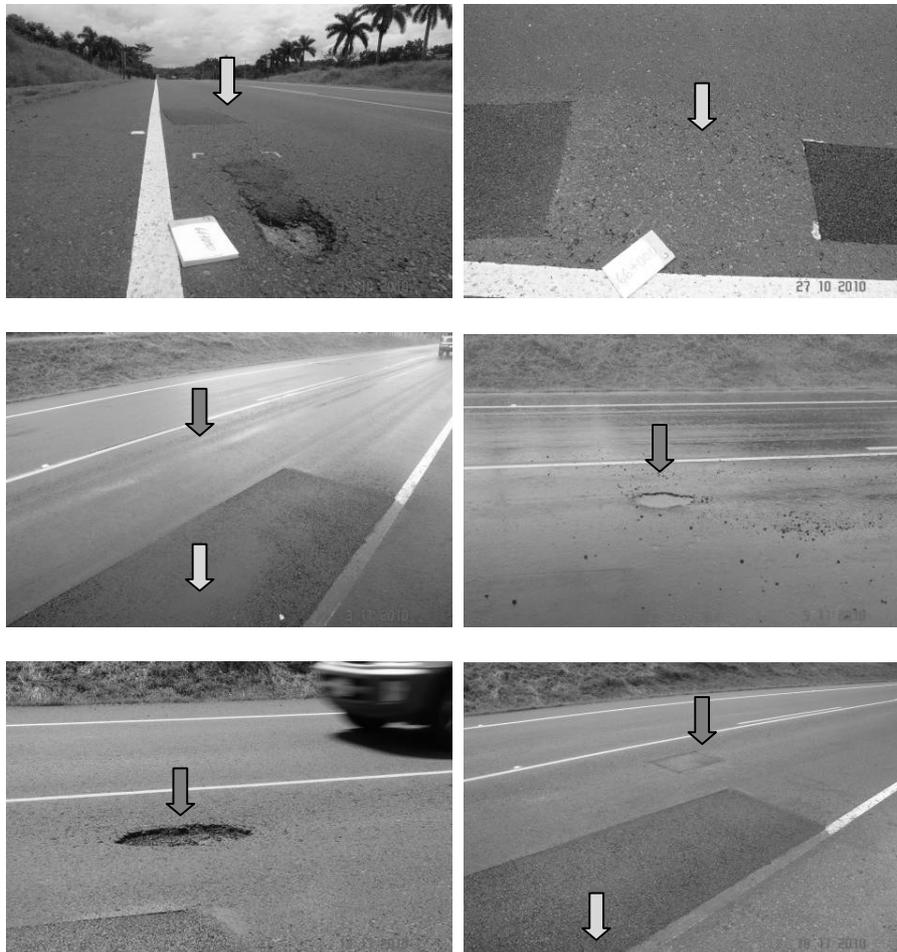
Al momento de realizar este informe el usuario puede percibir: ruido moderado (rueda contra pavimento), agrietamientos e irregularidad, orificios pequeños (desprendimientos de la capa

superficial), orificios grandes (desprendimientos con afectación de capas inferiores), baches pequeños (0 a 1 metro cuadrado), bacheos mayores (mayores a 1 metro cuadrado).

Es relevante destacar que para el momento de análisis estos deterioros se encuentra en rápida evolución, así, mediante las visitas se pudo apreciar la forma en que cambian en el tiempo los deterioros que se están presentado.

En las fotografías 3 a 8 se muestra un ejemplo de la rápida evolución de los deterioros, específicamente en el kilómetro 66+000 del proyecto.

Fotografías 3 a 8: Ejemplo de la evolución de los problemas presentados en el kilómetro 66+000 entre el 15 de octubre y 19 de noviembre de 2010.
Fuente: Ing. Edgar Camacho G.



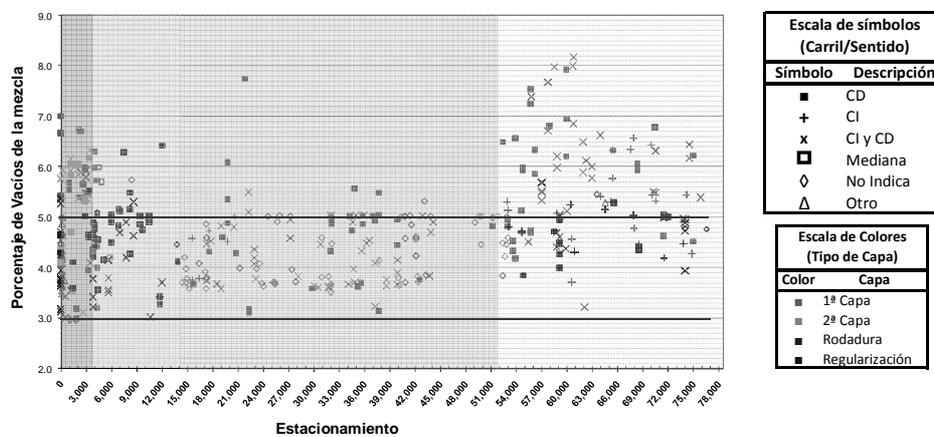
INFORMACIÓN ADICIONAL

Al analizar los diseños de mezcla realizados para el momento de la construcción, se puede apreciar un cumplimiento teórico de los diseños con las especificaciones y límites correspondientes, lo cual difiere significativamente de la mezcla que se produjo en el campo. De

los tres diseños presentados para el proyecto, estos muestran cumplir con los parámetros exigidos para la mezcla asfáltica, para la dosificación de asfalto óptimo y los vacíos de diseño correspondientes a 4,5; 4,7 y 4,9%; cabe resaltar que estos se encuentran muy cercanos al límite máximo de especificación.

En cuanto al contenido de vacíos de diseño se puede observar como adicional a la gran dispersión presentada en el proceso productivo, se muestran en muchos de los casos valores mayores a los de diseño, de la misma manera en cuanto a la relación polvo / asfalto se puede observar como existe una gran variabilidad y adicionalmente se presentan valores muy por encima de la especificación; situaciones que confirman las diferencias existentes entre el diseño de mezcla presentado y la mezcla efectivamente producida.

Grafico 3. Síntesis de los valores los porcentajes de vacíos respecto a los límites de diseño de la mezcla, según estacionamiento, uso y ubicación de las muestras analizadas.



Los valores del gráfico muestran porcentajes de vacíos por encima del 5% permitido para la capa de rodadura. Algunos de estos vacíos registrados corresponden a capas asfálticas intermedias, las cuales según las especificaciones pueden contar con vacíos que varían desde un 3% hasta un 8%, sin embargo, esto requiere un diseño apropiado y específico del material asfáltico de estas capas intermedias, el cual basados en la información con que se cuenta no se desarrolló, adicionalmente se debe garantizar una homogeneidad de la mezcla producida sin importar el contenido de vacíos para el cual haya sido diseñada, la cual no fue lograda.

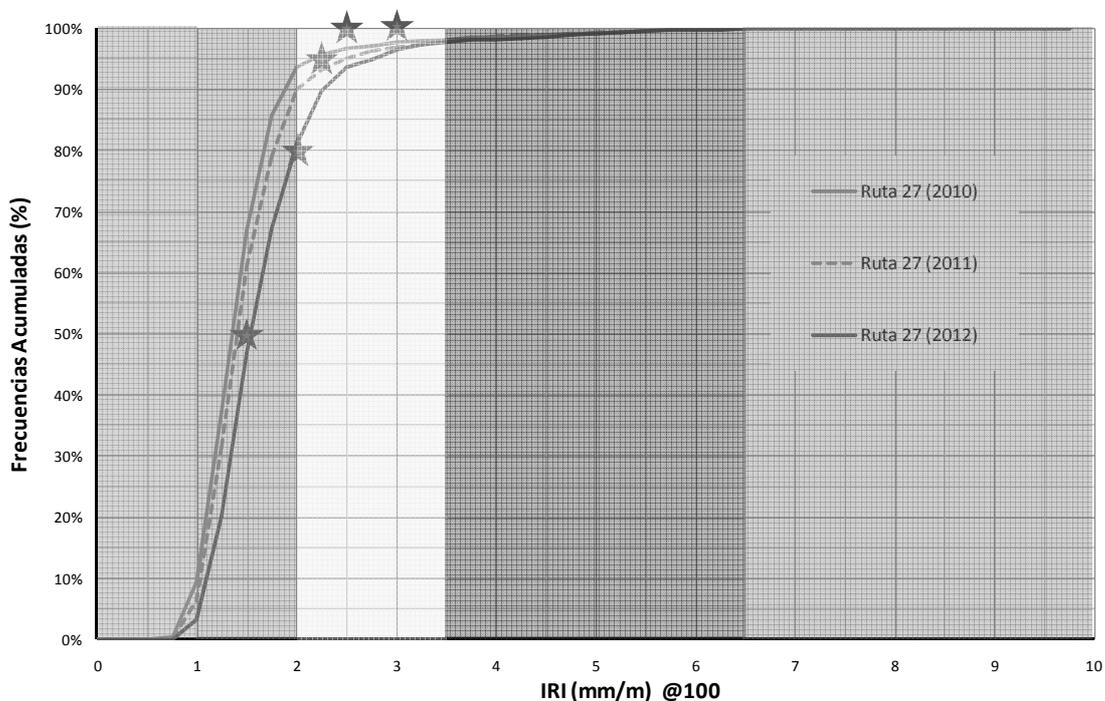
Tal como se mencionó en apartados anteriores, los problemas que se encontraron en las diversas visitas de campo, se asocian principalmente a problemas que se reflejan en los incumplimientos de los parámetros de control de calidad de la mezcla.

Como se pudo observar los valores de los vacíos llenos de asfalto (VFA) se encuentran en una importante cantidad de muestras por debajo de la especificación, lo que implica un bajo porcentaje de vacíos en el agregado mineral que están llenos de asfalto. Este resultado, concuerda con la gran cantidad de puntos en donde se encontró desnudamiento y desprendimiento de los agregados. Esto impulsa la hipótesis de que al haber un bajo contenido de asfalto, este no es suficiente para mantener la integridad de la mezcla asfáltica.

Adicionalmente, en el Gráfico 2, los altos valores en la relación polvo/asfalto, muy cercanos al límite superior y en muchos casos fuera de los límites de la especificación, evidencian de nuevo un bajo contenido de asfalto efectivo en la mezcla, con el agravante de que por tratarse de una mezcla asfáltica fina y densa; la superficie específica a cubrir es mayor. Ambas condiciones anteriormente mencionadas muestran falta de control durante el proceso de producción de la mezcla asfáltica.

Como parte de las funciones que por ley tiene el LanammeUCR se realizan evaluaciones anuales de los proyectos en concesión. Producto de estas evaluaciones anuales se han realizado diversos ensayos y mediciones.

Gráfico 4. Regularidad superficial (IRI) para la totalidad del proyecto, gráfico de frecuencias acumuladas.



En el gráfico 4 se muestra gráficos de frecuencias acumuladas para la totalidad de los datos de regularidad superficial (IRI) del proyecto, calculado en todos los casos como el promedio de los valores en tramos de cien metros. Es importante señalar que los datos incluyen las singularidades que para efectos de especificación comúnmente son eliminados.

Es importante notar como esta medición de la regularidad superficial refleja el daño que se ha presentado en la mezcla asfáltica. Desde el año 2010 se realizan trabajos diversos en la superficie de ruedo producto de los deterioros que se ha generando. Los trabajos incluyen bacheos, perfilado y colocación de sobrecapas asfálticas.

CONCLUSIONES

Se evidenció en campo una importante variabilidad en la producción de la mezcla asfáltica, apuntada en el informe UI-PE-04-09 mediante los resultados de los ensayos realizados a la mezcla asfáltica por parte del autocontrol del Concesionario.

Se pudo evidenciar el incumplimiento del contrato de concesión, esto en cuanto a la pérdida de agregado; así como deterioros prematuros de la estructura de pavimento colocada en el proyecto; asociados con dosificaciones bajas de ligante asfáltico y también con altos contenidos de relleno mineral.

La variabilidad y los incumplimientos encontrados provocan una mezcla rígida, con mayor susceptibilidad a la fatiga; con la respectiva reducción de la durabilidad, además de una mayor susceptibilidad al daño por humedad. Lo que ha propiciado la necesidad de realizar costosas reparaciones.

Se pudo evidenciar la necesidad de realizar una intervenciones de la capa de ruedo del proyecto concesionado a fin de cumplir con lo establecido en el contrato, así como garantizar la seguridad de los usuarios de la vía.

Se han podido apreciar puntos donde pese a sustituir la totalidad de la capa de ruedo persisten problemas de bombeo de material fino de la base, así como deformaciones y nuevos agrietamientos.

Los deterioros más evidentes en el proyecto se han venido presentando en las secciones donde se combina la susceptibilidad de la mezcla asfáltica con una menor capacidad estructural en las capas inferiores. Los deterioros presentados significan una reducción importante de la vida útil de las estructuras, por lo que los trabajos que se realice el Concesionario deben estar orientados a la solución efectiva y duradera de los problemas en la carretera concesionada.

Dadas las condiciones actuales del proyecto los problemas de durabilidad de la superficie de ruedo se seguirán presentando, provocando gastos adicionales al Concesionario.

REFERENCIAS

American Association of State Highway and Transportation Officials. Guide specifications for highway construction. Seventh Edition, Washington, D.C, 1993

Asphalt Institute. (1982). Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente. Serie de Manuales No. 22 (MS-22). Lexington: Asphalt Institute.