



Laboratorio Nacional de Materiales
y Modelos Estructurales



PROGRAMA DE
INFRAESTRUCTURA DEL
TRANSPORTE

Programa de Infraestructura del Transporte PITRA

Informe: INF – PI – UGERVN – 05 – 2016

Informe de Evaluación del Proyecto San José – Caldera Ruta Nacional 27 Año 2015 - 2016

Informe Final

Preparado por:

**Unidad de Gestión y Evaluación de la Red Vial Nacional
LanammeUCR**

San José, Costa Rica

mayo, 2016

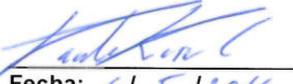
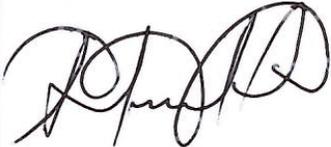
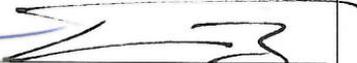
1. Informe INF-PI-UGERVN-05-2016		2. Copia No.1	
3. Título Informe de Evaluación del Proyecto San José – Caldera Ruta Nacional 27, Año 2015 - 2016		4. Fecha del Informe Mayo 2016	
5. Organización y dirección Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica Tel: (506) 2511-2500 / Fax: (506) 2511-4440			
6. Notas complementarias No aplica			
7. Resumen <i>El presente informe muestra los resultados del trabajo de evaluación de la Ruta Nacional 27 Carretera San José – Caldera, el cual es administrado bajo la modalidad de Concesión de Obra Pública. Este estudio se hace con base en los postulados del Artículo 6 Inciso D de la Ley 8114, el cual otorga al LanammeUCR la competencia de evaluar “de manera anual las carreteras y puentes en concesión”. Con base en esto, se realiza una evaluación del estado de la ruta y cuatro radiales en parámetros funcionales, estructurales, de mantenimiento y de seguridad vial, tanto de la carretera como de las obras afines a la misma, como cunetas, taludes y terraplenes aledaños. Los resultados obtenidos se comparan con aquellos de las campañas, 2014 y 2015, y toda la información pasa a formar parte de la base de datos digital del proyecto incorporándose ya como un punto más en la curva de tendencia del comportamiento del pavimento.</i>			
8. Palabras clave Ruta 27, taludes, pavimentos, terraplenes, deslizamientos, deterioros, PSI		9. Nivel de seguridad: Alto	10. Núm. de páginas 221
11. Preparado por:			
Ing. Christian Valverde C. UGERVN  Fecha: 10/5/16	Ing. Ronald Naranjo U. UGERVN  Fecha: 6/5/16	Geólogo Paulo Ruiz C., Ph.D. UGERVN  Fecha: 6/5/2016	Ing. Esteban Villalobos Unidad de Puentes  Fecha: 10/05/2016
12. Revisado por:		13. Aprobado por:	
Lic. Miguel Chacón A. Asesor Legal  Fecha: 10/5/16	Ing. Roy Barrantes Jiménez Coordinador UGERVN  Fecha: 10/5/16	Ing. Guillermo Loría Salazar, Ph.D. Coordinador PITRA  Fecha: 10/5/16	

TABLA DE CONTENIDOS

RESUMEN	8
1. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES.....	9
2. OBJETIVOS DE LA EVALUACIÓN DEL PROYECTO EN CONCESIÓN SAN JOSÉ – CALDERA, AÑO 2015	11
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	11
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
3. RESULTADOS OBTENIDOS DE LA EVALUACIÓN, AÑO 2015	12
3.1 CAPACIDAD ESTRUCTURAL, DEFLEXIONES OBTENIDAS MEDIANTE EL FWD TRONCAL PRINCIPAL.....	12
3.1.a. <i>Equipo utilizado y criterios de clasificación</i>	<i>12</i>
3.1.b. <i>Resultados obtenidos, mes de septiembre del 2015.....</i>	<i>13</i>
3.1.c. <i>Análisis general de resultados de la evaluación de la capacidad estructural con el ensayo de deflectometría FWD. Mes de septiembre del 2015</i>	<i>14</i>
3.2 CAPACIDAD FUNCIONAL, CONDICIÓN DEL PROYECTO SEGÚN REGULARIDAD SUPERFICIAL (IRI).....	15
3.2.a. <i>Equipo utilizado y criterios de clasificación</i>	<i>15</i>
3.2.b. <i>Resultados de regularidad superficial (IRI).....</i>	<i>16</i>
3.2.c. <i>Análisis general de resultados de la evaluación de la capacidad funcional con el Perfilómetro Láser (IRI), mes de agosto del 2015.</i>	<i>17</i>
3.3 RESULTADOS OBTENIDOS DEL COEFICIENTE DE ROZAMIENTO DE PAVIMENTOS, JUNIO DEL 2015	17
3.3.a. <i>Equipo utilizado y criterios de clasificación</i>	<i>17</i>
3.3.b. <i>Resultados de coeficiente de rozamiento con el GRIPTester y Mu-Meter</i>	<i>20</i>
3.3.b.1 <i>Análisis general de resultados de la evaluación de la resistencia al deslizamiento. Mes de agosto del 2014</i>	<i>21</i>
3.4 ANÁLISIS DE NOTAS Q PARA AÑO 2015	22
3.5 COMPARACIÓN DE LA CONDICIÓN DE LA RUTA 27, CAMPAÑAS DE EVALUACIÓN 2014 Y 2015	24
3.5.a. <i>Evaluación con el deflectómetro de impacto.....</i>	<i>24</i>
3.5.b. <i>Evaluación con el perfilómetro láser superficial</i>	<i>25</i>
3.5.c. <i>Evaluación con el medidor del coeficiente de rozamiento superficial</i>	<i>26</i>
3.6 COMPARACIÓN DE LAS NOTAS Q OBTENIDAS PARA LA RUTA 27, AÑOS 2014 Y 2015.....	27
3.7 ANÁLISIS DE LA CONDICIÓN SUPERFICIAL DEL PROYECTO. PRESENCIA, SEVERIDAD Y EXTENSIÓN DE DETERIOROS SEGÚN ANÁLISIS VISUAL POR MEDIO DE EQUIPOS DE IMÁGENES GEORREFERENCIADAS. EVALUACIONES REALIZADAS EN JUNIO DEL 2015	30
3.7.a. <i>Equipo utilizado y criterios de clasificación</i>	<i>30</i>
3.7.b. <i>Resumen de resultados de la evaluación visual de deterioros superficiales.....</i>	<i>33</i>
4. EVALUACIÓN DE LAS RADIALES	39
4.1 ASPECTOS GENERALES	39
4.2 RESULTADOS OBTENIDOS: DEFLEXIONES DEL PAVIMENTO	40
4.3 RESULTADOS OBTENIDOS: REGULARIDAD SUPERFICIAL	40
4.4 RESULTADOS OBTENIDOS: DESLIZAMIENTO SUPERFICIAL	41
4.5 NOTAS Q PARA LAS RADIALES	43
4.6 RESULTADOS OBTENIDOS: ANÁLISIS DE DETERIOROS SUPERFICIALES	45
4.7 COMPARACIÓN DE LA CONDICIÓN DE LAS RADIALES, CAMPAÑAS DE EVALUACIÓN 2014 Y 2015	47
4.7.a. <i>Evaluación con el deflectómetro de impacto.....</i>	<i>48</i>
4.7.b. <i>Evaluación con el perfilómetro láser superficial</i>	<i>49</i>



4.7c.	<i>Evaluación con el medidor del coeficiente de rozamiento superficial.</i>	49
4.7d.	<i>Evaluación visual de Deterioro Superficial.</i>	50
5.	MODELOS DE DETERIORO	52
5.1	APLICACIÓN DE MODELO DE DETERIORO	52
5.2	METODOLOGÍA DE MODELOS DE DETERIORO	53
5.3	ANÁLISIS DE RESULTADOS	56
6.	ESTADO DE CONSERVACIÓN DE LOS PUENTES MAYORES DE LA RUTA NACIONAL 27	61
6.1	PUENTE PEATONAL UBICADO EN RÍO ORO DE SAN ANA (11+850).	65
7.	CONDICIONES GEOTÉNICAS Y SISTEMAS DE DRENAJE	71
7.1	PUNTO 1. ESTACIONAMIENTO 21+400.	72
7.2	PUNTO 2. ESTACIONAMIENTO 22+300.	73
7.3	PUNTO 3. ESTACIONAMIENTO 23+100	74
7.4	PUNTO 4. ESTACIONAMIENTO 27+100	74
7.5	PUNTO 5. ESTACIONAMIENTO 37+500	76
7.6	PUNTO 6. ESTACIONAMIENTO 38+600.	77
7.7	PUNTO 7. ESTACIONAMIENTO 40+700	79
7.8	PUNTO 8. ESTACIONAMIENTO 45+300	80
7.9	PUNTO 9. ESTACIONAMIENTO 47+000	81
7.10	PUNTO 10. ESTACIONAMIENTO 48+000	82
8.	CONCLUSIONES	85
8.1	CONCLUSIÓN GENERAL	85
8.2	CONCLUSIONES ESPECÍFICAS	86
8.2a.	<i>Sobre la condición estructural</i>	86
8.2b.	<i>Sobre la condición funcional</i>	87
8.2c.	<i>Sobre la resistencia al deslizamiento como parámetro de seguridad vial</i>	87
8.2d.	<i>Sobre los deterioros superficiales de la mezcla asfáltica</i>	88
8.2e.	<i>Sobre el estado de las radiales.</i>	88
8.2f.	<i>Sobre los Modelos de Deterioro</i>	89
8.2g.	<i>Sobre el estado de los taludes y terraplenes adyacentes a la ruta</i>	89
8.2h.	<i>Sobre la evaluación de puentes mayores ubicados en la troncal principal</i>	89
9.	RECOMENDACIONES	90
9.1a.	<i>Sobre la evaluación funcional, estructural, resistencia al deslizamiento y de deterioro superficial del proyecto</i>	90
9.1b.	<i>Sobre la evaluación de las radiales</i>	90
9.1c.	<i>Sobre los Modelos de Deterioro</i>	91
9.1d.	<i>Sobre el estado de los taludes y terraplenes adyacentes a la ruta</i>	91
9.1e.	<i>Sobre la evaluación de puentes mayores ubicados en la troncal principal</i>	92
BIBLIOGRAFÍA		93

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 DIAGRAMA DE LA EVALUACIÓN DEL PROYECTO SAN JOSÉ – CALDERA RUTA 27, AÑO 2015.	10
FIGURA 2 ESTADO GENERAL DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL SENTIDO SAN JOSÉ – CALDERA SEGÚN LOS VALORES DE DEFLEXIÓN FWD OBTENIDOS, CAMPAÑA 2015	13
FIGURA 3 ESTADO GENERAL DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL SENTIDO CALDERA – SAN JOSÉ, SEGÚN LOS VALORES DE DEFLEXIÓN FWD OBTENIDOS, CAMPAÑA 2015	14
FIGURA 4: RESULTADOS OBTENIDOS EN EL PARÁMETRO IRI, SENTIDO SAN JOSÉ – CALDERA	16
FIGURA 5 RESULTADOS OBTENIDOS EN EL PARÁMETRO IRI, SENTIDO CALDERA – SAN JOSÉ	16
FIGURA 6: GRIP TESTER	18
FIGURA 7: MU METER	19
FIGURA 8: RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE <i>GRIP TESTER</i> (IZQUIERDA) Y <i>MU METER</i> (DERECHA), PARA EL CARRIL EN EL SENTIDO SAN JOSÉ - CALDERA RUTA 27. LOS RANGOS DADOS PARA EL <i>MU METER</i> CORRESPONDEN A LOS INDICADOS EN CONTRATO.	20
FIGURA 9: RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE <i>GRIP TESTER</i> (IZQUIERDA) Y <i>MU METER</i> (DERECHA), PARA EL SENTIDO CALDERA - SAN JOSÉ EN LA RUTA 27. LOS RANGOS DADOS PARA EL <i>MU METER</i> CORRESPONDEN A LOS INDICADOS EN CONTRATO.	21
FIGURA 10 RESULTADOS OBTENIDOS EN LA EVALUACIÓN DE LAS DEFLEXIONES DEL PAVIMENTO PARA LAS CAMPAÑAS 2014 Y 2015, SENTIDO SAN JOSÉ – CALDERA DE LA RUTA NACIONAL 27	24
FIGURA 11 RESULTADOS OBTENIDOS EN LA EVALUACIÓN DE LAS DEFLEXIONES DEL PAVIMENTO PARA LAS CAMPAÑAS 2014 Y 2015, SENTIDO CALDERA – SAN JOSÉ DE LA RUTA NACIONAL 27	24
FIGURA 12 RESULTADOS OBTENIDOS EN LA EVALUACIÓN DE LAS REGULARIDADES SUPERFICIALES DEL PAVIMENTO PARA LAS CAMPAÑAS 2014 Y 2015, SENTIDO SAN JOSÉ – CALDERA DE LA RUTA NACIONAL 27.....	25
FIGURA 13 RESULTADOS OBTENIDOS EN LA EVALUACIÓN DE LAS REGULARIDADES SUPERFICIALES DEL PAVIMENTO PARA LAS CAMPAÑAS 2014 Y 2015, SENTIDO CALDERA – SAN JOSÉ DE LA RUTA NACIONAL 27.....	25
FIGURA 14 RESULTADOS OBTENIDOS EN LA EVALUACIÓN DEL NIVEL DE DESLIZAMIENTO SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO PARA LAS CAMPAÑAS 2014 Y 2015, SENTIDO SAN JOSÉ – CALDERA DE LA RUTA NACIONAL 27.....	26
FIGURA 15 RESULTADOS OBTENIDOS EN LA EVALUACIÓN DEL NIVEL DE DESLIZAMIENTO SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO PARA LAS CAMPAÑAS 2014 Y 2015, SENTIDO CALDERA – SAN JOSÉ DE LA RUTA NACIONAL 27.....	26
FIGURA 16 COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE DETERIOROS, CAMPAÑAS 2014 Y 2015, SENTIDO SAN JOSÉ – CALDERA	33
FIGURA 17. PRESENCIA DE EXUDACIÓN.....	34
FIGURA 18 COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE DETERIOROS / (SEVERIDAD), CAMPAÑAS 2001, 2012, 2013 Y 2014 SENTIDO CALDERA – SAN JOSÉ	35
FIGURA 19 UBICACIÓN DE GUARDAVÍAS IMPACTADAS	36
FIGURA 20: UBICACIÓN DE LAS RADIALES EN LA RUTA NACIONAL 27.....	39
FIGURA 21 RESULTADOS OBTENIDOS CON EL DEFLECTÓMETRO DE IMPACTO, PARA LAS RADIALES DE LA RUTA 27, EN PORCENTAJES PARA CADA RANGO.....	40
FIGURA 22 RESULTADOS OBTENIDOS CON EL PERFILÓMETRO LÁSER, PARA LAS RADIALES DE LA RUTA 27, EN PORCENTAJES PARA CADA RANGO.	41
FIGURA 23 RESULTADOS OBTENIDOS CON EL GRIP TESTER, PARA LAS RADIALES DE LA RUTA 27, EN PORCENTAJES PARA CADA RANGO.	42
FIGURA 24 RESULTADOS OBTENIDOS CON EL GRIP TESTER, PARA LAS RADIALES DE LA RUTA 27, EN PORCENTAJES PARA CADA RANGO.	42
FIGURA 25 CONDICIÓN SUPERFICIAL EN RADIALES	45
FIGURA 26 COMPARATIVO DEFLEXIONES DE RADIALES AÑOS 2015-2016	48
FIGURA 27 COMPARATIVO REGULARIDAD SUPERFICIAL DE RADIALES AÑOS 2015-2016	49
FIGURA 28 COMPARATIVO COEFICIENTE DE ROZAMIENTO SUPERFICIAL AÑOS 2015-2016	50
FIGURA 29 CONDICIÓN SUPERFICIAL EN RADIALES	51
FIGURA 30. GRÁFICA DE UNA ECUACIÓN CUADRÁTICA	54
FIGURA 31. GRÁFICO EJEMPLO, OBTENIDO DE DATOS DE PSI	55
FIGURA 32. GRÁFICA EJEMPLO PSI VS AÑO Y IRI VS AÑO.....	55
FIGURA 33 CONCEPTO DE PSI CON RANGOS DE ACEPTACIÓN	56

FIGURA 34 MODELO DE DETERIORO TRAMO 1, SENTIDO CALDERA - SAN JOSÉ.....	58
FIGURA 35 MODELO DE DETERIORO TRAMO 2, SENTIDO CALDERA - SAN JOSÉ.....	59
FIGURA 36: PUENTE SOBRE LA QUEBRADA SALITRAL. DETERIORO DE JUNTAS DE CONSTRUCCIÓN: IZQUIERDA: USO INADECUADO DE MEZCLA ASFÁLTICA PARA RELLENAR LA PÉRDIDA DE CONCRETO EN LA LOSA; DERECHA: DESPRENDIMIENTO DE CONCRETO Y EVIDENCIA DE FALLA TRANSVERSAL DEL ACERO LONGITUDINAL DE LA LOSA	64
FIGURA 37 PUENTE SOBRE EL RÍO VIRILLA. ACUMULACIÓN DE SEDIMENTO EN LOS APOYOS DEL BASTIÓN NOROESTE. IZQUIERDA: APOYO SUR; DERECHA: APOYO NORTE.....	65
FIGURA 38: PUENTE PEATONAL UBICADO EN RIO ORO DE SANTA ANA (PK 11+850): TRAMO FALTANTE Y DAÑOS POR COLISIÓN EN VIGAS DE LA SUPERESTRUCTURA.	66
FIGURA 39: DAÑOS EN VIGAS PRINCIPALES POR IMPACTOS VEHICULARES: ZONA IDENTIFICADA COMO "A" EN FIGURA 38.....	66
FIGURA 40: DETALLE DE DAÑO SEVERO EN VIGA NORTE DE LA ZONA "A".....	67
FIGURA 41: DAÑOS EN VIGAS PRINCIPALES POR IMPACTOS VEHICULARES: ZONA IDENTIFICADA COMO "B" EN FIGURA 38.....	67
FIGURA 42: DAÑOS ADICIONALES: (A) AUSENCIA DEL RELLENO DE APROXIMACIÓN EN BASTIÓN NORTE; (B) AGRIETAMIENTO Y EFLORESCENCIA EN VIGAS DIAFRAGMA SOBRE EL BASTIÓN NORTE; (C) AGRIETAMIENTO LONGITUDINAL Y CORROSIÓN DE REFUERZO EN VIGA PRINCIPAL; (D) EXPOSICIÓN Y CORROSIÓN DEL ACERO DE REFUERZO DE LA LOSA.....	69
FIGURA 43 PERFIL TOPOGRÁFICO DE LA RUTA No. 27 Y MODELO DE ELEVACIÓN DIGITAL DONDE SE DENOTA LA ZONA EVALUADA Y UN DETALLE DE LA UBICACIÓN DE PUNTOS VISITADOS PARA ANÁLISIS DE TALUDES.....	71
FIGURA 44 TALUD EN EL PASO A DESNIVEL DE RINCÓN CHIQUITO.	72
FIGURA 45 TALUD EN LA RAMPA DE SALIDA A SIQUIARES. A) VISTA DEL TALUD QUE FUE INTERVENIDO CON CONCRETO Y MANTO REFORZADO. B) ZONA DEL TALUD SIN INTERVENCIÓN.	73
FIGURA 46 TALUD INTERVENIDO EN EL PK 23+100, LADO DERECHO EN SENTIDO HACIA CALDERA. A) VISTA GENERAL DEL TALUD CON EL MANTO. B) DETALLE DEL MANTO INSTALADO.	74
FIGURA 47 TALUD EN EL PK 27+100 LADO IZQUIERDO SENTIDO HACIA CALDERA. A) VISTA DE LA ZONA DEL TALUD QUE FUE INTERVENIDO CON LA COLOCACIÓN DE ROCAS Y SUELO. B) ZONA DEL TALUD CON POTENCIAL DE PRESENTAR DESLIZAMIENTO.	74
FIGURA 48 TALUD EN LA ESTACIÓN 37+500, LADO DERECHO SENTIDO SAN JOSÉ – CALDERA. A) VISTA DE PIE DEL TALUD, SE OBSERVA LA BARRERA NEW JERSEY COLOCADA DE FORMA PERMANENTE EN EL COSTADO DE LA CARRETERA. B) VISTA DE LA PARTE ALTA DEL TALUD, PRESENTA DETERIORO IMPORTANTE DEL MANTO INSTALADO	76
FIGURA 49 TALUD LADO DERECHO EN SENTIDO HACIA CALDERA EN LA ESTACIÓN 38+600. A) VISTA DEL TALUD QUE FUE INTERVENIDO CON ANCLAJES Y MANTO REFORZADO DURANTE EL AÑO 2015 E INICIOS DEL 2016. B) DETERIORO GENERADO POR EL DRENAJE ÁCIDO DE ROCA EN EL CONCRETO DE OTRAS ZONAS DEL TALUD.....	77
FIGURA 50 TALUDES EN EL ESTACIONAMIENTO 40+700 LADO IZQUIERDO Y LADO DERECHO. A) VISTA DEL TALUD LADO DERECHO (EN SENTIDO HACIA CALDERA) QUE FUE INTERVENIDO CON ANCLAJES Y MANTO REFORZADO. B) SEPARACIÓN ENTRE LAS PLACAS DE LOS ANCLAJES Y EL TALUD, DEBIDO A LOS PROCESO DE EROSIÓN. C) ACUMULACIÓN DE SEDIMENTOS, EVIDENCIA DE LA EROSIÓN ACTIVA EN EL TALUD. D) DETALLE DE OTRAS ZONAS VULNERABLES EN EL TALUD	79
FIGURA 51 TALUDES EN EL ESTACIONAMIENTO 45+300. A) VISTA DE TALUD LI HACIA CALDERA CON CONCRETO LANZADO AFECTADO POR DRENAJE ÁCIDO Y DESPRENDIMIENTO DE LA MALLA COLOCADA PARA EVITAR LA CAÍDA DE ROCAS. B) VISTA DE TALUD LD CON CONCRETO LANZADO AFECTADO POR EL DAR, MATERIAL EN VOLADIZO CON PENDIENTES SUPERIORES A 55°	80
FIGURA 52 TALUDES EN EL ESTACIONAMIENTO 47+000. A) VISTA DE TALUD LI HACIA CALDERA CON MATERIALES ORIGINALES COMPLETAMENTE AFECTADOS POR DRENAJE ÁCIDO. B) VISTA DE TALUD LD CON CONCRETO LANZADO, PRESENTA FRACTURAS Y LAS PRIMERAS FASES DE AFECTACIÓN POR DAR	81
FIGURA 53 AFECTACIÓN POR DRENAJE ÁCIDO DE ROCA EN LAS CUNETAS Y LOS BAJANTES DEL TALUD DEL KM 48+000.	82
FIGURA 54 TALUDES DEL KM 48+000 QUE PRESENTAN DAR, LOS BOTADEROS Y EL PUENTE SOBRE EL RÍO SALITRAL.....	83



ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1 RANGOS DE DEFLEXIÓN, UTILIZADOS PARA CLASIFICAR RESULTADOS DE DEFLECTOMETRÍA.....	13
TABLA 2 DEFLEXIONES FWD OBTENIDAS PARA EL SENTIDO SAN JOSÉ - CALDERA, CAMPAÑA 2015	13
TABLA 3 DEFLEXIONES FWD OBTENIDAS PARA EL SENTIDO CALDERA – SAN JOSÉ, CAMPAÑA 2015.....	14
TABLA 4 RANGOS DE CLASIFICACIÓN DE REGULARIDAD SUPERFICIAL (IRI).....	15
TABLA 5 RESULTADOS OBTENIDOS EN REGULARIDAD SUPERFICIAL (GRIP-TESTER), RUTA 27.....	16
TABLA 6 CLASIFICACIÓN INTERNACIONAL DEL PAVIMENTO SEGÚN EL GN	18
TABLA 7 RESULTADOS OBTENIDOS, COEFICIENTE ROZAMIENTO SUPERFICIAL DEL PROYECTO	20
TABLA 8 NOTAS Q PARA LA TRONCAL PRINCIPAL RUTA 27	23
TABLA 9 COMPARACIÓN DE LAS NOTAS Q OBTENIDAS POR TRAMO Y AÑO DE CAMPAÑA DE EVALUACIÓN, RUTA NACIONAL 27 CARRETERA SAN JOSÉ – CALDERA.	28
TABLA 10: POSIBILIDADES DE INTERVENCIÓN POR TRAMO Y AÑO DE EVALUACIÓN, CON BASE EN LAS NOTAS Q OBTENIDAS	30
TABLA 11 TIPOS DE DETERIOROS TÍPICOS EN CARRETERAS DE PAVIMENTO FLEXIBLE.....	32
TABLA 12 NOTAS Q Y RECOMENDACIONES DE INTERVENCIÓN	44
TABLA 13. RANGO DE APLICACIÓN DEL MODELO PARA EL CÁLCULO DEL PSI COSTA RICA	53
TABLA 14 SECCIONES DE CONTROL	53
TABLA 15 AÑO EN EL QUE EL PSI ES IGUAL A 3	60
TABLA 16 INFORMES EMITIDOS POR LA UP DEL PITRA - LANAMMEUCR CON RESPECTO A LOS PUENTES MAYORES DE LA RUTA 27	61
TABLA 17 SEGUIMIENTO POR AÑO DE LOS PRINCIPALES DETERIOROS OBSERVADOS EN LOS 5 PUENTES MAYORES DE LA RUTA NACIONAL 27.	62
TABLA 18 NOMENCLATURA UTILIZADA EN LA TABLA 17.	63



Resumen

Bajo el marco de la Ley No. 8114, le corresponde al LanammeUCR realizar una evaluación anual de los proyectos y puentes administrados bajo la modalidad de concesión de obra pública, cumpliendo la función de ser un instrumento eficaz e imparcial de rendición de cuentas, y contribuyendo a garantizar la calidad y el mantenimiento de los niveles de servicio de aquel patrimonio vial en manos de las empresas concesionarias.

Para poder valorar de forma objetiva la calidad de un proyecto en concesión y el mantenimiento de los niveles de servicio a lo largo de la vida útil del mismo, es necesario contar con especificaciones técnicas que definan los estándares mínimos de calidad. En este informe se evalúa la condición actual de los estándares de calidad de la Concesión de Obra Pública de la Ruta Nacional 27, de cara al cumplimiento de las especificaciones técnicas establecidas en el contrato, y de acuerdo con los estándares internacionalmente aceptados.

En el caso de aquellas especificaciones contractuales que presentaron poca exigencia o ambigüedad en los parámetros, equipos o procedimientos de medición, la Unidad de Gestión y Evaluación de la Red Vial Nacional, del Programa de Infraestructura de Transporte del LanammeUCR realizó la valoración de acuerdo con los estándares de calidad, equipos y procedimientos establecidos internacionalmente para este tipo de proyectos. El análisis de las especificaciones contractuales ya fue presentado en el informe LM-PI-ERV-40-2010 emitido el 18 de octubre del año 2010.

Los parámetros técnicos con los que se realizó la evaluación de este proyecto en el año 2015 están relacionados directamente con la vida útil o de servicio, con el costo de operación de la flota vehicular que circula por el proyecto y con la seguridad vial. Para tal efecto, se utilizó el Deflectómetro de Impacto (*FWD*) para medir las deflexiones obtenidas al someter al pavimento a una fuerza que simula cargas de tránsito, lo que permite calcular la capacidad estructural del pavimento. Por otra parte, se utilizó el Perfilómetro Láser, el cual mide las irregularidades superficiales (*IRI*) de las vías, que se asocian tanto con el confort que percibe el usuario que circula por dicho tramo, como con los costos de operación de los vehículos que circulan por esa carretera. Adicionalmente, se realizaron mediciones por medio de equipo láser que permite detectar la presencia de deformaciones en el pavimento, deterioros conocidos como “roderas”, y se realizó un análisis por medio de equipo de imágenes digitales de alta resolución y georreferenciadas, para detectar la presencia de otros tipos de deterioros sobre la superficie de rueda. En el tema de seguridad vial, el equipo Medidor de Fricción o agarre superficial (*Grip Tester* y *Mu Meter*) permitió medir el coeficiente de rozamiento existente entre la superficie de rueda y las llantas de los vehículos, lo que determina su



adherencia a la calzada y que se relaciona directamente con el índice de peligrosidad de una ruta.

1. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

Según se establece en el artículo 5 de la Ley No. 8114 sobre la Simplificación y Eficiencia Tributaria, “para garantizar la máxima eficiencia de la inversión pública de reconstrucción y conservación óptima de la red vial costarricense...”, la Universidad de Costa Rica, a través del Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (en adelante, *LanammeUCR*), deberá efectuar una evaluación anual de los proyectos y puentes en concesión. De conformidad con lo señalado, el presente es un informe técnico que se enmarca dentro de las funciones de fiscalizador que la citada ley le confiere al *LanammeUCR*.

La calidad final de un proyecto vial administrado bajo la modalidad de concesión de obra pública depende principalmente de dos aspectos: 1. La rigurosa fundamentación técnica de las especificaciones establecidas en el contrato, tomando en consideración que el proyecto debe brindar a los usuarios un servicio eficiente, confortable y seguro, considerando que además debe darse una recuperación del patrimonio vial representado por el proyecto específico, ya que eventualmente éste volverá a manos de la Administración; y 2. Que el Estado o el ente encargado de fiscalizar el cumplimiento contractual, tenga acceso o cuente con los recursos, capacidad técnica, conocimiento y tecnología suficiente para velar por el mantenimiento de los niveles de servicio a lo largo de la vida útil del proyecto, y exigir al Concesionario el cumplimiento de los estándares establecidos.

A pesar de ser éste el primer proyecto en concesión de obra pública que es evaluado a partir del año 2010, acumulando alrededor de 912 km analizados hasta el año 2015, esto de acuerdo a lo establecido en los artículos 5 y 6 de la ley 8114 de Simplificación y Eficiencia Tributaria, además el *LanammeUCR* ya ha realizado evaluaciones de toda la Red Vial Nacional desde el año 2002, sumando más de 65.000 km evaluados para el año 2014 y desarrollando un importante cúmulo de experiencia, conocimiento y tecnología en evaluación de proyectos viales.

La principal diferencia entre evaluar un proyecto en concesión o una red vial completa como la Red Vial Nacional no radica en los parámetros que se evalúan, sino en el nivel de detalle de la información que se genera; es decir, mientras una evaluación a nivel de red permite realizar mediciones con frecuencias mayores (ej. mediciones cada 500 metros) para poder calificar la condición de las vías, en evaluaciones a nivel de proyecto es necesario realizar mediciones con intervalos menores (ej. cada 100 metros).

Tomando en consideración lo explicado anteriormente, la evaluación realizada en este proyecto está representada en el siguiente esquema operativo:

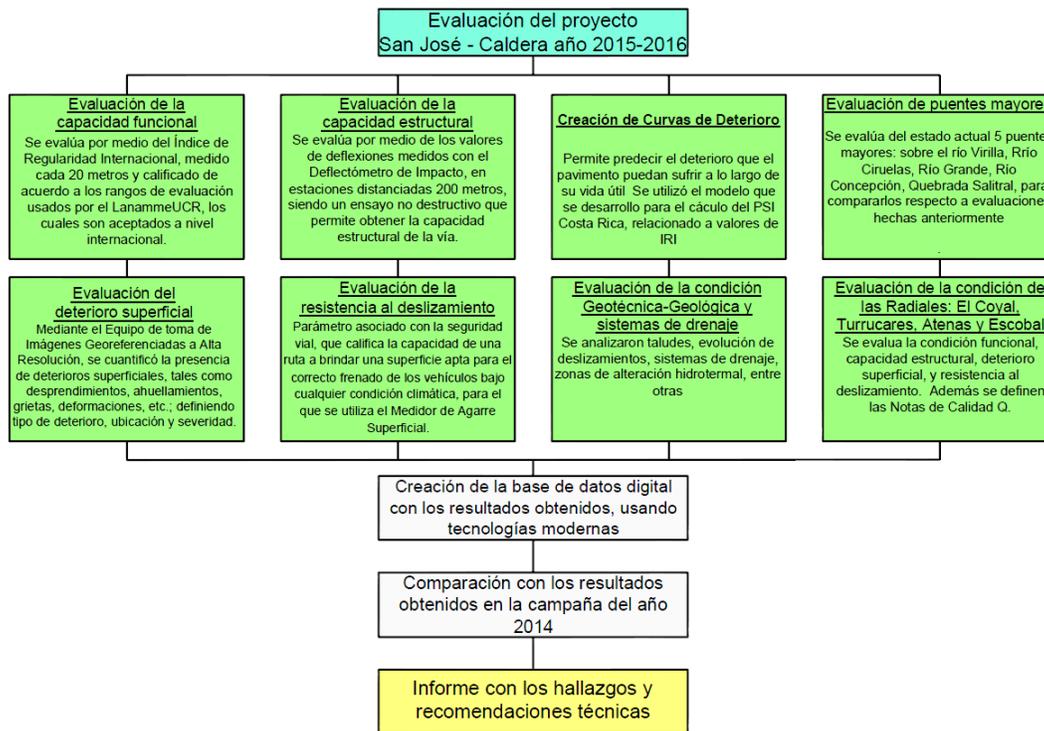


Figura 1 Diagrama de la evaluación del proyecto San José – Caldera Ruta 27, año 2015.

Como parte de las obras a realizar por la concesionaria en la carretera San José - Caldera, se incluyó la construcción de las radiales:

- Radial El Coyol de Alajuela (3.85 km)
- Radial Turrúcares (0.29 km)
- Radial Atenas (3.40 km)
- Radial Escobal (0.34 km)

Por esa razón se decidió agregar la evaluación del estado en que se encuentran estas radiales desde el punto de vista estructural, funcional, de seguridad vial y condición superficial.

Para poder aplicar rangos de estado de estas radiales, se utilizó la estructura de la sección de carretera más próximo a cada radial, siendo en este caso la sección Ciudad Colón - Orotina. Esto debido a que no se cuenta con información detallada sobre cada paquete estructural

Además, como parte de la evaluación hecha a esta ruta, se realizará un análisis geotécnico y geológico a los taludes aledaños. Se estudiará si hay evolución en deslizamientos detectados anteriormente, evaluación de sistemas de drenaje y zonas con drenaje ácido.



2. OBJETIVOS DE LA EVALUACIÓN DEL PROYECTO EN CONCESIÓN SAN JOSÉ – CALDERA, AÑO 2015

2.1 Objetivo General

Evaluar la condición del pavimento del proyecto en Concesión San José – Caldera, Ruta Nacional 27 en el año 2015, cuantificando de manera sistemática la evolución del mismo y el desempeño a lo largo del tiempo, así como el nivel de mantenimiento de los niveles de servicio. Esta evaluación se realiza con el propósito de brindar a la Administración información oportuna y confiable que permita ejercer los controles de fiscalización que son potestad del Estado.

2.2 Objetivos Específicos

- Evaluar la resistencia estructural de los pavimentos construidos, con el Deflectómetro de Impacto y clasificarla según rangos de estado.
- Evaluar el estado de la regularidad superficial del pavimento del proyecto concesionado, con el Perfilómetro Láser, y clasificarlo en rangos de estado.
- Evaluar el coeficiente de rozamiento de la superficie de los pavimentos en el proyecto concesionado, con los Medidores de Coeficiente de Rozamiento.
- Hacer una evaluación del deterioro superficial de la superficie de ruedo, por medio de equipo de cámaras digitales georreferenciadas, alertando de la presencia de deterioros que pueden poner en peligro la seguridad del usuario, así como el confort y durabilidad del proyecto.
- Comparar las condiciones actuales con las obtenidas en los año 2014, para establecer la evolución del estado de la infraestructura como tal.
- Elaborar curvas de deterioro que permitan predecir la condición en que podría llegar a estar la carretera en años futuros según las condiciones que presenta en la evaluación actual y anteriores
- Evaluar la condición de los puentes presentes en la ruta.
- Evaluar la condición de taludes, deslizamientos y sistemas de drenaje desde el punto de vista geológico y geotécnico.
- Mantener una base de datos actualizada de los parámetros técnicos del proyecto, que sea útil para la planificación de obras destinada al mejoramiento de la vía.
- Evaluar el estado estructural, funcional, seguridad vial y condición superficial de las cuatro radiales que forman parte del proyecto.



3. RESULTADOS OBTENIDOS DE LA EVALUACIÓN, AÑO 2015

3.1 Capacidad estructural, deflexiones obtenidas mediante el FWD Troncal Principal

3.1a. Equipo utilizado y criterios de clasificación

Los detalles del Deflectómetro de Impacto utilizado, y la metodología seguida de evaluación aparecen en la Ficha Técnica FT – UGERVN – 02 – 13, disponible en el sitio de Internet del LanammeUCR (www.lanamme.ucr.ac.cr).

La evaluación del proyecto con dicho equipo abarcó la totalidad de su longitud, es decir aproximadamente 153 km (alrededor de 76,6 km en cada sentido)¹ de carretera pavimentada, con mediciones cada 50 metros. En aquellos tramos con sólo un carril por sentido, fueron evaluados ambos carriles; mientras que en aquellos tramos con dos carriles por sentido se evaluó el carril derecho, considerado el carril de diseño por ser el que resiste las mayores concentraciones de carga vehicular, y considerando homogeneidad en la condición estructural en el sentido transversal de las secciones evaluadas.

Como parte de las investigaciones realizadas en el año 2008 en el LanammeUCR, se desarrolló una metodología para calcular los distintos rangos de deflectometría superficial, con base en la estructura de pavimento que presenta cada tramo de carretera². Estos rangos, que aparecen en la Tabla 1, tienen por objeto calificar la condición estructural del proyecto tomando en consideración el diseño estructural realizado por el Concesionario, por lo que fueron utilizados en la presente evaluación para clasificar los resultados.

¹ Dentro de este total no se incluyen los tramos fuera del troncal principal del proyecto

² El informe Determinación de Rangos de Clasificación para la Red Vial Nacional, UI-03-08, del LanammeUCR explica la metodología para establecer los rangos de FWD e IRI para clasificar el proyecto. Los rangos de FWD fueron calculados específicamente para este proyecto tomando en consideración las distintas estructuras del pavimento.

Tabla 1 Rangos de deflexión, utilizados para clasificar resultados de deflectometría

Tramo	San José - Escazú (0+000 – 3+605)	Escazú – Ciudad Colón (3+605 – 14+025)	Ciudad Colón - Orotina (14+025 – 51+720)	Orotina - Caldera (51+720 – 76+310)
Categorías deflexión	Rangos (en mm²)			
Bajas	menor a 52	menor a 36	menor a 47	menor a 50
Moderadas	52 – 57	36 – 40	47 – 52	50 – 58
Altas	57 – 71	40 – 49	52 – 66	58 – 80
Muy Altas	mayor a 71	mayor a 49	mayor a 66	mayor a 80

3.1b. Resultados obtenidos, mes de septiembre del 2015

La Tabla 2 muestra los resultados obtenidos en el parámetro de deflexiones superficiales, para la campaña de evaluación 2015; la Figura 2 muestra en forma gráfica este resultado. En total, se procesaron 1480 mediciones con el equipo en este sentido.

Tabla 2 Deflexiones FWD obtenidas para el sentido San José - Caldera, campaña 2015

Tipo de Deflexiones	Longitud (km)	Porcentajes (%)
Bajas	70.1	94,54
Moderadas	1,10	1,48
Altas	1,40	1,89
Muy Altas	1,55	2,09
Total	74,15	

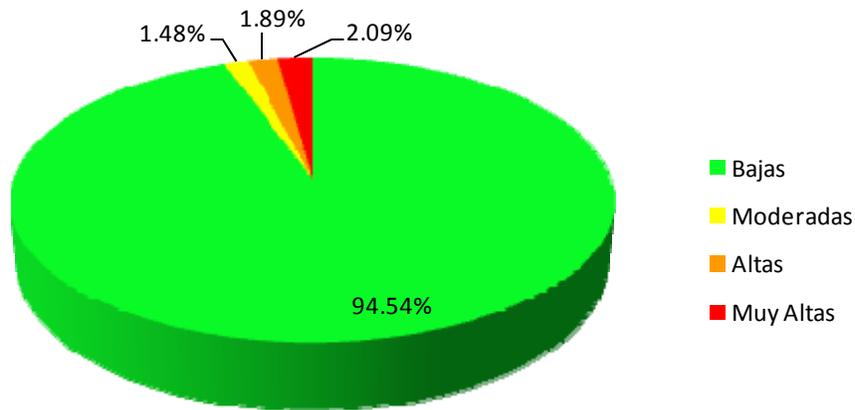


Figura 2 Estado general de la capacidad estructural sentido San José – Caldera según los valores de deflexión FWD obtenidos, campaña 2015

La Tabla 3 muestra los resultados obtenidos en el parámetro de deflexiones superficiales en el sentido Caldera – San José; la Figura 3 muestra en forma gráfica este resultado. En total, se procesaron 1477 mediciones con dicho equipo en este sentido.

Tabla 3 Deflexiones FWD obtenidas para el sentido Caldera – San José, campaña 2015

Tipo de Deflexiones	Longitud (km)	Porcentajes (%)
Bajas	69,20	93,70
Moderadas	1,05	1,42
Altas	1,95	2,64
Muy Altas	1,65	2,23
Total	73,85	

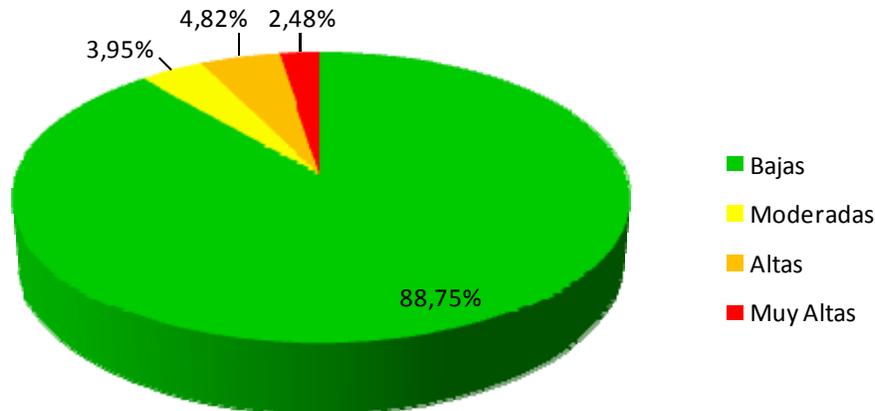


Figura 3 Estado general de la capacidad estructural sentido Caldera – San José, según los valores de deflexión FWD obtenidos, campaña 2015

3.1c. Análisis general de resultados de la evaluación de la capacidad estructural con el ensayo de deflectometría FWD. Mes de septiembre del 2015

Los resultados de la deflectometría de impacto revelan un pavimento con muy buena capacidad estructural en la mayor parte del ramal principal del proyecto. Esta valoración estructural representa la condición de soporte del pavimento hasta el momento de la medición, es decir hasta el mes de septiembre del 2015. Estos valores pueden variar posteriormente en magnitudes significativas con los cambios de temperatura durante épocas muy cálidas, así como con los cambios en los niveles de humedad de las capas de base, subbase y subrasante. Las mediciones que se realicen durante el año 2016 y años subsiguientes revelarán los efectos de estas variaciones en la pérdida o mantenimiento de la capacidad estructural de este proyecto en el sentido San José – Caldera.

El caso de hundimientos en la vía, producto de debilidades de los rellenos sobre los cuales fueron construidos los pavimentos evaluados, no es posible detectarlos con el FWD. Estas fallas del pavimento se manifiestan por medio de asentamientos de secciones completas, y su valoración queda sujeta a estudios geotécnicos.

En el Anexo 1, se muestran los estacionamientos donde se localizan puntos con deflexiones moderadas, altas y muy altas, para cada sentido de la ruta. Además, se muestran los mapas obtenidos con la ubicación de esos puntos de forma gráfica para cada sentido.

3.2 Capacidad funcional, condición del proyecto según regularidad superficial (IRI)

3.2a. Equipo utilizado y criterios de clasificación

Los detalles del Perfilómetro Láser utilizado, y la metodología seguida de evaluación aparecen en la Ficha Técnica FT – UGERVN – 02 – 13, disponible en el sitio de Internet del LanammeUCR (www.lanamme.ucr.ac.cr).

La evaluación del proyecto con este equipo abarcó la totalidad de la longitud de la ruta. Debido a la importancia del IRI para calificar la calidad de un proyecto vial, se midió el perfil longitudinal en los dos sentidos. Cuando existen 2 o más carriles por sentido, se mide el carril derecho o carril de diseño, que es donde debe circular el tránsito pesado y por lo tanto, el que sufre el mayor deterioro.

Es importante recordar que el IRI se correlaciona, entre otros factores, con los costos de operación vehicular, la movilidad de los usuarios y el confort.

Los rangos de regularidad superficial de pavimentos utilizados para su clasificación, se muestran en la Tabla 4:

Tabla 4 Rangos de clasificación de regularidad superficial (IRI)

Rango de regularidad m / km	Clasificación
menor a 1,0	regularidad superficial muy buena
entre 1,0 y 1,9	regularidad superficial buena
entre 1,9 y 3,6	regularidad superficial regular
entre 3,6 y 6,4	regularidad superficial deficiente
mayor a 6,4	regularidad superficial muy deficiente

Fuente: Determinación de rangos de clasificación para la red vial nacional, UI-03-08, LanammeUCR, 2008

Los datos del perfil longitudinal están procesados en tramos de 100 metros de longitud, y se utiliza el MRI que es el promedio de los valores de IRI para los sensores izquierdo y derecho del Perfilómetro Láser; esto debido a que estos sensores son los que registran los datos sobre las huellas de rodamiento de los vehículos en la carretera. Además se excluye del análisis los elementos que se consideran como singularidades, los cuales se definen como:

“Cualquier alteración del perfil longitudinal del camino que no provenga de fallas constructivas y que incremente el valor del IRI en el tramo en que se encuentra. Entre ellas se pueden citar puentes, badenes, tapas de alcantarillas, cuñas, cruces de calles y otras, que por diseño geométrico alteren el perfil del camino”³

³ El informe Determinación de un procedimiento de ensayo para Cálculo del IRI UI-03-08, del LanammeUCR explica la metodología para el cálculo de IRI y parámetros a considerar en el análisis de este parámetro

3.2b. Resultados de regularidad superficial (IRI)

La Tabla 6 muestra los resultados obtenidos en la evaluación de la regularidad superficial con perfilómetro láser del proyecto en el mes de agosto 2015; las Figuras 4 y 5 muestran en forma gráfica la evaluación para este periodo, para cada sentido. Donde se desprende que en el sentido San José - Caldera el 1,5% de los datos tienen valores de IRI mayor a 3 m/km y en el sentido Caldera - San José un 2% se encuentra por encima de ese valor.

Tabla 5 Resultados obtenidos en regularidad superficial (Grip-Tester), Ruta 27

Rango IRI (^m /km)	Sentido			
	San José – Caldera		Caldera – San José	
menor a 1,0	2,30 km	3,12 %	1,30 km	1,78 %
entre 1,0 y 1,9	52,30 km	70,98 %	50,98 km	69,62 %
entre 1,9 y 3,6	18,68 km	25,35 %	20,28 km	27,69 %
entre 3,6 y 6,4	0,40 km	0,54 %	0,67 km	0,92 %
mayor a 6,4	0 km	0%	0 km	0%
Total	73,67 km		73,23 km	

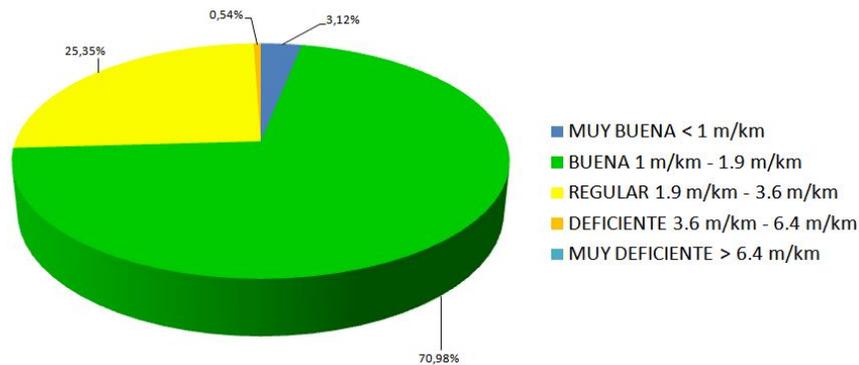


Figura 4: Resultados obtenidos en el parámetro IRI, sentido San José – Caldera

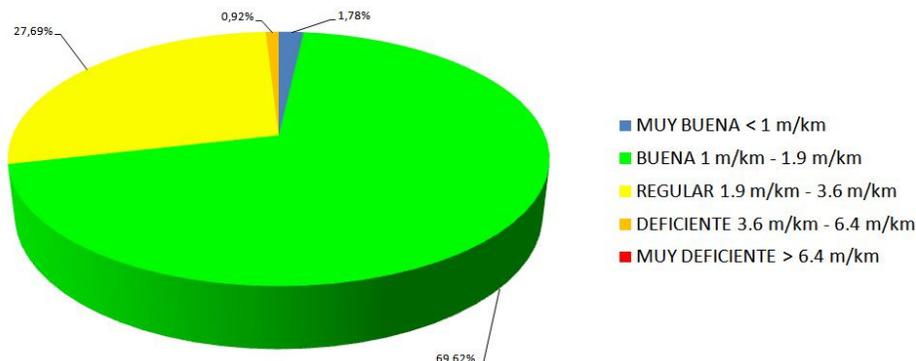


Figura 5 Resultados obtenidos en el parámetro IRI, sentido Caldera – San José



En el Anexo 2 se muestran los sitios donde se obtuvieron valores del IRI regular, deficiente y muy deficiente; así como los mapas para su ubicación de manera geográfica en la ruta.

3.2c. Análisis general de resultados de la evaluación de la capacidad funcional con el Perfilómetro Láser (IRI), mes de agosto del 2015.

Los resultados de la valoración funcional del proyecto muestran que aproximadamente el 71% de la longitud total de la ruta presenta un estado de regularidad bueno, y un 2,3% presenta el estado muy bueno. Por su parte, alrededor del 26% de la ruta se califica como regular, y en promedio menos del 1% con regularidades deficientes, donde la calidad de manejo es perceptiblemente inferior a la que se espera para una ruta con pavimentos relativamente nuevos, y la cual puede mostrar signos de deterioro, tales como ahuellamiento y fisuración. Lo anterior puede repercutir a su vez en problemas para el tránsito a altas velocidades, donde las imperfecciones son percibidas con mayor facilidad; además de incrementar los costos de operación de la flota vehicular y disminuir la durabilidad del proyecto al aumentar las cargas dinámicas.

Como es de esperarse, el carril en el sentido Caldera – San José, presenta valores mayores de IRI que el carril en el sentido San José - Caldera; esto porque hay presencia de una cantidad mayor de tránsito con carga pesada que proviene del Pacífico.

3.3 Resultados obtenidos del coeficiente de rozamiento de pavimentos, Junio del 2015

3.3a. Equipo utilizado y criterios de clasificación

Para esta campaña de evaluación, se utilizaron 2 equipos distintos para estudiar el nivel de agarre superficial que presenta el pavimento de la ruta. Los mismos se describen brevemente a continuación:

- *Grip Tester*: consiste en un remolque de unos 85 kg y de 3 ruedas, de las cuales dos son de apoyo y la tercera es la que mide la resistencia al deslizamiento con la superficie de ruedo (Figura 6). Gracias a un sistema particular de transmisión, esta tercera rueda gira a un 85% de la velocidad de las ruedas de apoyo; o lo que es lo mismo presenta un 15% de bloqueo con respecto a la dirección de circulación. Celdas instaladas en su eje miden la resistencia longitudinal a la rodadura, cuyos valores – conocidos como Número de Agarre o *Grip Number* – son almacenados en una computadora junto con los datos de coordenadas latitud y longitud gracias a un GPS incorporado en el equipo.



Figura 6: Grip Tester

La evaluación del proyecto San José – Caldera en este parámetro abarcó la totalidad de la superficie pavimentada de la troncal principal; para lo cual fue preciso realizar primero la medición de regularidad superficial (IRI), esto debido principalmente a la naturaleza del equipo: para mantener su precisión no puede ser utilizado en tramos que presenten un valor de IRI mayor de 4,0; de no mantener este cuidado, el equipo perdería su calibración rápidamente. Todas las mediciones se realizan a una velocidad promedio de 50 km/hora.

El rango de clasificación que se utilizó para evaluar la resistencia al deslizamiento es utilizado a nivel internacional, y relaciona los valores del coeficiente de fricción transversal (CFT) con el valor *Grip Number* (GN) que se obtiene con la prueba; éste es ilustrado en la Tabla 6.

Tabla 6 Clasificación internacional del pavimento según el GN

GN	Condición	Nivel			Tipo de Pavimento característico
		Deslizamiento	Peligrosidad	Riesgo medio de accidentabilidad*	
< 0,50	Malo	Muy deslizante	Muy peligroso	mayor a 20	Pavimento flexible compuesto de agregado calizo o pulido
0,50 – 0,60	Regular	Deslizante	Peligroso	16 a 20	Pavimento flexible con alto grado de exudación y/o pérdida de micro textura
0,60 – 0,78	Bueno	Poco deslizante	Moderado	10 a 16	Pavimento rígido y flexible con buena textura
> 0,78	Muy Bueno	No deslizante	Seguro	menor a 10	Pavimento nuevo o sobrecapas con buen agarre

* Número de accidentes por cada millón de vehículos / kilómetro, en función del coeficiente de fricción, obtenidos en Gran Bretaña, según memorias del 5to Simposio de Características Superficiales de Pavimentos, Toronto, Canadá, 2004.

- *Mu Meter*: consiste en un remolque de aproximadamente 250 kg y 3 ruedas (Figura 7). A diferencia del *Grip Tester*, en el *Mu Meter* 2 ruedas son las encargadas de medir fricción, y la tercera es para darle apoyo al equipo. En condiciones de transporte, las ruedas medidoras se disponen de forma paralela al sentido de ruedo; para realizar la medición, servos mueven las ruedas en ángulos encontrados, los cuales vistos desde arriba forman una especie de v. Cuando el remolque avanza, estas ruedas tienden a separarse: celdas de carga miden esta fuerza transversal y gracias al ángulo conocido con respecto al eje del equipo, se convierte a un coeficiente de rozamiento longitudinal, el cual es almacenado en la computadora junto con los datos de distancia desde el inicio de la prueba.



Figura 7: Mu Meter

Además, estos equipos permiten evaluar la fricción superficial en la condición más crítica, la cual se da en condiciones húmedas. Por tal motivo, ambos presentan facilidades para la conexión a fuentes de agua externa, las cuales se calibran para generar una superficie de espesor uniforme frente a la (s) rueda (s) de medición. Por último, las pruebas se realizan a una velocidad de operación de 50 kph.

El *Mu Meter* es utilizado principalmente para medir la fricción superficial en pistas de aeropuertos, mientras que el *Grip Tester* es ampliamente usado en redes viales. Debido a la naturaleza propia de medición y características de cada equipo, los datos no son comparables entre sí. Además, mientras que con el *Grip Tester* es posible medir la fricción sobre la huella de los vehículos en la calzada, con el *Mu Meter* se mide la zona que se encuentra fuera de la huella por la que circula las llantas de los vehículos.

3.3b. Resultados de coeficiente de rozamiento con el GRIPTester y Mu-Meter

En esta sección se muestran los resultados obtenidos en la evaluación del coeficiente de rozamiento del proyecto San José – Caldera. De igual forma, este proyecto fue evaluado en ambos sentidos de circulación.

Los datos obtenidos con ambos equipos para cada sentido de la Ruta Nacional 27 se muestran en las Figuras 8 y 9. Es importante aclarar que en la literatura existen estudios que permiten relacionar los resultados obtenidos del *Grip Number* con la probabilidad de que ocurran accidentes, de tal manera que es posible definir rangos de estado; lo cual no sucede con los resultados del *Mu Meter* cuando es evaluado en redes viales

En total, se evaluaron y procesaron con este equipo más de 30,000 secciones de 5 metros de longitud, y los resultados de las mediciones obtenidas para este proyecto en ambos sentidos San José – Caldera, Caldera – San José se presentan respectivamente en la Tabla 7 y Figuras 8 y 9.

Tabla 7 Resultados obtenidos, coeficiente rozamiento superficial del proyecto

Sentido	Longitud en cada rango, km y %								Total km
	Muy Deslizante		Deslizante		Poco Deslizante		No Deslizante		
San José – Caldera	15,3	20,0%	35,7	46,7%	25,0	32,7%	0,5	0,6%	76,5
Caldera – San José	25,7	33,5%	37,8	49,3%	13,0	16,9%	0,2	0,3%	76,7

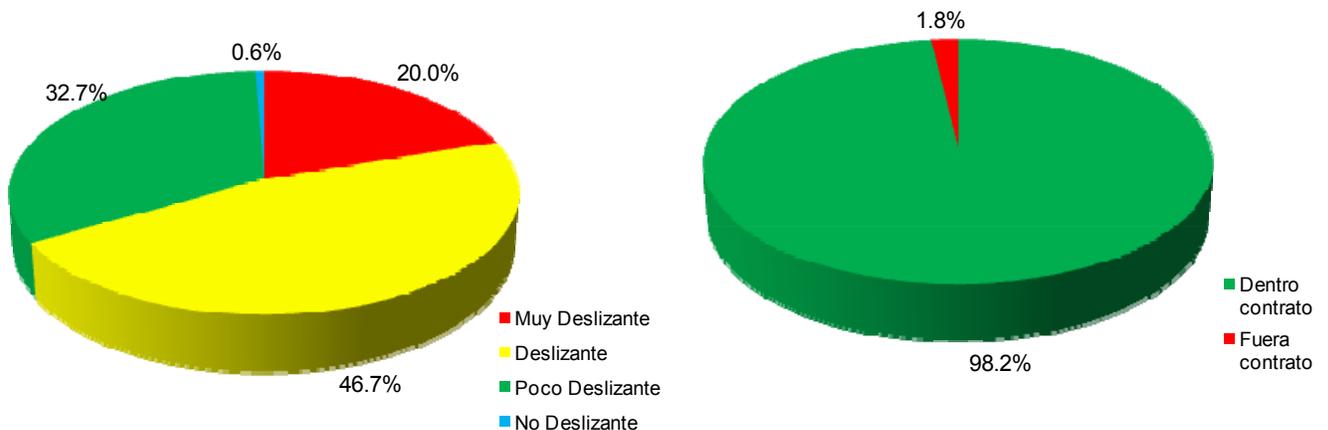


Figura 8: Resultados de las pruebas de *Grip Tester* (izquierda) y *Mu Meter* (derecha), para el carril en el sentido San José - Caldera Ruta 27. Los rangos dados para el *Mu Meter* corresponden a los indicados en contrato.

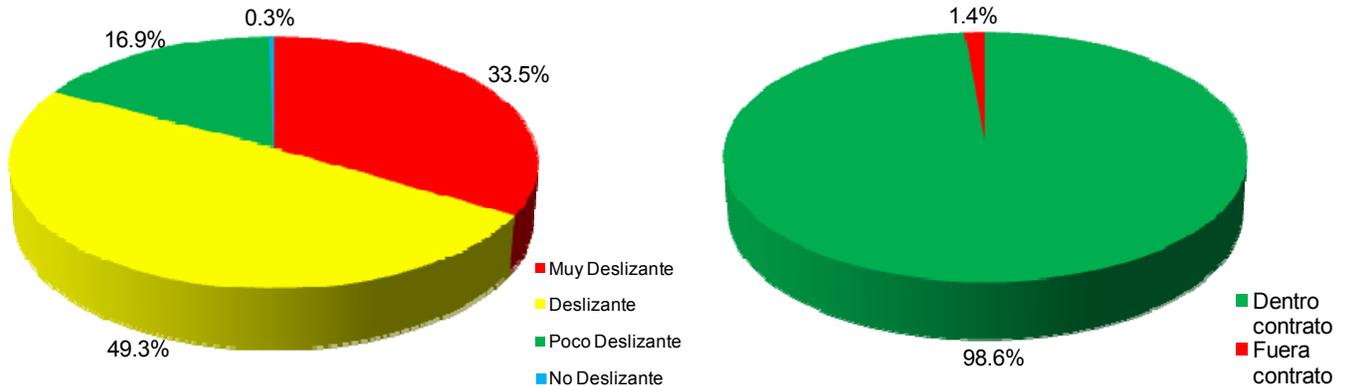


Figura 9: Resultados de las pruebas de *Grip Tester* (izquierda) y *Mu Meter* (derecha), para el sentido Caldera - San José en la Ruta 27. Los rangos dados para el *Mu Meter* corresponden a los indicados en contrato.

Por la naturaleza del coeficiente de fricción, los valores obtenidos por ambos equipos no pueden ser comparables entre sí, por lo que se utilizan rangos que permitan de forma indirecta realizar esa comparación.

En el Anexo 3 se muestran las tablas donde se indican los estacionamientos con valores de agarre superficial deslizante a muy deslizante, así como los mapas de ubicación de dichos puntos.

3.3.b.1 Análisis general de resultados de la evaluación de la resistencia al deslizamiento. Mes de agosto del 2014

Para el caso del Mu-Meter (Miu-meter según contrato) se utiliza los valores límites indicados en el contrato⁴, donde se indica que para pendientes mayores del 6% y en intersección el valor mínimo es de 0.55 y para tramos rectos con pendientes menos al 6% el valor mínimo es de 0.45, es pertinente aclarar que esto valores no son válidos desde el punto de vista técnico, ya que este equipo no se ve afectado por los cambios de pendiente de la carretera.

Una vez aclarado lo anterior y considerando los rangos especificados en el contrato, los valores obtenidos con el Mu-Meter se puede observar que menos de un 2% no cumple con valores mínimos de fricción contemplando en el contrato, caso contrario sucede con los datos obtenidos con el Grip Tester, equipo ampliamente utilizado a nivel internacional para medir este factor en carreteras, con el cual se obtuvo que poco menos del 50% en ambos sentidos de la troncal principal tiene una condición deslizante. Esto da la necesidad de revisar los rangos establecidos para el Mu Meter, de tal manera que representen mejor la realidad de la ruta.

Se debe notar que como complemento a las Notas Q obtenidos con el FWD y el IRI, se utilizan los resultados obtenidos en la prueba con Grip Tester para la toma de decisión del tipo de intervención a realizar.

⁴ Contrato Concesión de la carretera San José - Caldera, apartado "2.15.2 Indicadores para Pavimento Asfáltico, inciso f. Resistencia al resbalamiento (m)"



3.4 Análisis de Notas Q para año 2015

Con la obtención de los parámetros medidos desde el punto de vista estructural, funcional y de seguridad vial, se puede realizar el cálculo de las notas de calidad Q, las cuales permiten determinar una estrategia de intervención que permita mantener o mejorar su condición actual.

En la Tabla 8 se presenta el análisis realizado para cada tramo a lo largo de la troncal principal para ambos sentidos. Para cada uno de estos tramos se utiliza el promedio de cada parámetro, los que al combinarlos, permite definir la calificación correspondiente.

Del análisis realizado, se desprende que desde el punto de vista estructural y funcional, todos los tramos se encuentran en muy buena condición, requiriendo solamente intervenciones de tipo mantenimiento preventivo de bajo costo, enfocadas en corregir la pérdida de capacidad funcional (éste último para el caso de los tramos 1, 3 y 4 que cuenta con una nota Q2), prestando especial atención al aspecto de seguridad vial, ya que presentan una alta probabilidad al deslizamiento.

Donde la nota Q1 se refiere a la condición ideal de un pavimento desde el punto de vista estructural y funcional. A pesar de esta condición estos deben ser evaluados para identificar la presencia de deterioros que puedan afectar la seguridad vial tales como desprendimientos, desnudamiento o exudaciones, los cuales no constituyen deterioros estructurales o de regularidad que puedan ser percibidos por el perfilógrafo (IRI) o por la deflectometría de campo.

La nota Q2 son pavimentos que cuentan con una capacidad estructural muy buena, pero su capacidad funcional se ha desplazado a una condición regular donde la calidad del manejo es notablemente inferior a la de los pavimentos nuevos y se pueden presentar problemas para altas velocidades de tránsito. Los defectos superficiales en los pavimentos flexibles pueden incluir deformaciones en la mezcla asfáltica, baches reparados y agrietamientos de severidad baja

Tabla 8 Notas Q para la troncal principal Ruta 27

Tramo	Sentido	Parámetro	2015
1 <i>(desde 0+000 hasta 3+605)</i>	San José a Caldera	FWD	<i>Baja</i>
		IRI	<i>Buena</i>
		Grip	<i>Muy Deslizante</i>
		Nota Q	Q1
	Caldera a San José	FWD	<i>Baja</i>
		IRI	<i>Buena</i>
		Grip	<i>Deslizante</i>
		Nota Q	Q1
2 <i>(desde 3+605 hasta 14+025)</i>	San José a Caldera	FWD	<i>Baja</i>
		IRI	<i>Buena</i>
		Grip	<i>Deslizante</i>
		Nota Q	Q1
	Caldera a San José	FWD	<i>Baja</i>
		IRI	<i>Buena</i>
		Grip	<i>Deslizante</i>
		Nota Q	Q1
3 <i>(desde 14+025 hasta 51+720)</i>	San José a Caldera	FWD	<i>Baja</i>
		IRI	<i>Regular</i>
		Grip	<i>Deslizante</i>
		Nota Q	Q2
	Caldera a San José	FWD	<i>Baja</i>
		IRI	<i>Buena</i>
		Grip	<i>Deslizante</i>
		Nota Q	Q1
4 <i>(desde 51+720 hasta 76+310)</i>	San José a Caldera	FWD	<i>Baja</i>
		IRI	<i>Regular</i>
		Grip	<i>Deslizante</i>
		Nota Q	Q2
	Caldera a San José	FWD	<i>Baja</i>
		IRI	<i>Regular</i>
		Grip	<i>Deslizante</i>
		Nota Q	Q2

3.5 Comparación de la condición de la ruta 27, campañas de evaluación 2014 y 2015

3.5a. Evaluación con el deflectómetro de impacto

La Figura 10 muestra la evolución de la ruta en el parámetro de deflexiones obtenidas, para el sentido San José – Caldera. Por su parte, la Figura 11 muestra los resultados para el sentido Caldera – San José. La longitud evaluada en las 2 campañas es muy similar ($\pm 1\%$), por lo que los datos pueden ser comparados de manera directa.

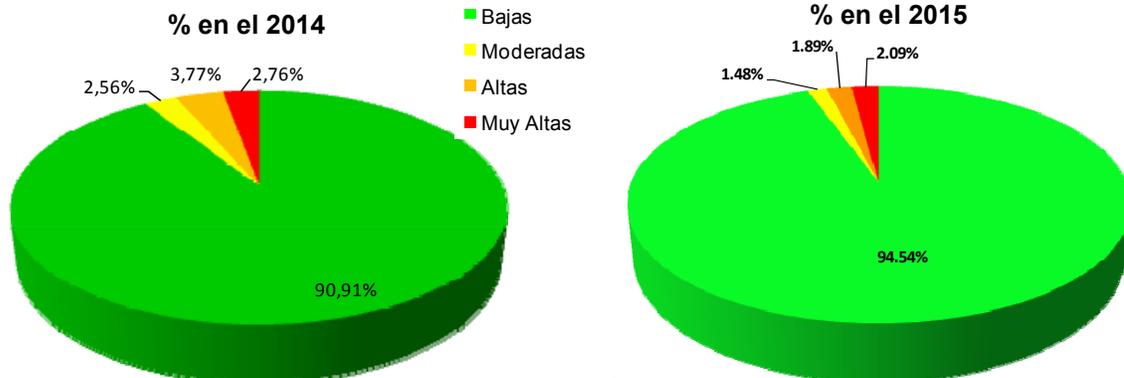


Figura 10 Resultados obtenidos en la evaluación de las deflexiones del pavimento para las campañas 2014 y 2015, sentido San José – Caldera de la Ruta Nacional 27

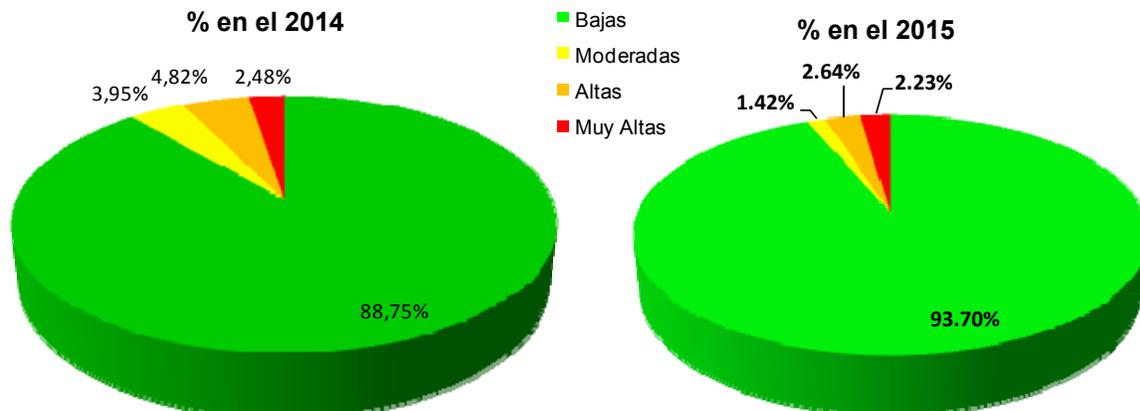


Figura 11 Resultados obtenidos en la evaluación de las deflexiones del pavimento para las campañas 2014 y 2015, sentido Caldera – San José de la Ruta Nacional 27

De las figuras anteriores, se observa que la ruta muestra una mejora en la longitud con deflexiones Moderadas, Altas y Muy Altas en ambos sentidos, lo que representa el efecto de posibles intervenciones al pavimento que ayudó a mejorar la condición estructural. Es importante mencionar que el deterioro que se puede presentar en lo referente a capacidad estructural es normal en cualquier pavimento, debido a que conforme pasan vehículos cargados, la estructura va perdiendo resistencia producto de fenómenos conocidos como fatiga o pérdida de capacidad de soporte de las capas subyacentes. Desde la apertura de la ruta, los resultados de este parámetro de evaluación han puesto en evidencia un

aumento bajo pero constante en el porcentaje de los rangos críticos. Para esta evaluación se puede observar una disminución de estas tres condición debido probablemente a intervenciones que refuerzan la estructura del pavimento, siendo evidente que este parámetro se convierte en una herramienta útil para el monitoreo del desempeño de la obra, lo cual permite a su vez programar el mantenimiento o intervención adecuada para brindar un alto nivel de servicio.

3.5b. Evaluación con el perfilómetro láser superficial

La Figura 12 muestra la evolución de la ruta en el parámetro de regularidad superficial, para el sentido San José – Caldera. Por su parte, la Figura 13 muestra los resultados para el sentido Caldera – San José. La longitud evaluada en las 5 campañas es también muy similar ($\pm 1\%$), por lo que los datos pueden ser comparados de manera directa.

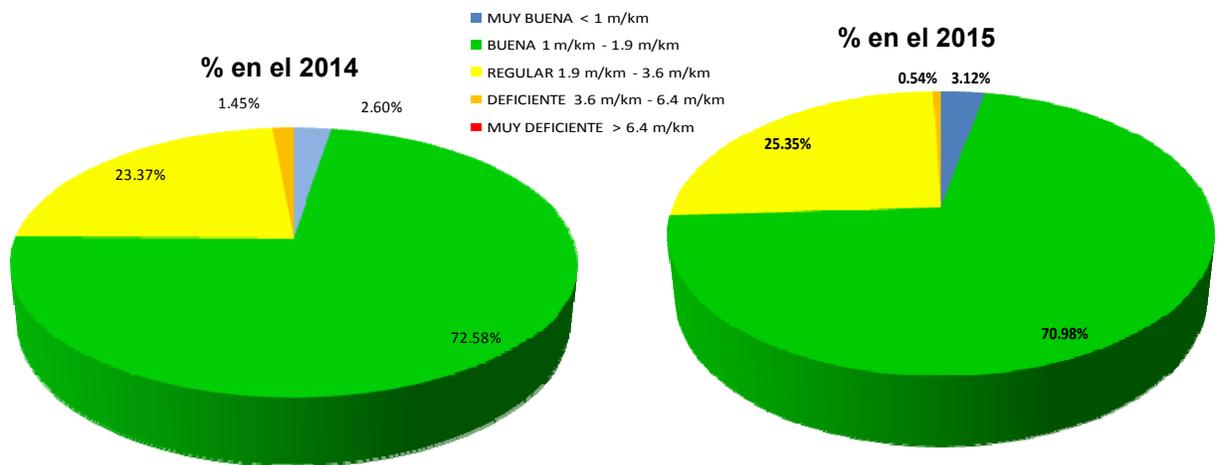


Figura 12 Resultados obtenidos en la evaluación de las regularidades superficiales del pavimento para las campañas 2014 y 2015, sentido San José – Caldera de la Ruta Nacional 27

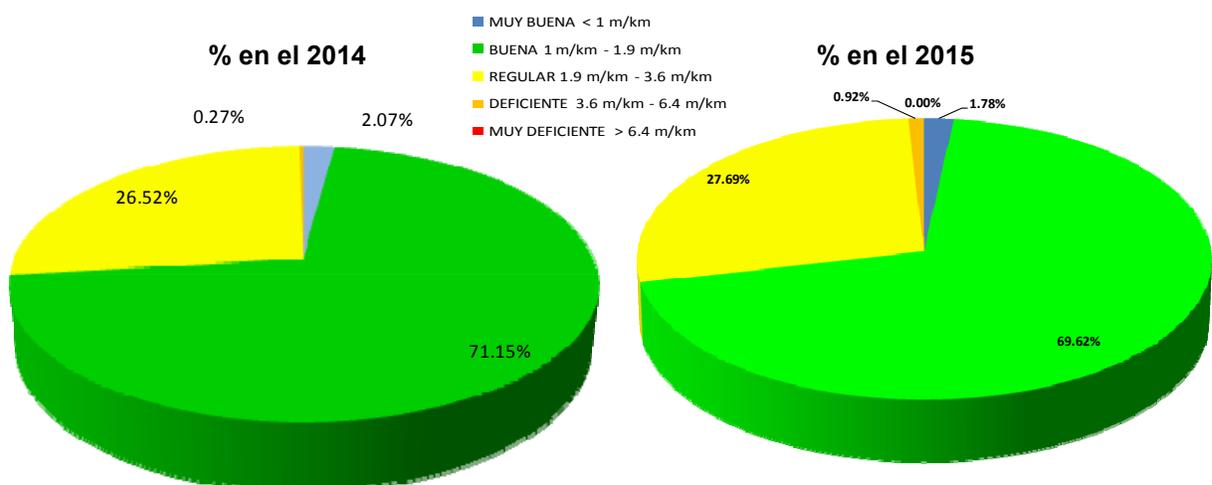


Figura 13 Resultados obtenidos en la evaluación de las regularidades superficiales del pavimento para las campañas 2014 y 2015, sentido Caldera – San José de la Ruta Nacional 27

En las figuras anteriores se nota que en general el sentido Caldera – San José presenta una disminución en la longitud que cuenta con una condición de regularidad superficial Muy Buena y Buena, siendo el Sentido San José - Caldera el que presenta el mayor cambio de categoría de Buena a Regular representando un incremento de alrededor del 2%.

3.5c. Evaluación con el medidor del coeficiente de rozamiento superficial

Las Figuras 14 y 15 comparan los resultados obtenidos en las campañas de evaluación con el medidor del coeficiente de rozamiento superficial, realizadas en los años 2014 y 2015 para cada uno de los sentidos de la Ruta Nacional 27.

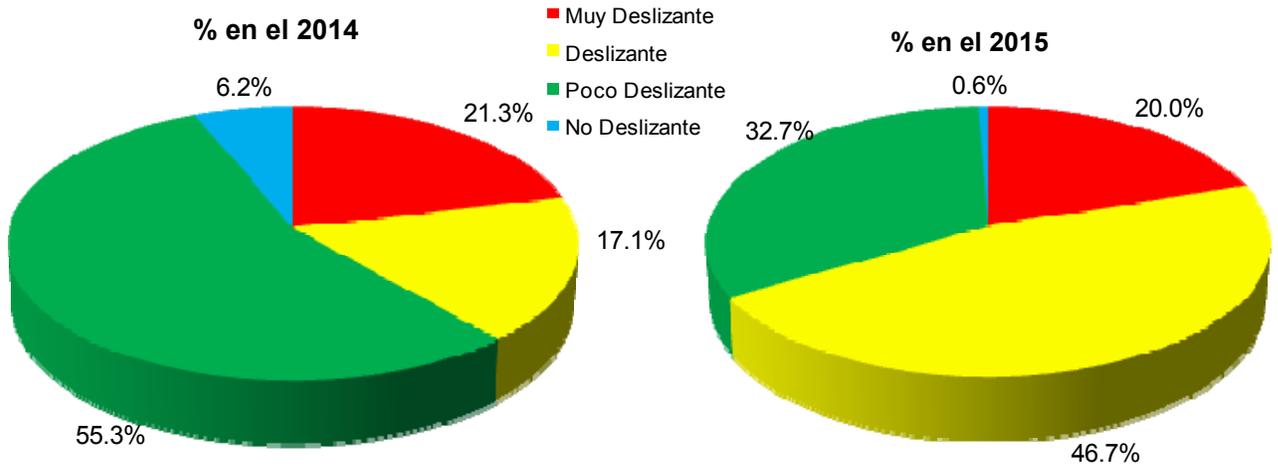


Figura 14 Resultados obtenidos en la evaluación del nivel de deslizamiento superficial del pavimento para las campañas 2014 y 2015, sentido San José – Caldera de la Ruta Nacional 27

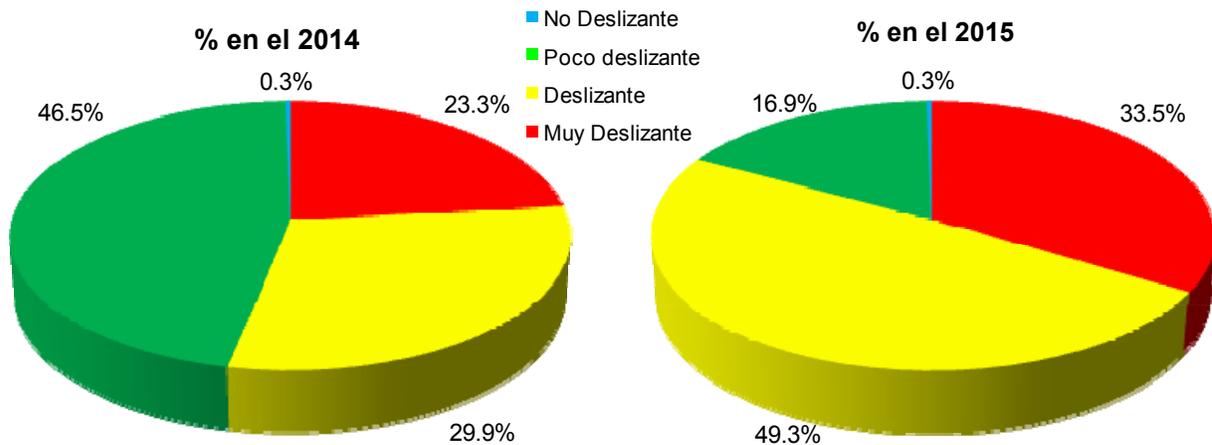


Figura 15 Resultados obtenidos en la evaluación del nivel de deslizamiento superficial del pavimento para las campañas 2014 y 2015, sentido Caldera – San José de la Ruta Nacional 27



Existe una tendencia marcada en el aumento de longitud deslizando para el sentido Caldera - San José de la Ruta 27. Desde el punto de vista de la seguridad vial, niveles bajos de agarre se asocian con aumento en la probabilidad de accidentes, sobre todo cuando la superficie se encuentra húmeda.

3.6 Comparación de las notas Q obtenidas para la Ruta 27, años 2014 y 2015

Por medio de la utilización de la metodología para el cálculo de las notas de calidad Q, el LanammeUCR introduce un indicador de condición del proyecto que permite evaluar la evolución del deterioro del corredor de forma integral.

Las notas de calidad Q ponderan la condición estructural y la condición funcional en un único indicador y correlaciona esta nota con niveles de intervención, es decir, intervenciones que van desde el mantenimiento hasta la reconstrucción total de una vía.

Calculando las notas de calidad Q para el corredor de la troncal principal y comparándola con sus equivalentes para la evaluación anterior, se puede conocer el nivel de calidad del proyecto y su desempeño en el tiempo.

Los resultados obtenidos se ilustran en la Tabla 9.

Tabla 9 Comparación de las notas Q obtenidas por tramo y año de campaña de evaluación, Ruta Nacional 27 Carretera San José – Caldera.

Tramo	Sentido	Parámetro	Categoría por año	
			2014	2015
1 <i>(desde 0+000 hasta 3+605)</i>	San José a Caldera	FWD	Baja	Baja
		IRI	Regular	Buena
		Grip	Muy Deslizante	Muy Deslizante
		Nota Q	Q2	Q2
	Caldera a San José	FWD	Baja	Baja
		IRI	Buena	Buena
		Grip	Deslizante	Deslizante
		Nota Q	Q1	Q1
2 <i>(desde 3+605 hasta 14+025)</i>	San José a Caldera	FWD	Baja	Baja
		IRI	Buena	Buena
		Grip	Deslizante	Deslizante
		Nota Q	Q1	Q1
	Caldera a San José	FWD	Baja	Baja
		IRI	Buena	Buena
		Grip	Deslizante	Deslizante
		Nota Q	Q1	Q1
3 <i>(desde 14+025 hasta 51+720)</i>	San José a Caldera	FWD	Baja	Baja
		IRI	Regular	Regular
		Grip	Deslizante	Deslizante
		Nota Q	Q2	Q2
	Caldera a San José	FWD	Baja	Baja
		IRI	Regular	Buena
		Grip	Deslizante	Deslizante
		Nota Q	Q2	Q1
4 <i>(desde 51+720 hasta 76+310)</i>	San José a Caldera	FWD	Baja	Baja
		IRI	Regular	Regular
		Grip	Poco Deslizante	Deslizante
		Nota Q	Q2	Q2
	Caldera a San José	FWD	Baja	Baja
		IRI	Regular	Regular
		Grip	Deslizante	Deslizante
		Nota Q	Q2	Q2



En la totalidad de los tramos la condición del pavimento se ha mantenido entre las categorías Q1 y Q2, lo cual indica que su capacidad estructural es muy buena, pero su capacidad funcional se ha desplazado a una condición regular donde la calidad de manejo es notablemente inferior a la de los pavimentos nuevos y se pueden presentar problemas para altas velocidades de tránsito. En términos generales las estrategias de intervención para este tipo de pavimentos se mantienen en el rango de intervenciones de tipo "mantenimiento de preservación", lo cual indica intervenciones baratas y de poco impacto para los usuarios.

Sin embargo, en la Tabla 9, se observa también que varios tramos presentan un deterioro significativo, con base en los resultados del parámetro *IRI*, y especialmente del parámetro *Grip* o agarre superficial. Estos resultados concuerdan con aquellos obtenidos mediante el uso del Equipo de Auscultación Visual, para cada una de las campañas de evaluación realizadas.

Lo anterior denota una ruta cuyos tramos se están deteriorando desde el punto de vista de condición superficial, con problemas puntuales que ya pueden ser sentidos por los usuarios (agrietamientos, bacheos mal realizados) en varios segmentos. Desde el punto de vista de seguridad vial, los tramos de la ruta han venido disminuyendo sus niveles de agarre superficial, lo que aumenta la probabilidad de accidentes cuando se presentan condiciones adversas de conducción, tales como exudación, contaminación de la superficie o agua superficial presente en la superficie de ruedo, producto principalmente de las lluvias. Es importante recalcar que esto último no es un problema reciente, dado que los bajos niveles de resistencia al deslizamiento han sido detectados por el LanammeUCR desde la primera campaña de evaluación de la ruta, a finales del año 2010.

Con base en las Notas Q y los niveles de agarre superficial obtenidos, se pueden establecer propuestas generales de intervención, para devolverle a los tramos el nivel de servicio correcto. Del análisis realizado para cada año, en la Tabla 10 se muestran, para cada tramo y año de evaluación, las posibilidades de intervención.

Tabla 10: Posibilidades de intervención por tramo y año de evaluación, con base en las Notas Q obtenidas

Tramo	Sentido	Posibilidad de intervención, por año	
		2014	2015
1	Ida	ChS2(TS2) ChS3(TS3)	ChS2(TS2) ChS3(TS3)
	Venida	SS ChS1(TS1)	SS ChS1(TS1)
2	Ida	SS ChS1(TS1)	SS ChS1(TS1)
	Venida	SS ChS1(TS1)	SS ChS1(TS1)
3	Ida	ChS2(TS2) ChS3(TS3)	ChS2(TS2) ChS3(TS3)
	Venida	ChS2(TS2) ChS3(TS3)	ChS2(TS2) ChS3(TS3)
4	Ida	SS ChS1(TS1)	SS ChS1(TS1)
	Venida	ChS2(TS2) ChS3(TS3)	ChS2(TS2) ChS3(TS3)

Acorde a los resultados obtenidos, para el año 2014 las posibilidades de intervención necesarias para devolver la ruta a su nivel de servicio original, deben ser del tipo de tratamiento superficial para todos y cada uno de los tramos, tanto en el sentido San José a Caldera, como en el sentido contrario. De no realizarse este tipo de acciones, es de esperar para la campaña de evaluación del año 2015, resultados peores tanto en IRI como en Grip, afectando tanto los costos de operación de la flota vehicular que por dicha ruta circula, como sus niveles de seguridad vial.

3.7 Análisis de la condición superficial del proyecto. Presencia, severidad y extensión de deterioros según análisis visual por medio de equipos de imágenes georreferenciadas. Evaluaciones realizadas en junio del 2015

3.7a. Equipo utilizado y criterios de clasificación

Los detalles del equipo de Toma de Imágenes Georreferenciadas utilizado, y la metodología seguida de evaluación aparecen en la Ficha Técnica FT – UGERVN – 02 – 13, disponible en el sitio de Internet del LanammeUCR (www.lanamme.ucr.ac.cr).

Los criterios de severidad que se utilizaron para la realización de esta evaluación, se establecieron de acuerdo con lo definido en la norma ASTM D6433, para deterioros superficiales en pavimentos flexibles. La Tabla 11 muestra los tipos de deterioros comunes en carreteras de asfalto, y que fueron localizados en la Ruta 27. Al contar con la información obtenida en los años 2011, 2012, 2013 y 2014 referente a deterioros presentes en la misma, se pudo hacer un análisis comparativo por sentido de circulación,



que permitió conocer si hubo un aumento o disminución de cada deterioro, lo que se vio reflejado también en el análisis realizado del cálculo del IRI.

Desde el punto de vista de seguridad vial, hay elementos presentes en la carretera que requieren de mantenimiento constante para garantizar la seguridad de los vehículos y sus usuarios. En este aspecto, las barreras de contención son elementos que ayudan a disminuir la gravedad de los accidentes, protegiendo al usuario de elementos que se encuentran al lado de la carretera, como por ejemplo árboles, postes de tendidos eléctricos, pilas de puentes, postes de señales de tránsito y terraplenes altos, entre otros que representan un riesgo para la vida de los usuarios en caso de que se produzca una colisión contra alguno de estos elementos.

Además de las barreras, existen otras características propias de la carretera que pueden representar un riesgo a la hora de transitar por la vía, como lo son secciones de corte y relleno con pendientes pronunciadas, y que propician la aparición de deslizamientos de materiales; cunetas profundas sin ningún tipo de protección en caso de que un vehículo caiga en ellas, cabezales expuestos de alcantarillas, aproximaciones a puentes sin señalización ni dispositivos adecuados de seguridad vial, entre otros.

Para el presente informe, se han identificado, georreferenciado y fotografiado las barreras de contención laterales, comúnmente conocidas como *Flex Beam*, que se encuentran en condiciones inadecuadas para garantizar esa seguridad operacional de la ruta. Además, se realiza una comparación de la condición de estas barreras en los años 2013 y 2014.

Tabla 11 Tipos de deterioros típicos en carreteras de pavimento flexible

Deterioro	Descripción	Severidad
Bacheo	Área donde el pavimento original fue removido y reemplazado por material similar o diferente, para reparar la estructura o para permitir la instalación o reparación de alguna red de servicio.	Baja: en muy buena condición y su desempeño es satisfactorio Media: presenta daños y deficiencias en los bordes. Alta: gravemente deteriorado y requiere ser reparado pronto.
Desprendimiento de Agregados	Disgregación superficial de la capa de rodadura debido a una pérdida gradual de agregados, haciendo la superficie más rugosa y exponiendo de manera progresiva los materiales a la acción del tránsito y los agentes climáticos	Baja: los agregados gruesos empiezan a desprenderse y hay pequeños huecos con separación mayor a 0.15 m. Media: mayor desprendimiento de agregados, con separaciones entre 0.5 m y 0.15 m. Alta: desprendimiento extensivo de agregados con separaciones menores a 5 cm haciendo la superficie muy rugosa con agregados sueltos.
Exudación	Película o afloramiento del ligante asfáltico sobre la superficie del pavimento generalmente brillante, resbaladiza y usualmente pegajosa. Puede llegar a afectar la resistencia al deslizamiento.	Baja: visible en la superficie, en franjas aisladas y de espesor delgado, no cubre los agregados gruesos. Media: exceso de asfalto que conforma una película parcial sobre los agregados, se localiza en la huella de tráfico, se torna pegajoso en climas cálidos. Alta: presencia significativa de asfalto en la superficie, cubriendo casi la totalidad de los agregados, presenta un aspecto húmedo de intensa coloración negra.
Grieta longitudinal y transversal	Discontinuidades en la mezcla asfáltica en la misma dirección del tránsito o transversal a éste. Representa indicios de la existencia de esfuerzos de tensión en alguna de las capas de la estructura, los cuales han superado la resistencia del material afectado, debido a la fatiga.	Baja: abertura de la fisura menor que 1 mm, cerrada o con sello en buen estado. Media: abertura de la fisura entre 1 mm y 3 mm, pueden existir algunas fisuras de severidad baja en los bordes o cerca de ellos. Alta: fisuras con abertura mayor a 3 mm, puede presentar fisuras con patrones irregulares, puede causar movimientos bruscos a los vehículos.
Huecos	Desintegración total de carpeta asfáltica, dejando expuestos los materiales granulares, aumentando el área afectada y la profundidad debido a la acción del tránsito.	Baja: profundidad menor o igual a 25 mm Media: profundidad de afectación entre 25 mm y 50 mm, está expuesta la base. Alta: profundidad de afectación mayor a 50 mm.
Piel de Lagarto	Serie de fisuras interconectadas con patrones irregulares, generalmente localizadas en zonas sujetas a repeticiones de carga. Las fisuras tienden a iniciarse en la fibra inferior de la capa asfáltica, donde los esfuerzos de tracción son mayores bajo la acción de las cargas.	Baja: fisuras longitudinales paralelas en la huella, con pocos o ninguna conexión. Media: las fisuras forman patrones de polígonos pequeños, sin evidencia de bombeo. Alta: las figuras están interconectadas formando bloques sueltos, presenta bombeo y descascaramiento.
Daño por humedad	Deterioro de la capacidad estructural de la mezcla causada por la presencia de agua en estado líquido o gaseoso al interior de la micro estructura	Se manifiesta por la pérdida de recubrimiento (<i>stripping</i>) de cemento asfáltico de la superficie de los agregados y desprendimiento progresivo de los agregados de la superficie de la mezcla causado por el paso de las llantas vehiculares (<i>raveling</i>).

Nota: tomado del Manual de Inspección Visual de Pavimentos Flexibles (Colombia, 2006) y el Manual de Auscultación Visual (LanammeUCR, 2013).

3.7b. Resumen de resultados de la evaluación visual de deterioros superficiales

En la Figura 16, se ilustran los resultados obtenidos de la evaluación realizada, en el sentido San José – Caldera, y a la vez se compara con los resultados de la campaña de los años 2014 y 2015

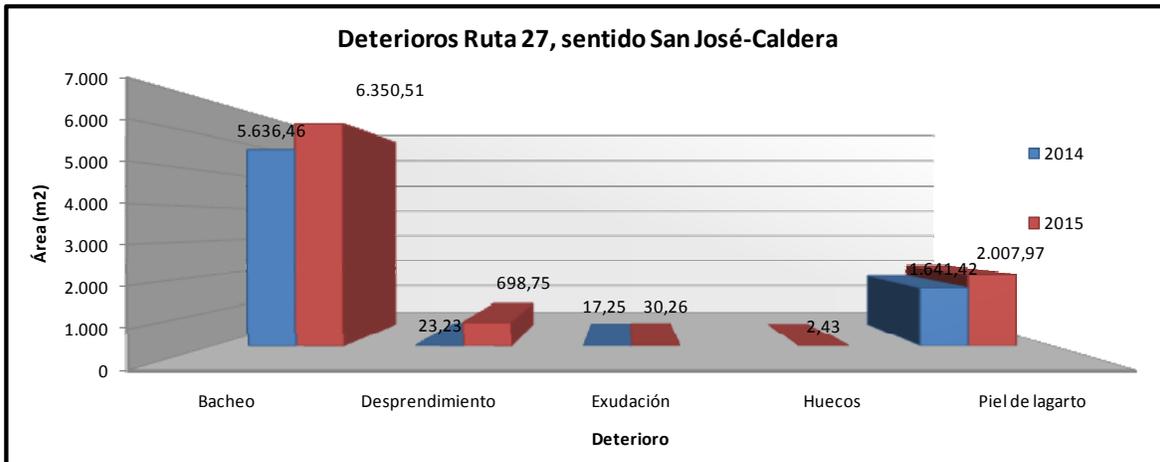


Figura 16 Comparación de resultados de deterioros, campañas 2014 y 2015, sentido San José – Caldera

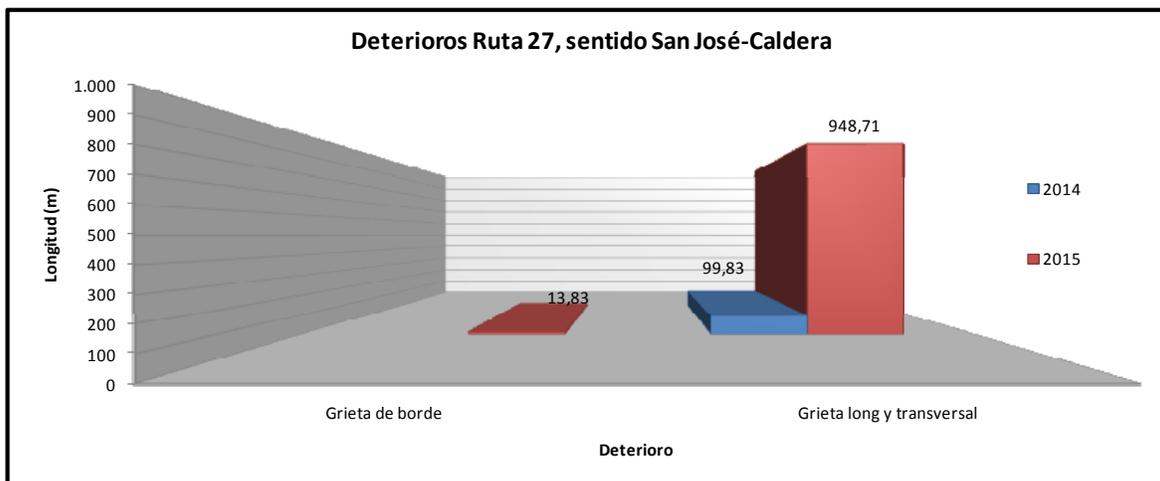


Figura 16 (Continuación) Comparación de resultados de deterioros, campañas 2014 y 2015, sentido San José – Caldera

En la figura anterior se muestra un incremento un 13% respecto al 2014 de área con presencia de Bacheo, correspondiendo en su mayoría a bacheos con severidad baja, un comportamiento similar se observa con el deterioro tipo "Piel de Lagarto" que ha presentado un incremento del 22% respecto al detectado en el año 2014. En la Figura 17 se muestra la presencia de exudación con severidad alta en varios puntos de la carretera.



Estacionamiento 37+485



Estacionamiento 40+200

Figura 17. Presencia de exudación.

Además se detectó que la presencia de grietas longitudinales y transversales aumentó considerablemente.

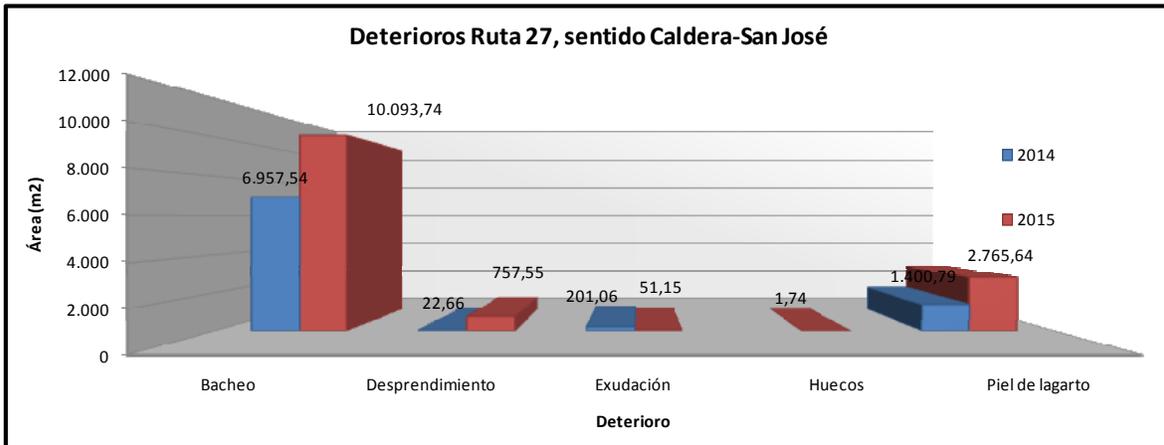


Figura 18 Comparación de resultados de deterioros / (severidad), campañas 2001, 2012, 2013 y 2014 sentido Caldera – San José

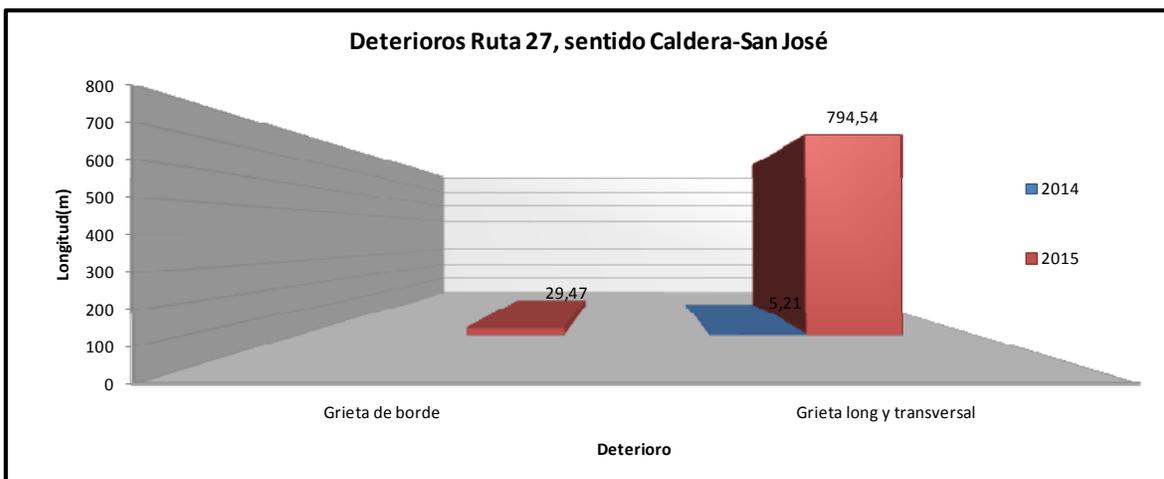


Figura 18 (continuación) Comparación de resultados de deterioros / (severidad), campañas 2001, 2012, 2013 y 2014 sentido Caldera – San José

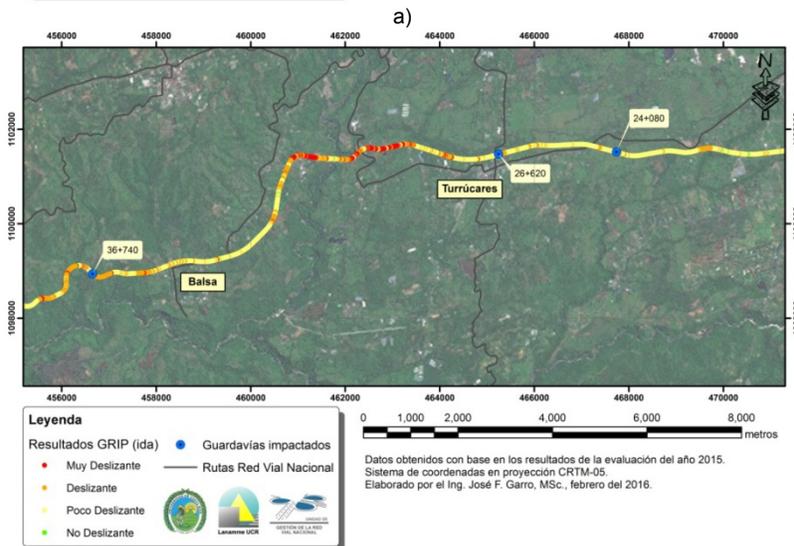
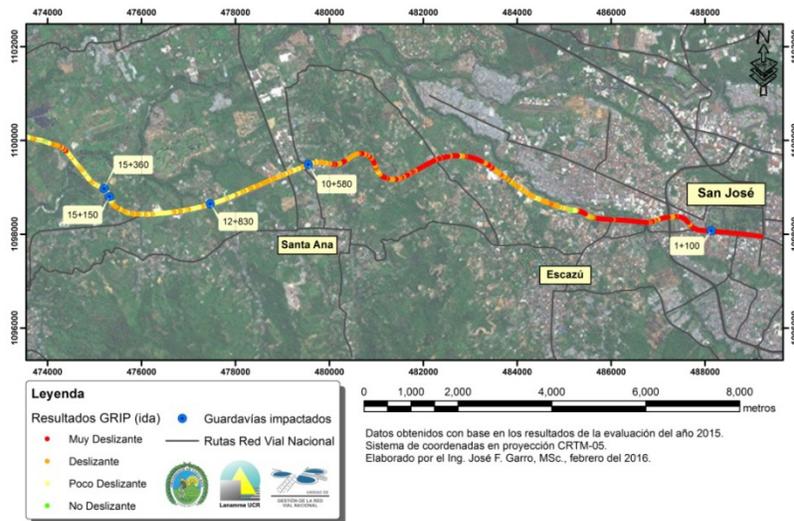
Al igual que en el sentido San José - Caldera, se ha dado un incremento importante el área afectada por Bacheo en relación con el año anterior al igual que en el caso de la Piel de Lagarto y las grietas transversales y longitudinales

Con respecto al estado de las barreras laterales (*Flex Beam*), en la evaluación realizada en el 2015 se encontraron 15 puntos donde estas estructuras se encuentran deformadas debido a impactos vehiculares. En un punto se detectó un tramo sin la viga flexible y se halló que en la mayoría de tramos donde está colocado este elemento se encuentra una incorrecta instalación de las terminales, ya que podrían funcionar como "rampas" en el momento que un vehículo las impacta.

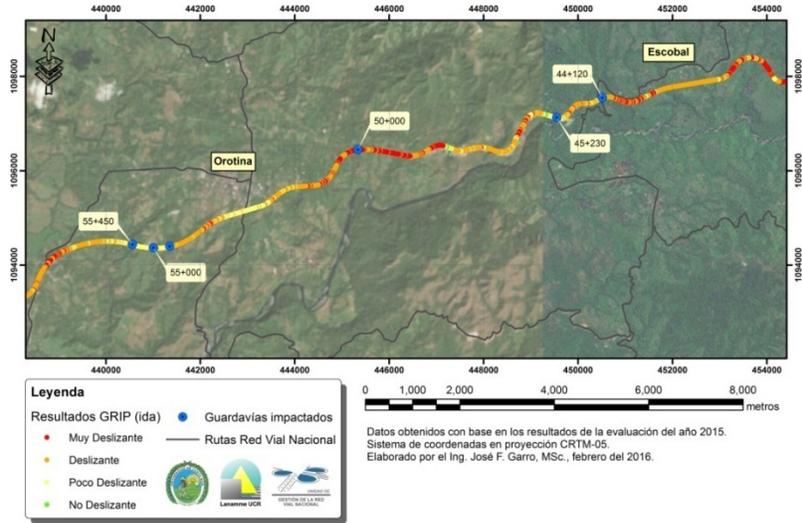
Por otro lado, se ha detectado un aumento de "Flex Beam" deformadas en ambos sentidos, ya que en el sentido San José - Caldera se detectaron 8 puntos, y en el sentido

Caldera - San José se presentan 7 sitios con guardavías impactados. En todos los sitios encontrados con barreras deformadas hay presencia de la categoría "Deslizante" y "Muy Deslizante" con respecto al coeficiente de agarre superficial medido con el Grip-Tester, lo que indica la necesidad de atender las zonas deslizantes para colaborar en disminuir la probabilidad de la ocurrencia de accidentes.

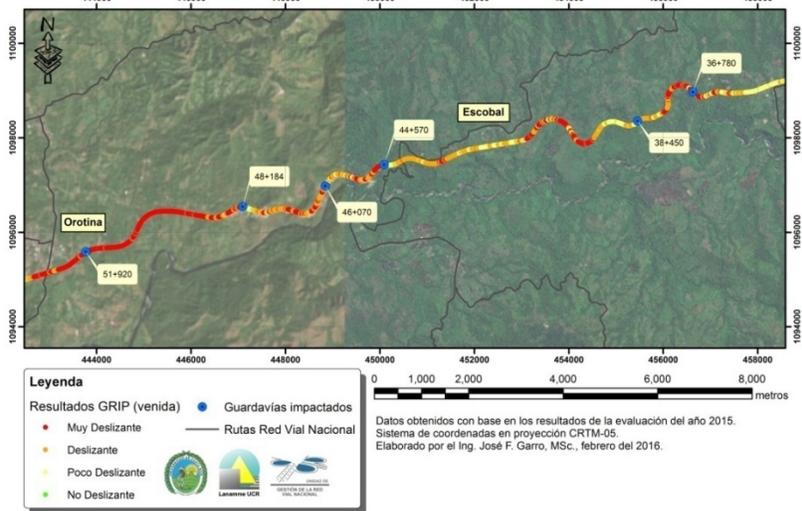
En la Figura 19 se muestra la ubicación de los puntos en los que se detectaron guardavías impactados, en el Anexo IV se presenta el detalle visual de estos puntos



b) Figura 19 Ubicación de Guardavías impactadas

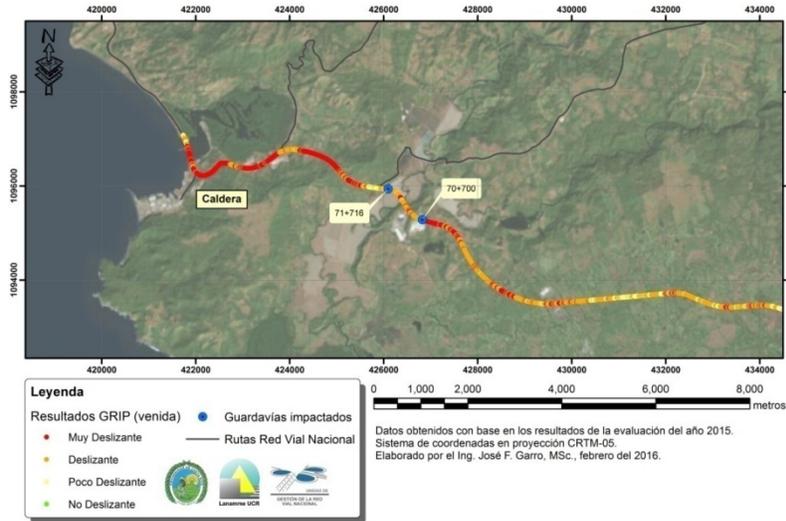


c)



d)

Figura 19 Ubicación de Guardavías impactadas (Continuación)



e)

Figura 19 Ubicación de Guardavías impactadas (Continuación)

En el Anexo 4 se presenta la ubicación de los puntos en los que se encontraron problemas en dichas obras. Ninguno de los sitios que se detectaron en la evaluación del 2014-2015 se detectaron en la evaluación 2015-2016.

4. Evaluación de las Radiales

4.1 Aspectos Generales

El proyecto de la Ruta Nacional 27 Carretera San José – Caldera, tal y como fue concesionado, comprende tanto la troncal principal como 4 radiales de acceso, a saber:

- Radial de El Coyol: conecta la ruta en el estacionamiento 22+450 con la Ruta Nacional 1 Carretera Interamericana Norte, en las cercanías de El Coyol de Alajuela. Es la radial más reciente y la más larga con 4.100 metros de longitud.
- Radial de Turrucares: conecta la Ruta 27 en el estacionamiento 26+350 con el poblado de Turrucares de Alajuela. Es la radial más corta, con 140 metros.
- Radial de Atenas: cerca del peaje de Atenas (estacionamiento 31+560), conecta la ruta con el poblado del mismo nombre. Tiene una longitud de 3.300 metros.
- Radial de Escobal: permite la comunicación desde la Ruta 27 en el estacionamiento 42+150 al poblado de Escobal. Tiene una longitud de 420 metros.

Todas las radiales presentan accesos desde la troncal principal, mediante carriles de aceleración / desaceleración, intersecciones y rotondas; asimismo todas presentan un carril por sentido de circulación.

La longitud indicada anteriormente es el recorrido principal de cada radial, sin incluir las rampas o rotondas de acceso. En la Figura 20 se muestra la ubicación de dichas radiales.

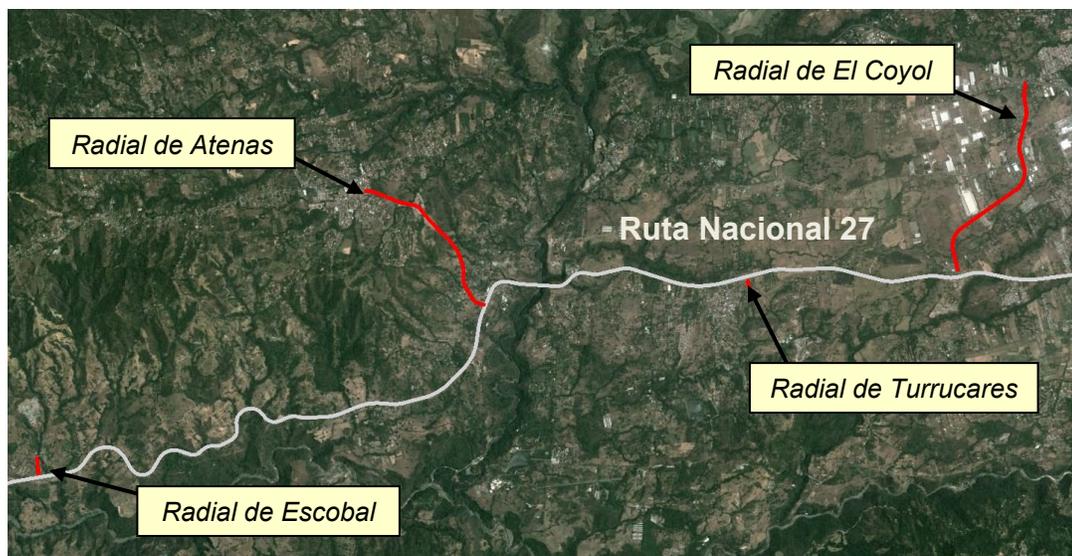


Figura 20: Ubicación de las radiales en la Ruta Nacional 27.

Como parte de la Campaña de Evaluación 2015 – 2016 de la Ruta Nacional 27, se evaluaron las radiales en los parámetros de capacidad estructural con el Deflectómetro de Impacto, capacidad funcional con el Perfilómetro Láser, seguridad vial con el Medidor de Agarre Superficial y nivel de deterioros en la superficie del pavimento con el Equipo de Imágenes Digitales Georreferenciadas.

4.2 Resultados obtenidos: Deflexiones del pavimento

La Figura 21 muestra para cada radial, los resultados obtenidos con el Deflectómetro de Impacto. Los resultados que aparecen en dicha figura representan los porcentajes relativos a cada sentido de cada radial. Según el contrato de la concesión en la sección 2.3.2.1.5 *Diseño Geométrico*, el concesionario debe considerar como mínimo las velocidades de diseño y las secciones transversales típicas, contenidos en los diseños, planos y anteproyectos proporcionados por el Concejo Nacional de Concesiones (CNC) y dar mantenimiento y rehabilitación a las radiales especificadas en el contrato.

Al momento de realizar este análisis no se contó con la información referente a la estructura de cada radial, por lo que se considera un espesor de capa asfáltica igual a la estructura de la sección a la cual pertenecen: dado que todas las radiales se encuentran en la Sección 2 de la ruta, se asumirá su estructura para el cálculo de las deflexiones.

Deflectometría 2015

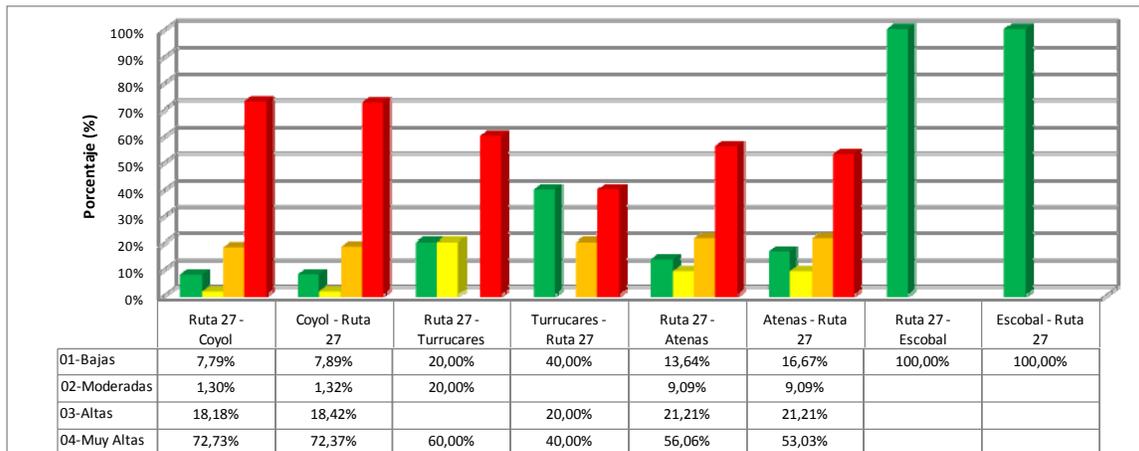


Figura 21 Resultados obtenidos con el Deflectómetro de Impacto, para las radiales de la Ruta 27, en porcentajes para cada rango.

Los resultados revelan que la Radial de El Coyoil es la que presenta las deflexiones más altas de las 4 analizadas. La misma está construida sobre una zona donde abundan los suelos de arcillas expansivas, lo cual puede generar problemas estructurales sobre la carpeta en el corto plazo, aumentando sus costos de mantenimiento y disminuyendo su nivel de servicio para los usuarios. La radial Atenas presenta también deflexiones predominantemente muy altas; mientras que la Radial a Escobal es la que presenta la mejor condición estructural de las 4 radiales.

4.3 Resultados obtenidos: Regularidad superficial

En la Figura 22 se muestran los resultados obtenidos para las radiales, con el Perfilómetro Láser. Al igual que con los datos de regularidad superficial, los resultados muestran los porcentajes relativos a cada sentido para cada radial.

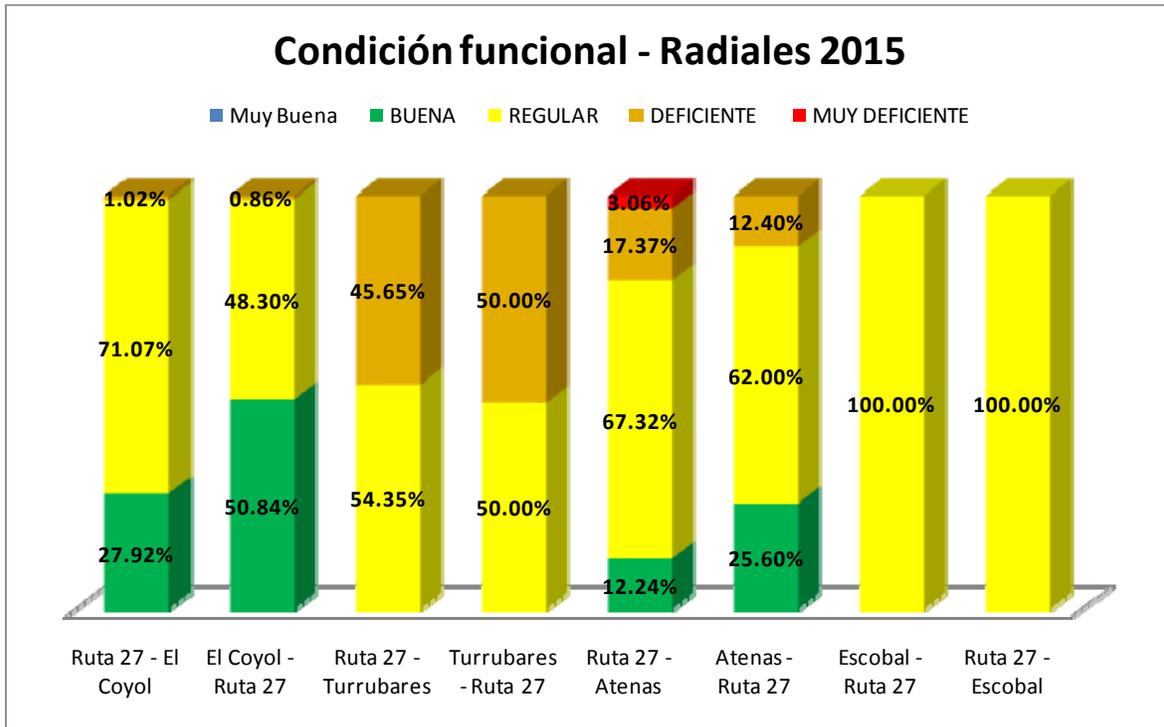


Figura 22 Resultados obtenidos con el Perfilómetro Láser, para las radiales de la Ruta 27, en porcentajes para cada rango.

En general, todas las radiales exhiben un porcentaje importante de su longitud en la categoría Regular. La radial de El Coyoil, al ser la más recientemente construida, una condición funcional Regular; la radial a Turrubares presenta una de las condiciones menos favorables en lo relacionado a la regularidad superficial, ya que cuenta con alrededor de un 50% en condición Regular y un 50% en condición Deficiente.

4.4 Resultados obtenidos: Deslizamiento superficial

En la Figura 23 y 24 se muestran los resultados de Deslizamiento Superficial obtenidos con el Medidor de Agarre superficial. Como en las figuras anteriores, se muestran los resultados por porcentaje para cada sentido en cada radial.

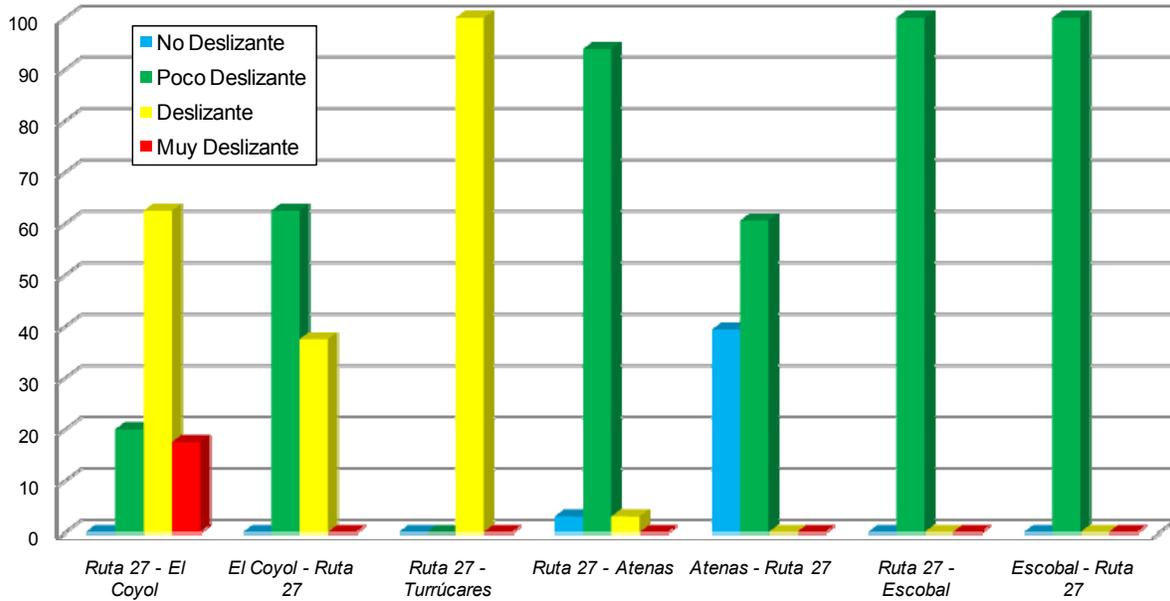


Figura 23 Resultados obtenidos con el Grip Tester, para las radiales de la Ruta 27, en porcentajes para cada rango.

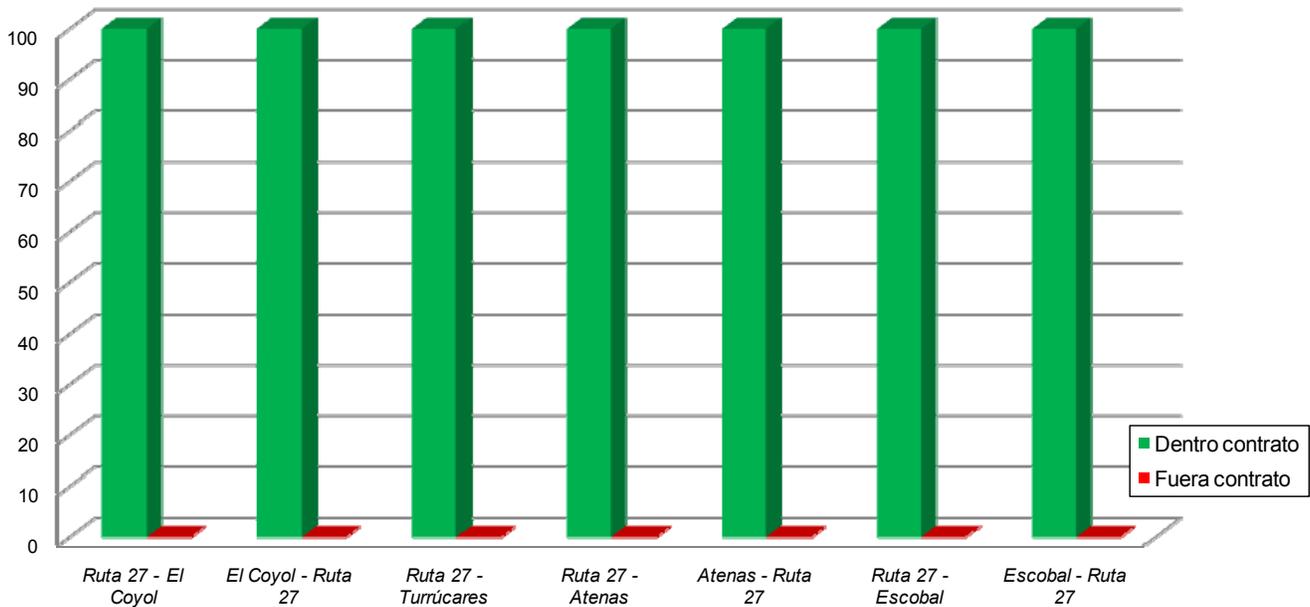


Figura 24 Resultados obtenidos con el Mu-Meter, para las radiales de la Ruta 27, en porcentajes para cada rango.



Dos de las 4 radiales presentan valores altos con condición Poco Deslizante, disminuyendo la probabilidad a la ocurrencia de accidentes por falta de agarra superficial, contrario a estos dos casos la radial a Turrucares presenta la totalidad de su longitud en condición Deslizante.

De los valores obtenidos con el Mu-Meter se desprende que todas las radiales presentan un buen estado según los rangos establecidos en el contrato de la concesión.

En el Anexo V se muestran los resultados completos de ambos equipos, en tramos de 100 metros de longitud, para las radiales evaluadas

4.5 Notas Q para las radiales

Con base en los resultados obtenidos para los 3 parámetros evaluados en las radiales, se procede al cálculo de sus Notas Q y determinar el tipo de intervención a realizarse. La metodología para determinar dicha nota se indica con detalle en el informe INF – PITRA – 003 – 2013 Evaluación de la Red Vial Nacional Pavimentada, años 2012 – 2013, del LanammeUCR.

En la Tabla 12 se resumen los resultados obtenidos, así como la nota asignada para cada tramo homogéneo y la estrategia de intervención.

El sentido de evaluación de las radiales se definen a partir de su intersección con la Ruta Nacional 27.

Tabla 12 Notas Q y recomendaciones de intervención

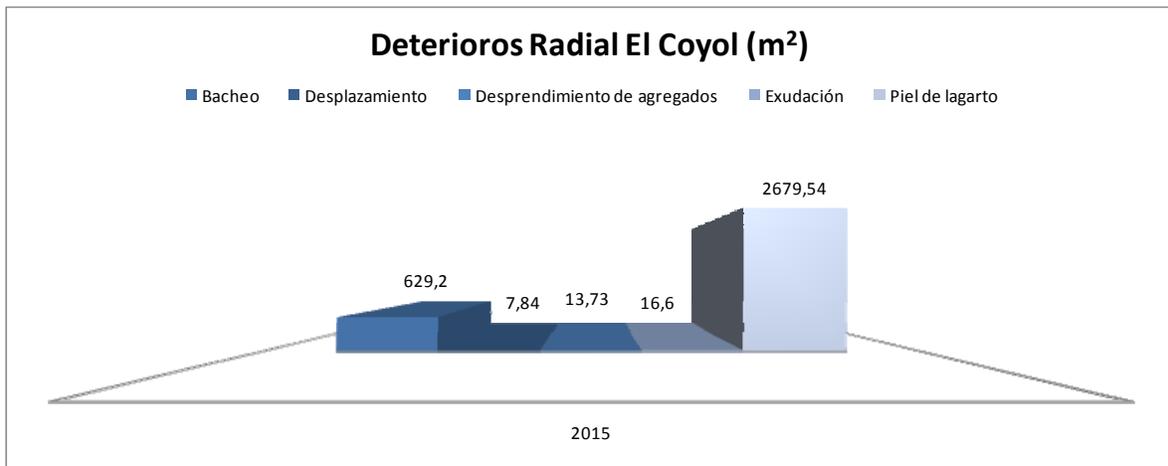
Radial	Sentido	Tramo	FWD	IRI	GRIP	Nota Q	Intervención
El Coyol	Ruta 27 - El Coyol	0+000 a 0+850	Muy Alto	Regular	Desliz	R2	Rehab. Mayor
		0+900 a 1+650	Muy Alto	Regular	Desliz	R2	Rehab. Mayor
		1+700 a 2+300	Muy Alto	Bajo	Desliz	R1	Rehab. Mayor
		2+350 a 3+100	Muy Alto	Bajo	Desliz	R1	Rehab. Mayor
		3+150 a 3+650	Muy Alto	Regular	Desliz	R2	Rehab. Mayor
		3+700 a 4+000	Muy Alto	Regular	Muy Desliz	R2	Rehab. Mayor
	El Coyol - Ruta 27	0+000 a 0+250	Muy Alto	Bajo	Desliz	R1	Rehab. Mayor
		0+300 a 0+500	Muy Alto	Bajo	Poco desliz	R1	Rehab. Mayor
		0+550 a 1+100	Muy Alto	Regular	Desliz	R2	Rehab. Mayor
		1+150 a 1+900	Muy Alto	Bajo	Desliz	R1	Rehab. Mayor
		1+950 a 2+500	Muy Alto	Regular	Desliz	R2	Rehab. Mayor
		2+550 a 3+200	Muy Alto	Bajo	Desliz	R1	Rehab. Mayor
		3+250 a 4+000	Muy Alto	Regular	Desliz	R2	Rehab. Mayor
Turrucares	Ruta - 27 - Turrucares	0+000 a 0+150	Bajo	Alta	Desliz	Q4	CHS1 (TS1)
		0+200 a 0+250	Muy Alto	Regular	Desliz	R2	Rehab. Mayor
	Turrucares - Ruta 27	0+000 a 0+100	Bajo	Regular	Muy Desliz	Q2	TS2, TS3
		0+150 a 0+250	Muy Alto	Alta	Desliz	R3	Reconstrucción
Atenas	Ruta 27 - Atenas	0+000 a 1+250	Muy Alto	Regular	Desliz	R2	Rehab. Mayor
		1+300 a 2+000	Muy Alto	Regular	Desliz	R2	Rehab. Mayor
		2+050 a 3+270	Muy Alto	Regular	Poco desliz	R2	Rehab. Mayor
	Atenas - Ruta 27	0+000 a 0+750	Muy Alto	Regular	Desliz	R2	Rehab. Mayor
		0+800 a 1+050	Moderado	Bajo	Poco desliz	Q3	Rehab. Menor
		1+100 a 1+900	Muy Alto	Regular	Poco desliz	R2	Rehab. Mayor
		1+950 a 2+850	Muy Alto	Regular	Poco desliz	R2	Rehab. Mayor
2+900 a 3+250	Muy Alto	Regular	Desliz	R2	Rehab. Mayor		
Escobal	Ruta 27 - Escobal	0+000 a 0+050	Bajo	Malo	Muy desliz	Q4	CHS1 (TS1)
		0+100 a 0+150	Alto	Regular	Muy desliz	Q8	Rehab. Mayor
		0+200 a 0+320	Bajo	Regular	Muy desliz	Q2	TS2, TS3
	Escobal - Ruta 27	0+000 a 0+150	Bajo	Regular	Muy desliz	Q2	TS2, TS3
		0+200 a 0+300	Bajo	Regular	Muy desliz	Q2	TS2, TS3

La mayor parte de tramos en que quedaron divididas las radiales, presentan notas que las hacen candidatas a labores de rehabilitación mayor; esto porque a pesar de contar con niveles de regular a bajos de regularidad superficial, es en la capacidad estructural donde estos tramos presentan valores muy altos, y que a la larga se manifestará como problemas de deterioros superficiales.

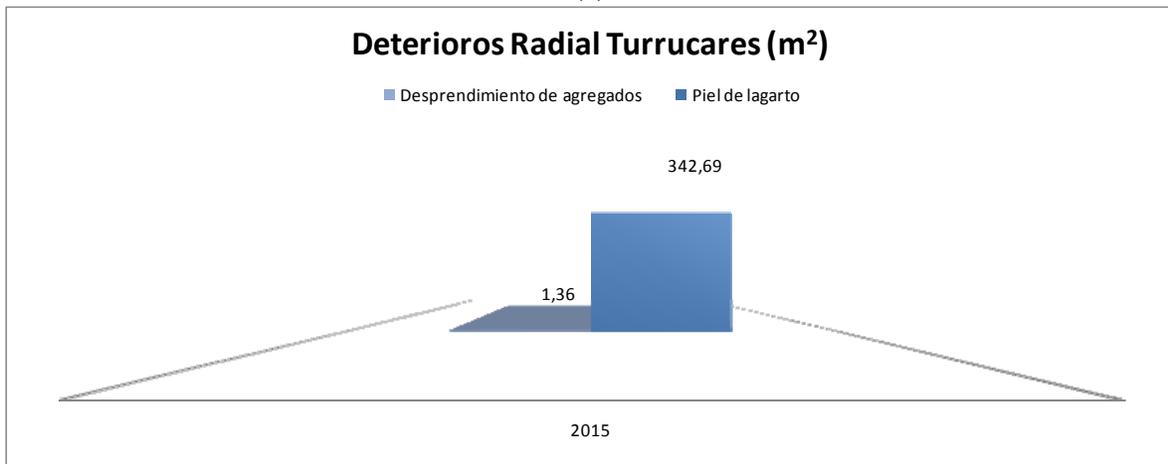
El caso de la Radial de Escobal es único, al presentar ésta la mejor condición de su superficie, y necesitar únicamente labores de mantenimiento rutinarias. En el Anexo 5 se presentan los mapas con los resultados para cada uno de los parámetros evaluados para las radiales.

4.6 Resultados obtenidos: análisis de deterioros superficiales

En la figura 25 se muestra los resultados para la evaluación de la condición superficial de las radiales.

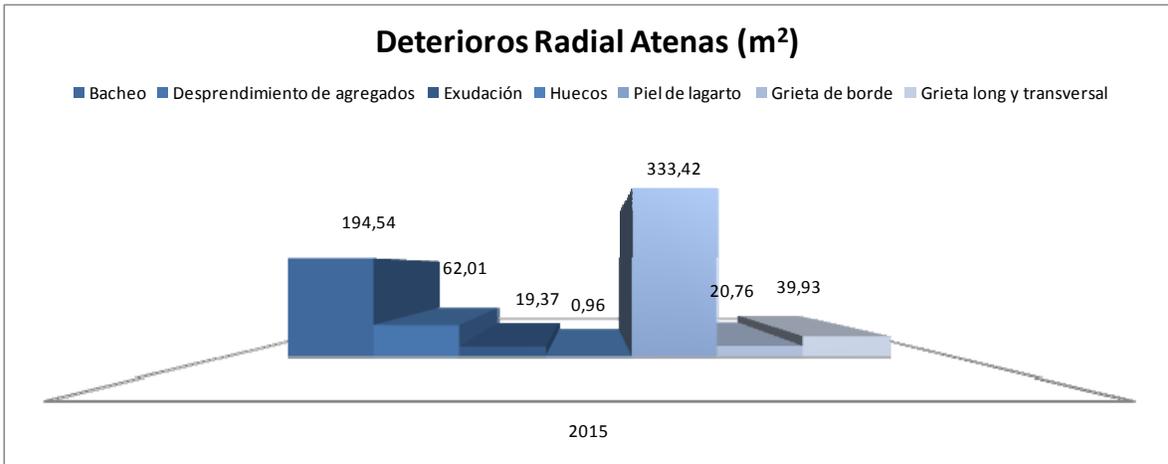


(a)

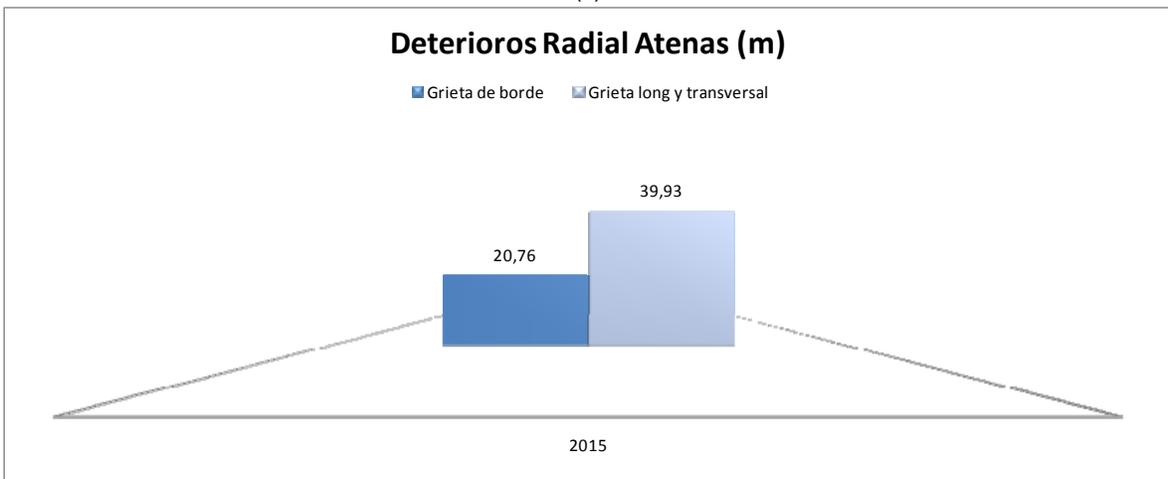


(b)

Figura 25 Condición superficial en Radiales

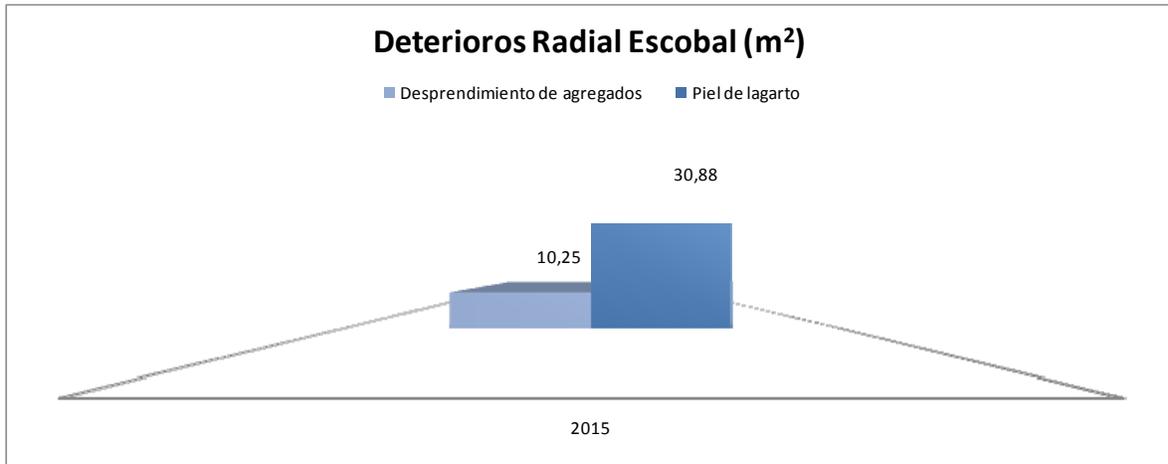


(c)



(d)

Figura 25 Condición superficial en Radiales (continuación)



(e)

Figura 25 Condición superficial en Radiales (continuación)

Como se muestra en la figura anterior, las radiales a El Coyol (a) y Atenas (c) presentan el deterioro "Piel de Lagarto" como el que predomina entre los diferentes tipos de deterioro superficial detectado.

En comparación con lo obtenido en la valoración de las notas Q, la mayor presencia de Piel de Lagarto en la radial a El Coyol y Atenas es congruente con la calificación obtenida para el nivel de intervención definido como Rehabilitación Mayor, puesto que la presencia de este deterioro refleja el daño por fatiga de la capa asfáltica, lo que provoca el debilitamiento de la estructura del pavimento al permitir el ingreso del agua a las capas inferiores.

4.7 Comparación de la condición de las radiales, campañas de evaluación 2014 y 2015

En el presente informe se formulan, a partir de las Notas Q obtenidas, las estrategias de intervención para devolver a estos tramos un nivel de servicio adecuado para los usuarios. Sin embargo, con base en los resultados obtenidos en la presente campaña de evaluación, estas recomendaciones no se siguieron, ya que las rutas exhiben resultados que revelan una condición inferior, en el caso de la Radial a Escobal muestra señales deterioro acelerado, al tener valores más altos tanto en deflexiones, como en regularidad superficial.

Sin embargo, el parámetro más preocupante es el relacionado con la seguridad vial, el cual presenta valores bajos de agarre superficial cuando se comparan con los obtenidos en el año 2014, lo cual aumenta la probabilidad de accidentes en condiciones lluviosas o de bajas temperaturas.

4.7a. Evaluación con el deflectómetro de impacto

En la Figura 26 se observa que en las radiales a El Coyol y Atenas hay una leve disminución en la presencia de deflexiones Altas y Muy Altas, mostrando una tendencia a la mejora de su capacidad, aunque esto no indica que la condición general de estas radiales sea buena, por lo que el deterioro estructura se mantiene.

En general, se pudo detectar una leve mejora en las 4 radiales analizadas, pero esa mejora aún no es suficiente para igualar los niveles de calidad de la troncal principal.

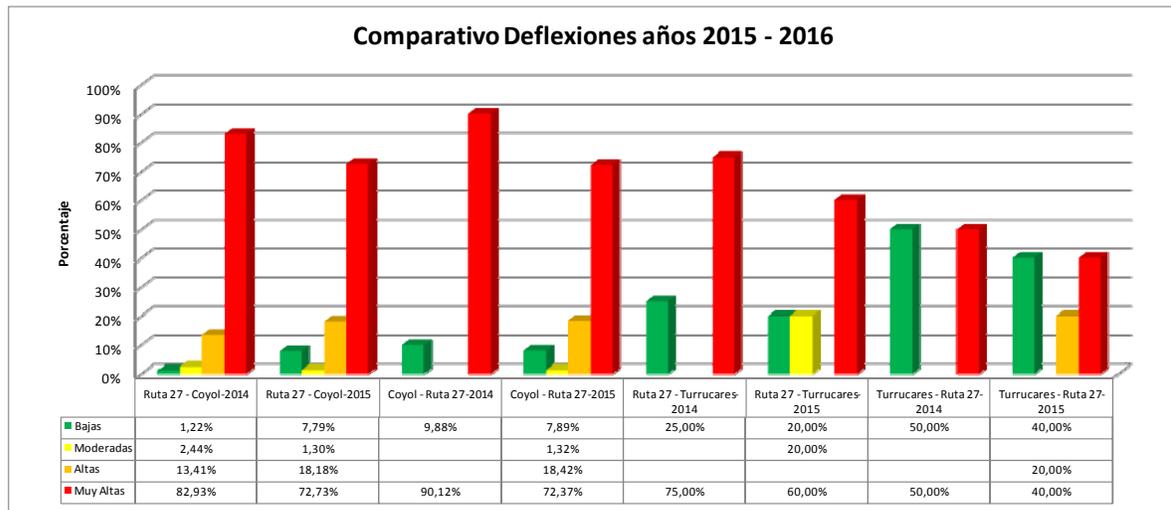


Figura 26 Comparativo Deflexiones de Radiales años 2015-2016

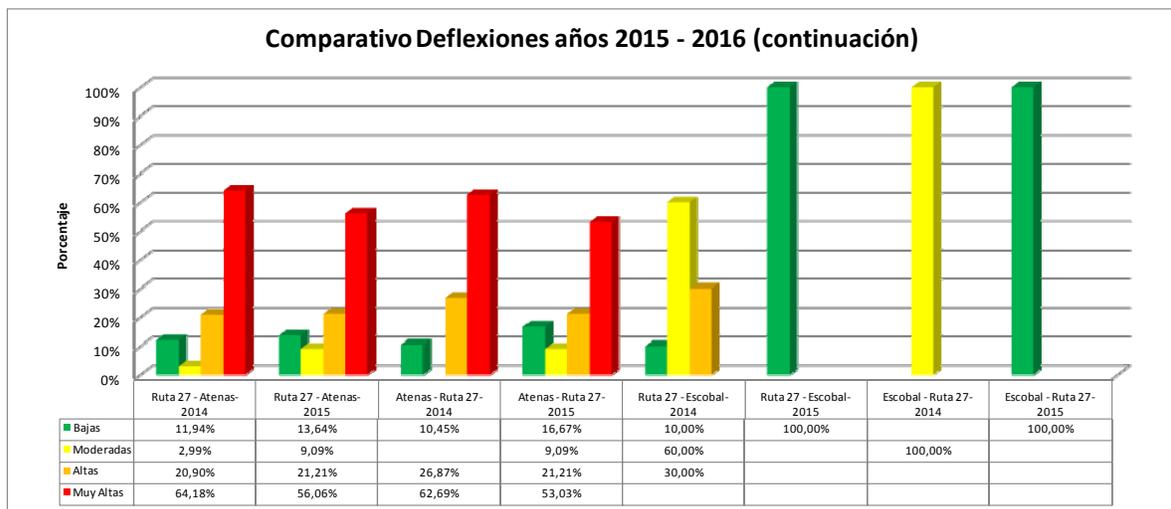


Figura 26 Comparativo Deflexiones de Radiales años 2015-2016 (continuación)

4.7b. Evaluación con el perfilómetro láser superficial

Al comprar los resultados obtenidos de la presente evaluación respecto a los del año 2014, se desprende que en el caso de la Radial El Coyal se presentó un incremento considerable en la condición Regular, mientras que las demás radiales tuvieron un comportamiento similar a la campaña de evaluación anterior (Figura 27).

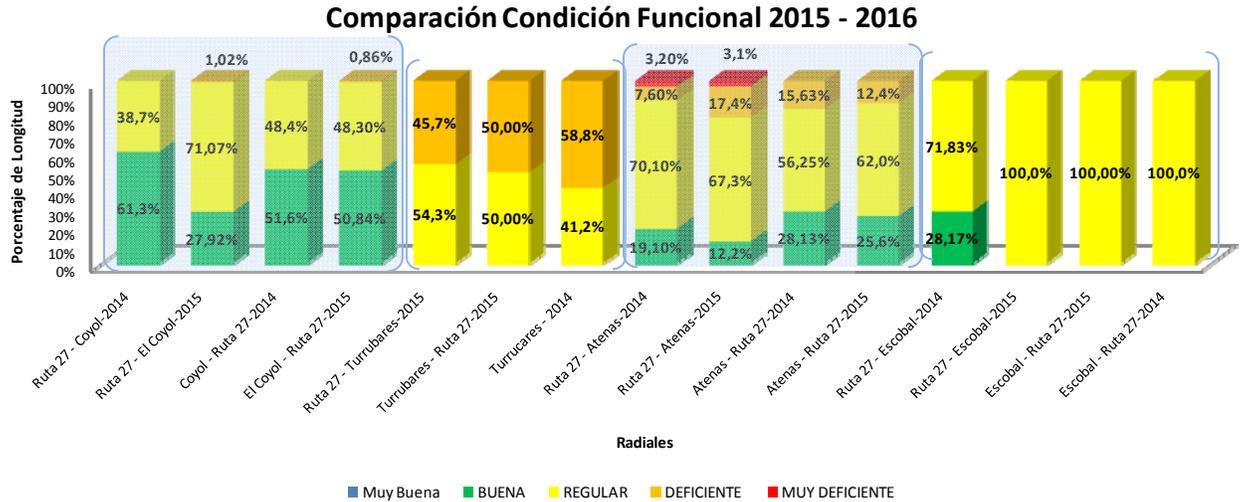


Figura 27 Comparativo Regularidad Superficial de Radiales años 2015-2016

4.7c. Evaluación con el medidor del coeficiente de rozamiento superficial.

Este coeficiente permite conocer la condición en que se encuentra la ruta desde el punto de vista de seguridad vial, específicamente a la posibilidad de que ocurra un accidente por falta de fricción entre la superficie de rueda y la llanta del vehículo. Se puede notar que hubo un gran incremento del deterioro de esta condición en la evaluación 2015-2016 respecto a la evaluación 2014-2015, ya que en todos los casos la condición de Poco o No Deslizante disminuyó considerablemente (Figura 28).

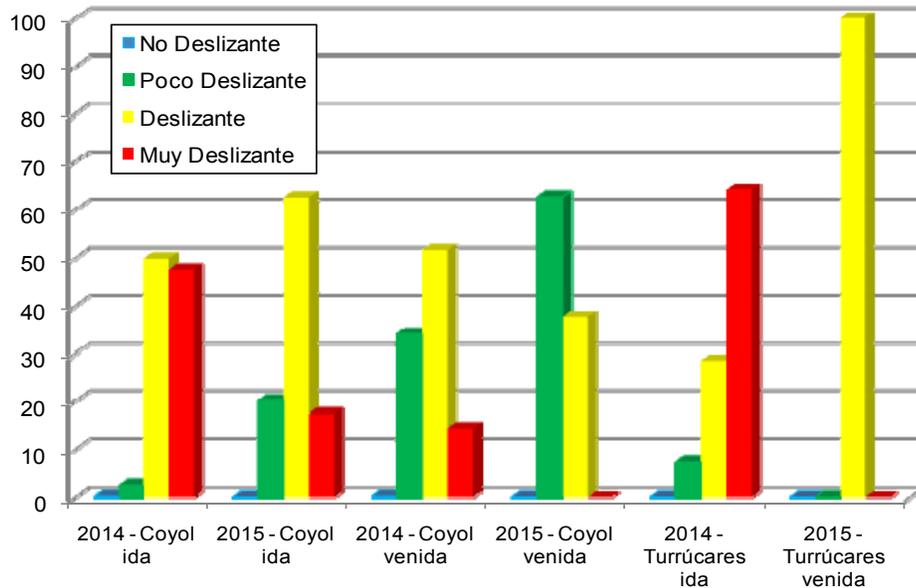
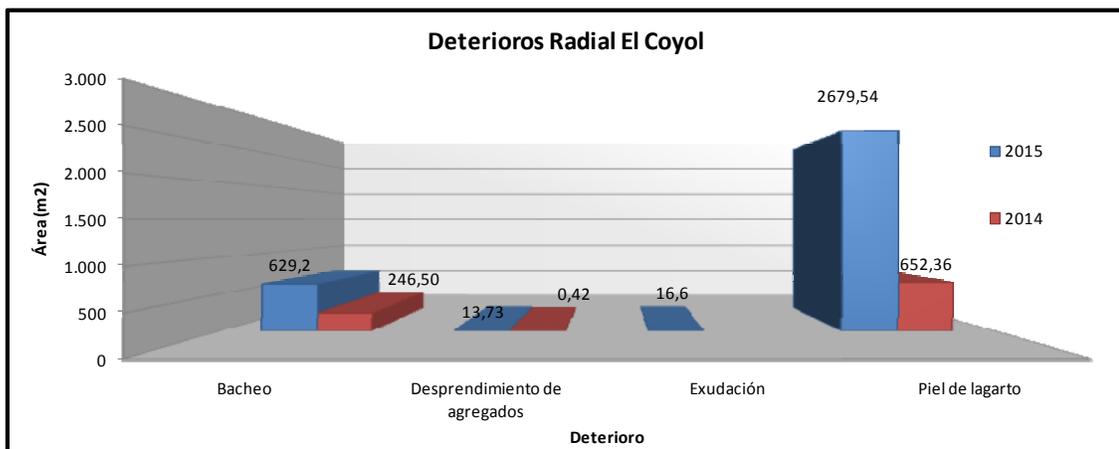


Figura 28 Comparativo Coeficiente de Rozamiento Superficial años 2015-2016

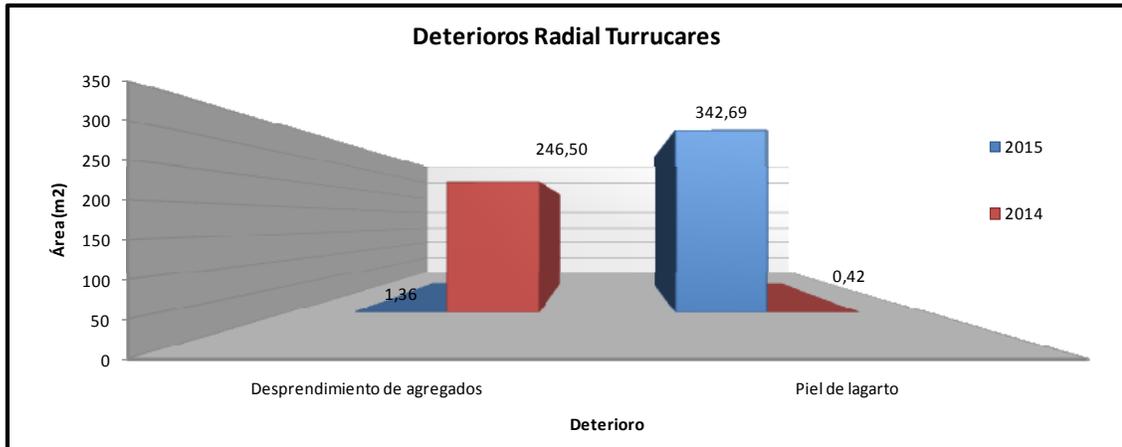
4.7d. Evaluación visual de Deterioro Superficial.

De las cuatro radiales analizadas, solamente tres de ellas presentan deterioro superficial. Dos de ellas (Atenas y Coyol) ya presentaban deterioro en la campaña de evaluación anterior, mostrando para la evaluación del 2015 un incremento en el área afectada con deterioro superficial, principalmente Bacheo y Piel de Lagarto. En la Radial a Turrucares se detectó la presencia del deterioro Piel de Lagarto evidenciando posibles problemas en la estructura del pavimento (reflejado en los análisis de las Notas Q, hecho en la sección 4.5).

En la Figura 29 se muestra la distribución de deterioro por Radial y año de evaluación.

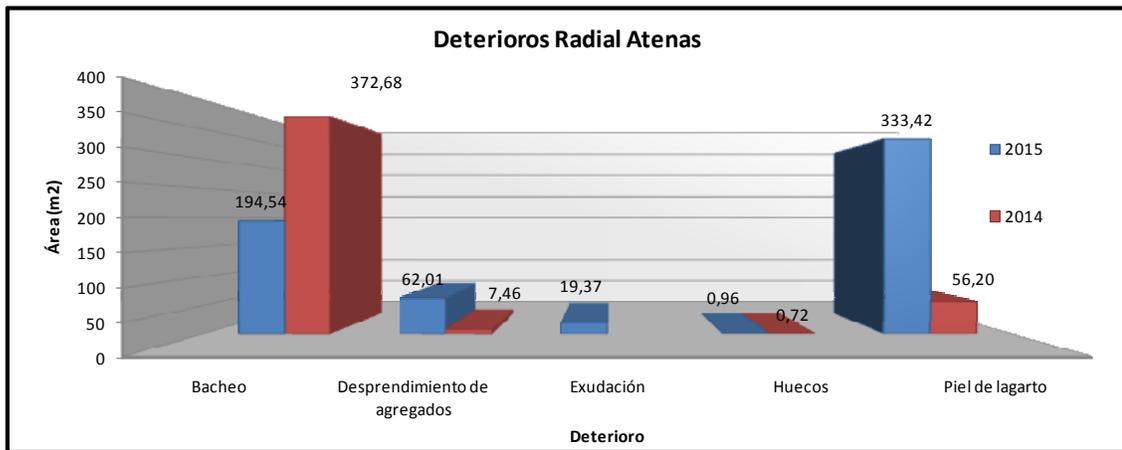


(a)

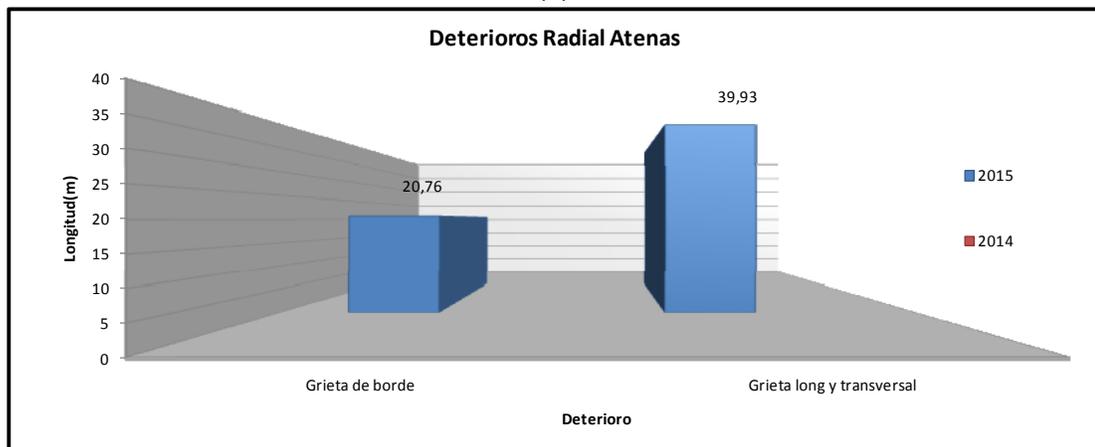


(b)

Figura 29 Condición superficial en Radiales

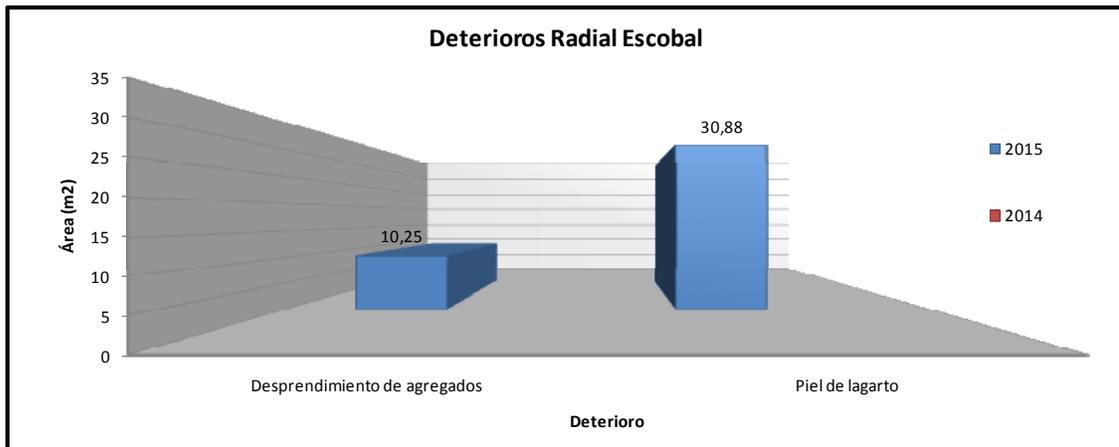


(c)



(d)

Figura 29 Condición superficial en Radiales (continuación)



(e)

Figura 29 Condición superficial en Radiales (continuación)

5. MODELOS DE DETERIORO

Los modelos de deterioro son una herramienta que, dentro del marco de la administración de pavimentos, permite predecir el deterioro que éstos puedan sufrir a lo largo de su vida útil; para este fin se pueden usar varios tipos de modelos, los cuales corresponden generalmente a modelos matemáticos que permiten predecir la evolución del estado del pavimento en el tiempo.

Los modelos de deterioro pueden surgir a partir de desarrollos empíricos, los cuales se originan en bases de datos reales de pavimentos existentes, donde se registra gran cantidad de información relacionada con diseño, información general, datos de tránsito, entre otros. Una vez que se seleccionan las variables más relevantes, se realiza un análisis estadístico que permite generar el modelo para predecir el comportamiento futuro del pavimento. Otro tipo de modelo que se usa es el mecanicista, el cual no sólo se basa en datos de pavimentos existentes, sino que además hace uso de características del comportamiento de las diversas capas y materiales que conforman el pavimento, específicamente en las propiedades físicas y mecánicas de la subbase, la base granular o estabilizada y el pavimento propiamente.

5.1 Aplicación de Modelo de Deterioro

En el informe de investigación LM-PI-UMP-010-R1 desarrollado por la Unidad de Materiales y Pavimentos del LanammeUCR, el cual se orientó principalmente en determinar la relación entre los parámetros subjetivos (percepción humana) de serviciabilidad de un pavimento y los parámetros objetivos (IRI) para Costa Rica, utilizando la metodología aplicada por el AASHTO.

Considerado que el modelo se desarrolló para valores de IRI de 1 a 9 m/km y utilizando la zona de tendencia lineal es que se define el rango de aplicación, según lo establecido en

la Tabla 13. Por lo tanto, utilizar las ecuaciones para valores de IRI mayores a 10 no es aconsejable ya que las ecuaciones se indefinen a partir de este punto.

Tabla 13. Rango de aplicación del Modelo para el cálculo del PSI Costa Rica

Modelo	Rango de Aplicación (Valores de IRI)
1. $PSI_{CR} = 0,015 * IRI^2 - 0,470 * IRI + 4,989$	0 - 10

Para el análisis de curvas de deterioro en la Ruta Nacional 27, se utilizó los valores del IRI medidos a partir del año 2011 en ambos sentidos de la vía con una frecuencia de cada 100 m, sin considerar las singularidades de la carretera que puedan alterar el valor del IRI.

Se segmentó la ruta en cuatro secciones homogéneas estructuralmente, según información proporcionada por el concesionario, los cuales se muestran en la Tabla 14.

Tabla 14 Secciones de control

Tramo	Estacionamiento
1	00+000 - 03+605
2	03+605 - 14+025
3	14+025 - 51+720
4	51+720 - 76+310

5.2 Metodología de Modelos de Deterioro

Para el desarrollo de los modelos de deterioro se recopilaron datos de IRI de los tramos a lo largo del proyecto para procesarlos haciendo un análisis estadístico.

El PSI asociado a cada valor de IRI se obtiene usando la fórmula indicada en la Tabla 13, permitiendo posteriormente generar las curvas de deterioro para cada tramo.

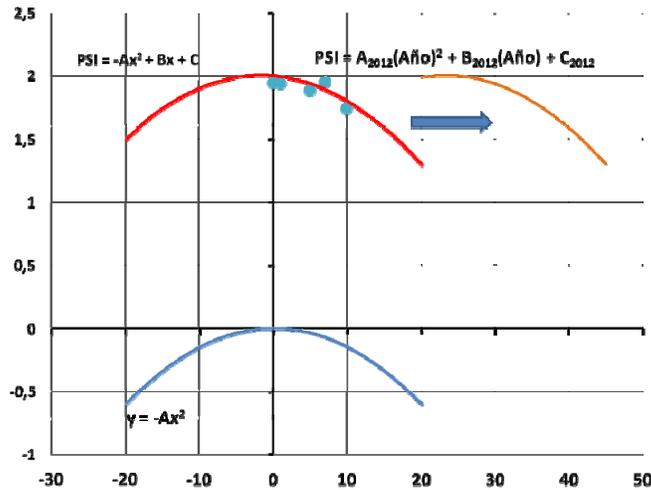


Figura 30. Gráfica de una ecuación cuadrática

Se puede apreciar en la Figura 30 dos tipos de ecuaciones polinomiales de tipo cuadrática, donde el punto máximo de la gráfica es el valor de PSI inicial del pavimento, antes de las evaluaciones sufriendo un descenso con el tiempo, esto partiendo del supuesto que no se ha realizado algún mantenimiento o mejora.

La parte creciente no se toma en cuenta, ya que se considera que la ecuación modela el deterioro de la sección a partir del valor máximo de PSI.

También en algunos casos se da un desplazamiento de la curva de deterioro en el eje horizontal (tiempo en años), esto con tal de proyectar el comportamiento a futuro, tal como se muestra en la figura anterior representada con la curva naranja.

La ecuación que describe la gráfica está definida de la siguiente manera:

$$AX^2 + BX + C$$

Donde los coeficientes “A”, “B” y “C” se obtienen de la gráfica trazada por los datos de PSI, que presenten decrecimiento, de la Figura 30.

A continuación se muestra un ejemplo de una gráfica obtenida a partir de los datos de PSI decrecientes:

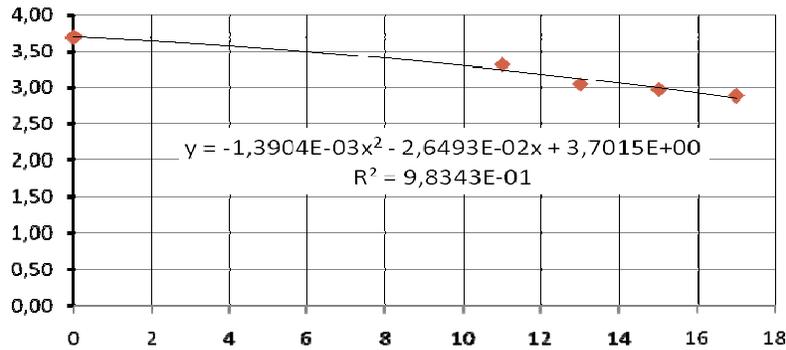


Figura 31. Gráfico ejemplo, obtenido de datos de PSI

En la Figura 32 se muestra como una ecuación cuadrática característica de un tramo evaluado permite proyectar la condición funcional de una sección en años posteriores (curva verde).

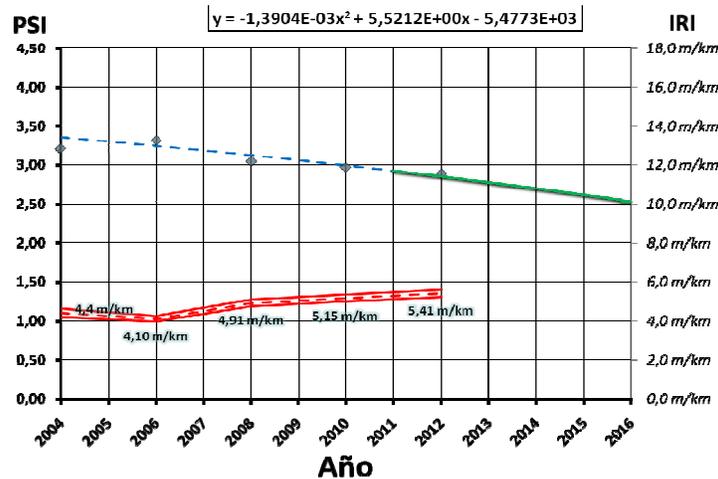


Figura 32. Gráfica ejemplo PSI vs Año y IRI vs Año

El R^2 obtenido de la gráfica de la Figura 32, no es el más acertado ni se ajusta a este modelo, por lo que se utilizó un coeficiente de determinación ajustado, definido de la siguiente forma:

$$R^2 = 1 - \frac{SSE}{SST}$$

Donde SSE es el enfoque del análisis de varianza que utiliza la suma cuadrática de los errores, definido como:

$$SSE = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$$

Y SST es la suma total de los cuadrados corregida, esta representa la variación en los valores de respuesta que idealmente serían explicados en el modelo, como:

$$SST = \sum_{i=1}^n y_i^2 - \sum_{i=1}^n 2y_i\bar{y}_i + n \sum_{i=1}^n \bar{y}_i$$

Los valores teóricos obtenidos del análisis están representados por \hat{y}_i y los valores reales, los de la base de datos de las evaluaciones, están representados por y_i y n el número de datos usados para determinar la envolvente de la curva de deterioro.

Luego de obtener el análisis completo del tramo analizado, se procede a realizar una ficha representativa donde se muestran los elementos más importantes y destacados, en la sección 5.4 se muestra un ejemplo de la forma en que se presenta la información.

5.3 Análisis de Resultados

Para el caso de Costa Rica, se desarrolló un modelo determinístico, que permite predecir el deterioro del pavimento en el tiempo.

La importancia de un modelo de deterioro radica en la posibilidad de proyectar la condición de una sección en el tiempo y de esta forma poder planificar de manera más eficiente las actividades de intervención y la inversión a realizar.

En este caso se desarrollaron 8 modelos de deterioro basados en la variable IRI para calcular el indicador de serviciabilidad presente por medio del Índice de Serviciabilidad o PSI por sus siglas en inglés.

Los modelos se utilizaron para proyectar un valor de PSI igual a 3 siendo este momento en el que el pavimento requiere de una rehabilitación mayor para llevarlo a su condición inicial, es decir un valor de PSI que puede oscilar entre 4.5 a 5 (Figura 33)

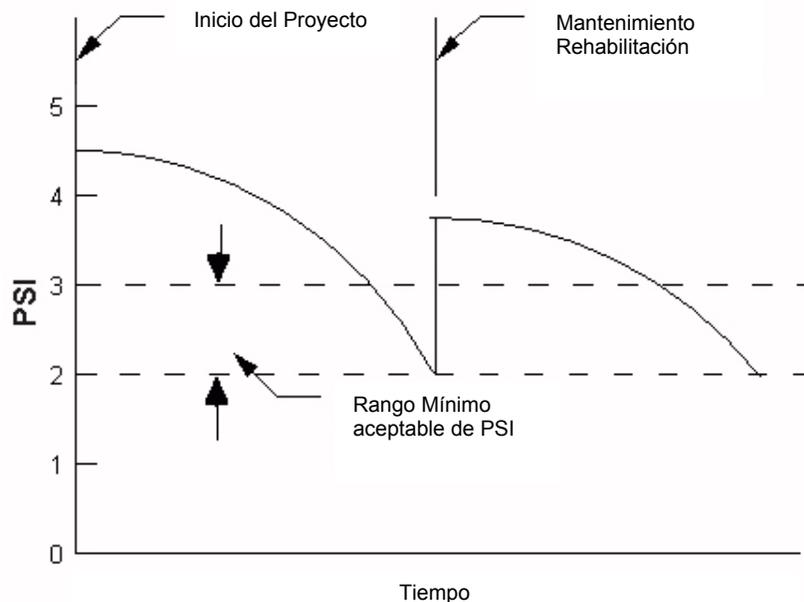


Figura 33 Concepto de PSI con rangos de aceptación



A continuación se muestra el modelo de deterioro que representa los principales tramos.

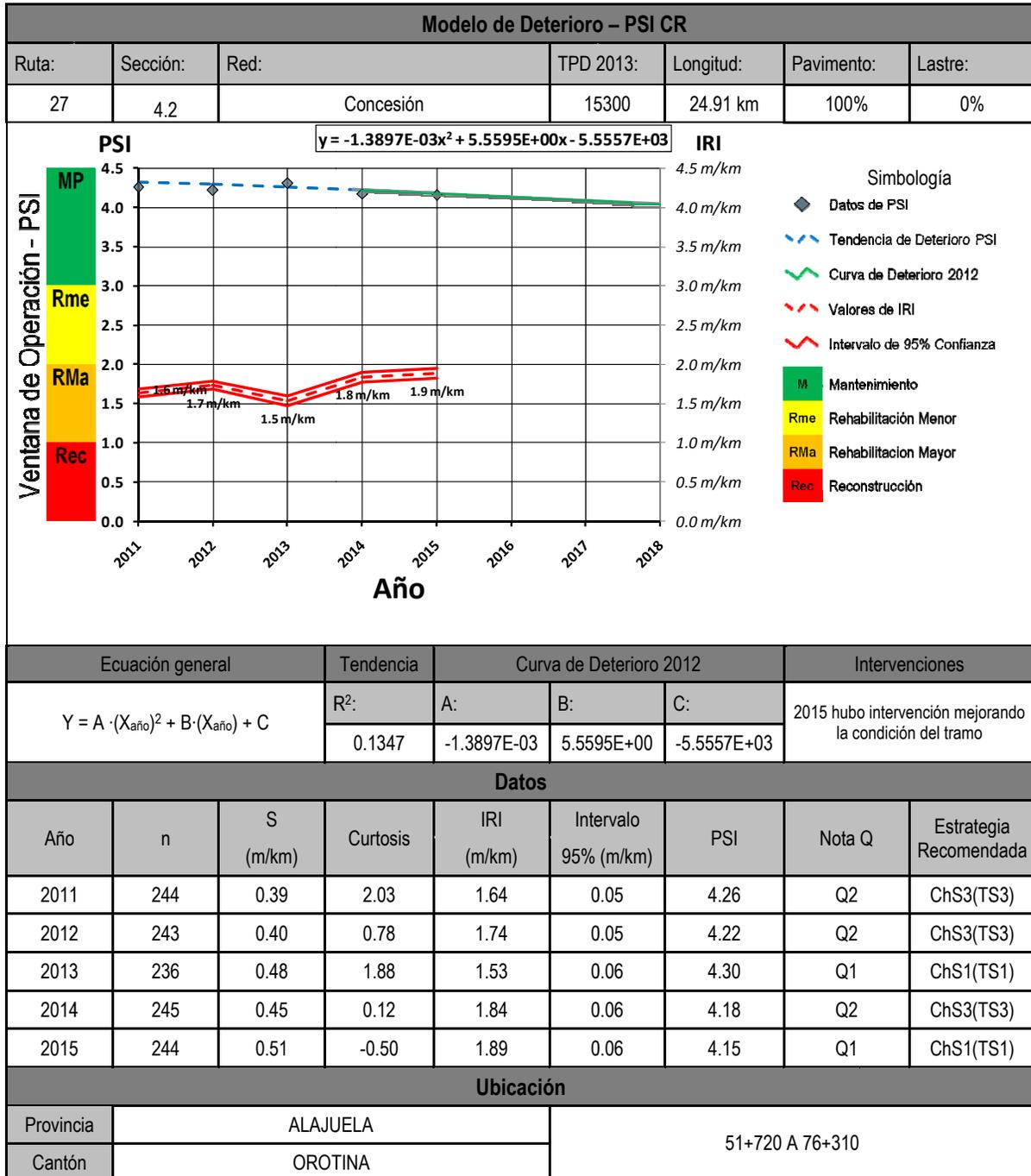


Figura 34 Modelo De Deterioro tramo 1, sentido Caldera - San José.

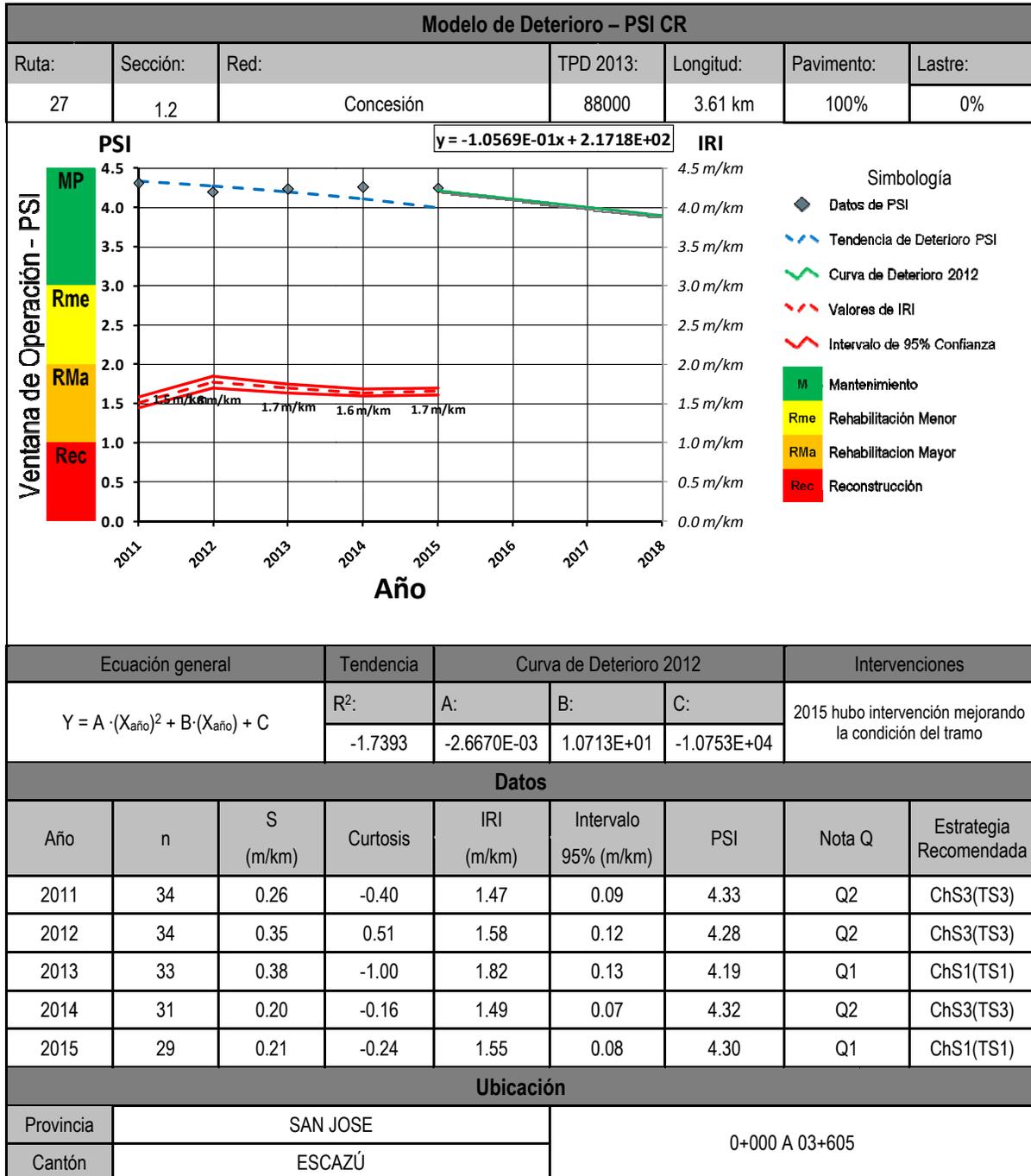


Figura 35 Modelo De Deterioro tramo 2, sentido Caldera - San José.

Como se indicó anteriormente, a partir de estos modelos se puede predecir el momento en el tiempo en el que la percepción del usuario y la condición del pavimento ha llegado al punto de necesitar una rehabilitación mayor en cada tramo.

En la Tabla 15 se muestra un cuadro resumen donde se indica el año en el que cada tramo llegará a tener esa condición.

Tabla 15 Año en el que el PSI es igual a 3

Tramo	Sentido	Long. (km)	Ubicación	TPD 2012	Nota Q 2015	Estrategia 2015	PSI-2015	PSI=3	Años
1	San José - Caldera	3,61	00+000 - 03+605	88000	Q2	Mant. Preserv.	4,32	2028	13
2	San José - Caldera	10,42	03+605 - 14+025	16000	Q1	Mant. Preserv.	4,37	2042	27
3	San José - Caldera	37,7	14+025 - 51+720	3000	Q2	Mant. Preserv.	4,24	2031	16
4	San José - Caldera	24,91	51+720 - 76+310	15300	Q2	Mant. Preserv.	4,22	2047	32
1	Caldera - San José	3,61	00+000 - 03+605	88000	Q1	Mant. Preserv.	4,30	2038	23
2	Caldera - San José	10,42	03+605 - 14+025	16000	Q1	Mant. Preserv.	4,39	2036	21
3	Caldera - San José	37,7	14+025 - 51+720	3000	Q1	Mant. Preserv.	4,25	2020	5
4	Caldera - San José	24,91	51+720 - 76+310	15300	Q2	Mant. Preserv.	4,15	2034	19

En la tabla anterior se puede observar que uno de los tramos tendrá un valor de PSI igual a 3 en un periodo de 5 años. En este momento la calidad del rudo del pavimento podría ser significativamente menor a los estándares mínimos aceptables en proyectos de concesión o cualquier otro relacionado a obra pública en infraestructura vial. La longitud de este tramo es de 37.7 km o bien un 50.6% de la longitud del proyecto y esta condición se alcanzaría de forma muy acelerada con tan solo un 47% del plazo total de la concesión proyectada a finalizar en el año 2033.

Tal como se amplía en las conclusiones de este informe, las proyecciones realizadas y los modelos calculados corresponden a una herramienta de gestión importante para la Administración y de suma utilidad para evaluar las labores de mantenimiento programadas por el concesionario.



6. Estado de conservación de los puentes mayores de la Ruta Nacional 27

La Ruta Nacional 27 presenta 5 puentes mayores, evaluados por el LanammeUCR. La referencia a estos informes se muestra en la Tabla 16.

Tabla 16 Informes emitidos por la UP del PITRA - LanammeUCR con respecto a los puentes mayores de la Ruta 27

TÍTULO DEL INFORME	INFORME	FECHA
Inspección del puente sobre el río Virilla	LM-PI-UP-PC08-2011	27/10/2011
Inspección del puente sobre el río Ciruelas	LM-PI-UP-PC01-2012	17/01/2012
Inspección del puente sobre el río Grande	LM-PI-UP-PC10-2013	26/11/2013
Inspección del puente sobre el río Concepción	LM-PI-UP-PC03-2012	07/01/2012
Inspección del puente sobre la quebrada Salitral	LM-PI-UP-PC05-2013	29/04/2013

Estos informes de fiscalización y evaluación son un producto del programa de inspecciones de la Unidad de Puentes (UP) del PITRA – LanammeUCR para evaluar la condición estructural y funcional de puentes ubicados a lo largo de la Red Vial Nacional Concesionada, en el marco de las competencias asignadas mediante el artículo 6 de la ley 8114. Se presenta una imagen en el tiempo del estado real del puente, y se dan recomendaciones generales de mejoras, mantenimiento y reparación de la estructura principal y de los elementos conexos, con base en inspecciones detalladas realizadas en el sitio.

Se entiende por inspección estructural el reconocimiento de todos los elementos estructurales y no estructurales del puente a los cuales se tiene acceso por parte de un ingeniero calificado, con el fin de evaluar el estado de deterioro al día de la inspección. Se utiliza como referencia el *Manual de Inspección de Puentes del Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT)*. En el caso que se quisiera verificar la capacidad estructural o hidráulica de la obra, o bien la capacidad soportante del suelo, se recomienda complementar dicha inspección con ensayos no destructivos, análisis hidrológico e hidráulico y un estudio geotécnico detallado.

Como parte del seguimiento del estado de conservación de estos puentes, en el 2015 se llevó a cabo una revisión en sitio de la información contenida en los informes de la Tabla 16, cuyos resultados se incluyeron en el *Informe INF-PI-UGERVN-14-2014 Informe de Evaluación del Proyecto San José-Caldera Ruta Nacional 27 Año 2014-2015*.

Para el año 2015-2016 nuevamente se realizó el seguimiento de los estados de conservación de cada uno de los 5 puentes mayores, y los resultados se muestran resumidos por año en la Tabla 17 incluida a continuación. La nomenclatura utilizada en dicha tabla se muestra en la Tabla 18.

Como se puede observar de la Tabla 17, no se le está brindando un adecuado mantenimiento a los puentes ya que la mayoría de los principales deterioros no han sido atendidos y muchos ya muestran un estado más avanzado.

Tabla 17 Seguimiento por año de los principales deterioros observados en los 5 puentes mayores de la Ruta Nacional 27.

Puente	Daño	2011	2012	2013	2014	2015
Río Virilla	Junta de expansión	DD	N/A	N/A	S-EVA	M-E
	Deterioro en losa de concreto	DD	N/A	N/A	NS	NS
	Falta de mantenimiento bastión sureste	DD	N/A	N/A	NS	NS
	Acero de refuerzo expuesto superficie de ruedo	DD	N/A	N/A	NS	NS
	Desgaste Juntas constructivas	DD	N/A	N/A	NS	NS
	Falta de mantenimiento bastión noroeste	ND	N/A	N/A	DD	NS
	Falta de mantenimiento sistema de apoyos	ND	N/A	N/A	DD	NS
Río Ciruelas	Junta de expansión	N/A	DD	N/A	M-E	M-E
	Acumulación de material en bastiones	N/A	DD	N/A	S	ND
	Acumulación de sedimentos en apoyos de vigas principales	N/A	ND	N/A	DD	NS
	Falta de mantenimiento en apoyos móviles	N/A	ND	N/A	DD	NS
Río Grande	Falta de mantenimiento bastión acceso este	N/A	N/A	DD	NI	NI
	Falta de mantenimiento apoyos	N/A	N/A	DD	Sol	M-E
	Falta elementos verticales y pernos en guardavías	N/A	N/A	DD	NS	NS
	Falta marcadores de objetos en los accesos	N/A	N/A	DD	NS	NS
	Mal estado de ductos de drenaje	N/A	N/A	DD	Sol	ND
	Falta de mantenimiento en junta de expansión oeste	N/A	N/A	DD	ED	ED
	Falta de obras para evitar erosión en taludes de accesos	N/A	N/A	DD	ND	ND
	Deterioro en losa de concreto	N/A	N/A	DD	ED	ED

Tabla 17 Seguimiento por año de los principales deterioros observados en los 5 puentes mayores de la Ruta Nacional 27 (*Continuación*).

Puente	Daño	2011	2012	2013	2014	2015
Río Concepción	Sistema de drenaje de juntas de expansión dentadas	N/A	DD	N/A	ED	NS
	Falta mantenimiento apoyos	N/A	DD	N/A	M-E	NS
	Angulares de protección bastión este	N/A	DD	N/A	S-EVA	M-E
	Guardavías acceso norte	N/A	ND	N/A	ND	Ausencia
	Acero de refuerzo expuesto en superestructura	N/A	ND	N/A	DD	NS
Quebrada Salitral	Deterioro en losa de concreto	N/A	N/A	DD	NS	ED
	Desgaste juntas constructivas	N/A	N/A	DD	NS	ED
	Apoyos móviles en bastiones	N/A	N/A	ND	DD	NS
	Junta de expansión oeste	N/A	N/A	ND	DD	NS
	Ausencia de identificación del puente	N/A	N/A	ND	DD	NS
	Baranda de protección peatonal	N/A	N/A	ND	ND	M-E

Tabla 18 Nomenclatura utilizada en la Tabla 17.

Nomenclatura:
DD: Daño Detectado
N/A: No Aplica
S-EVA: Sustitución, Estado Visual Aceptable
M-E: Mal Estado
ND: No Detectado
NS: No Solucionado
Sol: Solucionado
NI- No Inspeccionado
ED: Evolución de Deterioro

De la Tabla 17 se extraen a manera de ejemplo dos de los principales deterioros que no han sido tratados adecuadamente desde su detección, y en donde las consecuencias sobre las estructuras en donde se presentan podrían llegar a ser muy importantes.

EL primer caso es el del puente sobre la quebrada Salitral. Se había identificado y reportado deterioro de las juntas de construcción en los informes anteriores. Tal y como se puede observar de la Figura 36, el día de la evaluación visual una de las juntas de construcción presentaba deterioro y pérdida de sección considerable, así como la falla transversal del acero longitudinal de la losa de concreto.

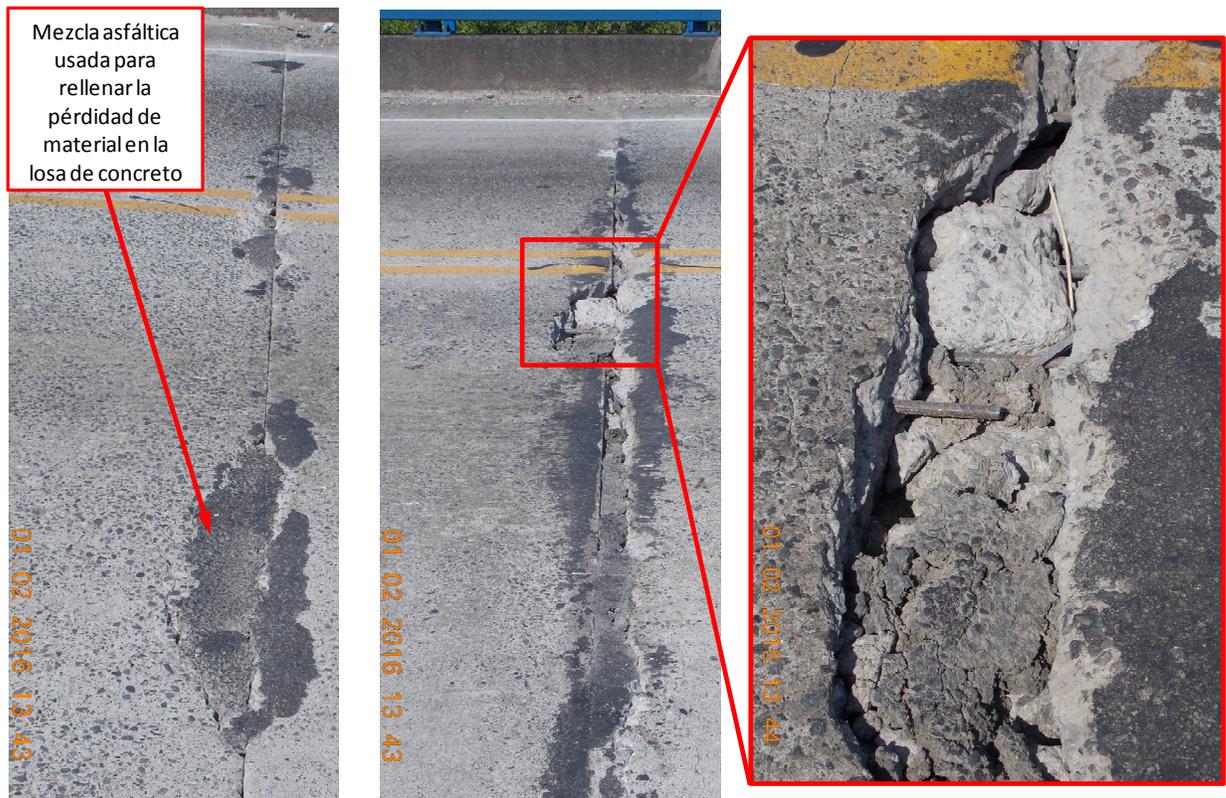


Figura 36: Puente sobre la quebrada Salitral. Deterioro de juntas de construcción: Izquierda: uso inadecuado de mezcla asfáltica para rellenar la pérdida de concreto en la losa; Derecha: desprendimiento de concreto y evidencia de falla transversal del acero longitudinal de la losa

En la Figura 36 se pudo observar que se estaba utilizando mezcla asfáltica para rellenar las zonas con pérdida de sección, método de intervención que restablece temporalmente la superficie de ruedo pero que no garantiza la integridad estructural de la losa y no protege al acero de refuerzo de las condiciones ambientales.

El otro ejemplo es el del puente sobre el río Virilla. En el caso de los apoyos del bastión noroeste, existe una tubería que vierte agua directamente sobre el mismo, esto a pesar de que el día de la visita no llovió. Debido a esto, uno de los apoyos se encuentra parcialmente cubierto de agua, mientras que el otro presenta gran cantidad de sedimentación que prácticamente cubre dicho dispositivo (Ver Figura 37). Como se puede

observar de la Tabla 17, esta condición ya había sido reportada. La condición de los apoyos no garantiza su adecuado funcionamiento por lo que el deterioro observado aumenta la vulnerabilidad de la estructura de sufrir otros daños más serios ya sea por condiciones de servicio, últimas o extremas.



Figura 37 Puente sobre el río Virilla. Acumulación de sedimento en los apoyos del bastión noroeste.
Izquierda: apoyo sur; Derecha: apoyo norte.

6.1 Puente peatonal ubicado en Río Oro de San Ana (11+850).

El tramo simplemente apoyado del sentido Caldera-San José colapsó en el 2011 debido al impacto de un vehículo y a la fecha no ha sido sustituido (Ver Figura 37), por lo que el puente peatonal se encuentra fuera de uso.



Figura 38: Puente peatonal ubicado en Rio Oro de Santa Ana (PK 11+850): Tramo faltante y daños por colisión en vigas de la superestructura.

Se puede observar que la sección del puente ubicada en el sentido San José-Caldera, presenta daños producto probablemente de impactos vehiculares en los extremos inferiores de las vigas de la superestructura (Ver Figura 38) ubicados en varios puntos de a lo largo de la longitud del tramo.

En la Figura 39 se pueden observar los daños de la zona identificada como "A" en la Figura 38, la cual corresponde aproximadamente al centro de la luz de las vigas. Como se puede observar, todos los elementos han sido afectados por impactos vehiculares, lo cual como consecuencia ha traído pérdida considerable de la sección de concreto, falla de los torones de pretensión inferiores y de los aros de cortante, así como exposición de los ductos de la post tensión los cuales evidencian corrosión.



Figura 39: Daños en vigas principales por impactos vehiculares: Zona identificada como "A" en Figura 38

Para mayor detalle, se puede observar en la Figura 40 detalle el daño severo de la zona "A" evidenciado por el elemento ubicado en el extremo este del puente. En este caso se puede ver que además de los daños mostrados por todos los elementos en general, en este caso hay una pérdida de sección del ducto de postensión, por lo que se observan los torones sin la protección del mortero de relleno y por lo tanto desadheridos mostrando evidencia de corrosión. Adicionalmente se observó una grieta vertical de todo el peralte del elemento prefabricado ubicado cerca del punto de daño máximo.



Figura 40: Detalle de daño severo en viga norte de la zona "A".

En el caso de los daños de la zona identificada como "B" en la Figura 38, en la Figura 41 se puede observar que si bien es cierto son menos severos que la zona "A" pues no se evidenció la falla de los torones de pretensión, si se observó pérdida de la sección de concreto y corrosión en los cables de presfuerzo que están expuestos.



Figura 41: Daños en vigas principales por impactos vehiculares: Zona identificada como "B" en Figura 38.



Según los datos medidos en campo la distancia libre vertical del puente es de 4,50m lo cual coincide con lo señalado en el sitio (Ver Figura 40). Aún y cuando la altura libre vertical está señalada, la misma no cumple con los requerimientos de la normativa AASHTO para el tipo de puente y la importancia de la ruta, según lo cual como mínimo debería ser de 5,05m o bien 5,35m para tomar en cuenta posibles recarpeteos.

De acuerdo con los datos medidos en campo la longitud de asiento de los tramos simplemente apoyados del puente peatonal es de 25cm. Utilizando como referencia los criterios de los Lineamientos para Diseño Sismo resistente de Puentes (CFIA, 2013) para la longitud de asiento mínima para puentes simples de un tramo, el valor resultante es de 35cm (Suponiendo un factor de importancia de 1 debido a que se encuentra sobre una ruta primaria). Como se puede ver la longitud existente es menor al valor de referencia y tomando en cuenta la ausencia de dispositivos de bloques sísmicos (también llamados llaves de corte), hay evidencia de que existe riesgo de que ante un evento sísmico el tramo pierda el asiento y colapse sobre la vía.

Adicional a los daños observados como consecuencia de la insuficiente altura libre vertical, se observaron otros daños, de los cuales a manera de ejemplo se muestran distintos casos en la Figura 42.

En la Figura 42 a) se puede observar como en el bastión ubicado en el sector norte del puente no cuenta con relleno de aproximación y por lo tanto no es posible acceder a la superestructura.

En la Figura 42 b) se muestra las vigas diafragma sobre el bastión norte con evidencia de agrietamiento y eflorescencia, además del deterioro de las almohadillas de neopreno en los apoyos.

En la Figura 42 c) se puede observar la zona inferior del alma de una de las vigas principales del sector norte, la cual presenta agrietamiento longitudinal con el acero de refuerzo expuesto, desadherido y con evidencia de corrosión.

En la Figura 42 d) se puede observar la parte inferior de la losa del puente, específicamente en la junta entre alas de las vigas principales, en donde se muestra el acero de refuerzo expuesto y con evidencia de corrosión.



a)



b)



c)



d)

Figura 42: Daños adicionales: (a) Ausencia del relleno de aproximación en bastión norte; (b) Agrietamiento y eflorescencia en vigas diafragma sobre el bastión norte; (c) Agrietamiento longitudinal y corrosión de refuerzo en viga principal; (d) Exposición y corrosión del acero de refuerzo de la losa.

Adicionalmente, desde el punto de vista de la seguridad vial de la ruta, en la Figura 38 se aprecia que la pila central puede representar un riesgo de impacto para el o los vehículos que se salgan de la vía en esa zona.

A manera de resumen, el puente peatonal ubicado en Río Oro de San Ana (11+850) presenta las siguientes características:

a. Se encuentra fuera de servicio



- b. La altura libre no cumple con los mínimos establecidos por la normativa.
- c. Las vigas principales presentan daños severos debido al impacto de vehículos tales como pérdida de sección de concreto, agrietamiento, fallas de torones de pretensión y aros, exposición de aros de postensión con evidencia de corrosión.
- d. La longitud de asiento no cumple con los requisitos para zonas sísmicas.
- e. La pila central representa un riesgo para los vehículos que se salgan de la vía.
- f. Presenta otros daños como: ausencia de relleno de aproximación, agrietamiento y eflorescencia de las vigas diafragma, agrietamiento y acero corroído en extremo inferior de viga principal, acero de refuerzo expuesto y corroído en losa.

Dada la condición descrita se concluye que el puente peatonal representa un riesgo para los usuarios de la vía y para la continuidad del tránsito a través de la ruta en esa zona, ya que el tramo existente podría colapsar debido a distintas razones y escenarios producto de los daños descritos.

Por lo tanto se le solicita a la Administración definir el responsable y las acciones a seguir para solucionar el riesgo que representa dicha estructura.

7. CONDICIONES GEOTÉNICAS Y SISTEMAS DE DRENAJE

Se visitaron y analizaron en detalle 10 sitios sobre la Ruta Nacional No. 27.

Estos puntos están ubicados específicamente en el tramo comprendido entre El puente de Río Segundo (km 18 + 000) y el km 48 + 400 (Puente sobre Río Salital). Se analizaron taludes, evolución de deslizamientos, sistemas de drenaje, zonas de alteración hidrotermal, entre otras.

En la siguiente figura se muestra la ubicación de cada uno de los sitios analizados.

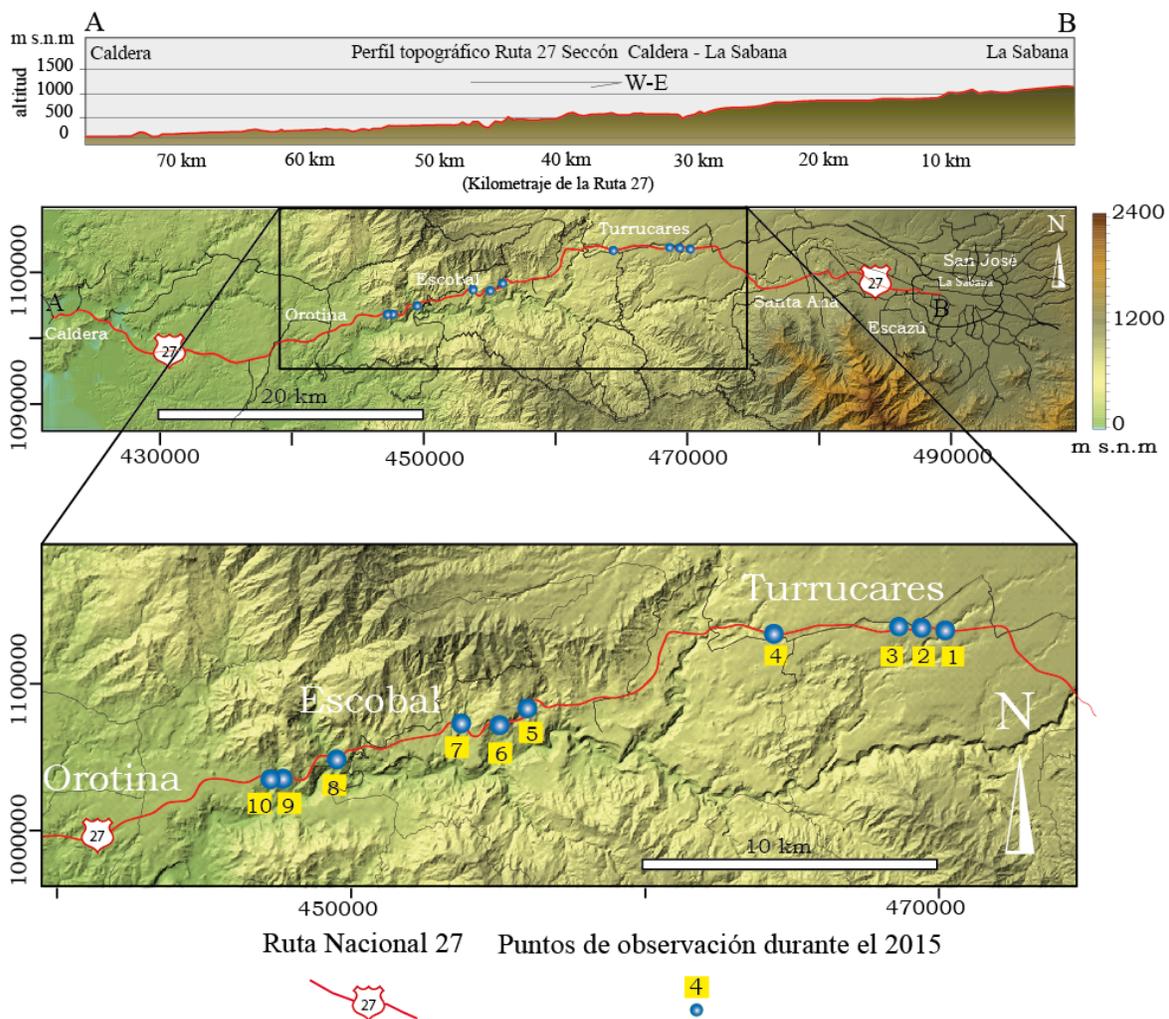


Figura 43 Perfil topográfico de la Ruta No. 27 y modelo de elevación digital donde se denota la zona evaluada y un detalle de la ubicación de puntos visitados para análisis de taludes.

7.1 Punto 1. Estacionamiento 21+400.

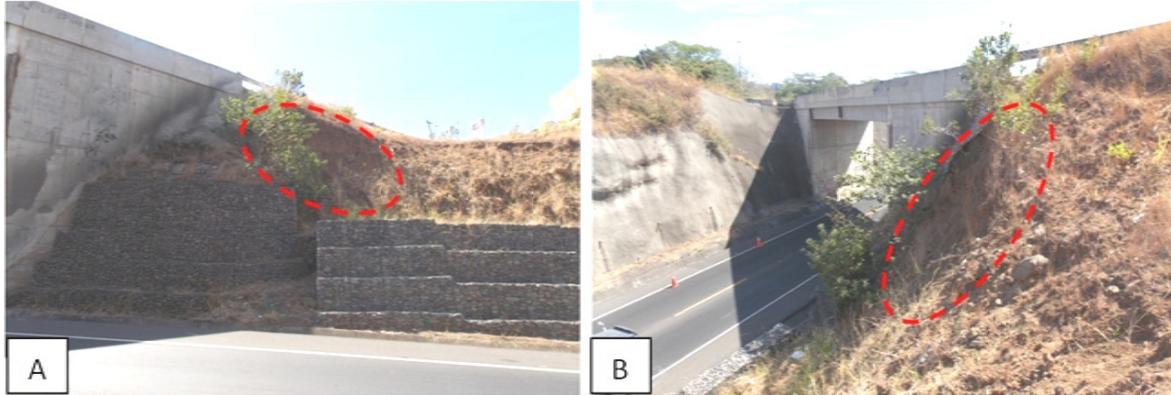


Figura 44 Talud en el paso a desnivel de Rincón Chiquito.

En este punto de la carretera, contiguo al bastión del paso a desnivel, se localizan dos muros de gaviones, como se observa en la Figura 44, la zona sobre el muro de gaviones continúa expuesta a la acción de la erosión (A y B).

El talud detrás de estos muros da soporte a la vía que cruza sobre la Ruta 27, el cual presenta una pendiente casi vertical mostrando signos de deterioro por erosión hídrica superficial. Si el deterioro de esta zona continúa, podría avanzar hasta alcanzar la calzada ubicada en la parte superior, lo que podría comprometer la estabilidad del camino y el acceso al paso a desnivel.

Estas condiciones de vulnerabilidad han sido señaladas con anterioridad en los siguientes informes del LanammeUCR:

- LM-PI-UGERVN-007-2013
- INF-PI-UGERVN-005-2014
- INF-PI-UGERVN-014-2014.

7.2 Punto 2. Estacionamiento 22+300.



Figura 45 Talud en la rampa de salida a Siquiara. A) Vista del talud que fue intervenido con concreto y manto reforzado. B) Zona del talud sin intervención.

El deterioro que presentaba este talud, antes de su intervención, afectaba el soporte de la construcción liviana y a una cuneta para el manejo del agua superficial localizadas en la parte superior del talud. La intervención realizada consistió en la colocación de concreto con anclajes pasivos en la parte superior y un manto reforzado en la parte media e inferior.

La zona con concreto no presenta deterioros a simple vista, sin embargo, la erosión hídrica superficial continúa avanzando por debajo del manto que fue colocado. Se observaron muy pocos pines para el anclaje del manto al talud, únicamente se colocaron unos pocos en los traslapes entre los mantos, esto reduce la efectividad del sistema. Adicionalmente, el manto utilizado no retiene la fracción fina del suelo, por lo que su efecto anti-erosivo es muy limitado. La pérdida de suelo por debajo del manto demora el proceso de crecimiento de la vegetación y protección del talud. En el mediano plazo la pérdida de suelo podría generar los mismos problemas de pérdida soporte que originaron la más reciente intervención.

Estas condiciones de vulnerabilidad han sido señaladas con anterioridad en los siguientes informes del LanammeUCR:

- LM-PI-UGERVN-007-2013
- INF-PI-UGERVN-005-2014

7.3 Punto 3. Estacionamiento 23+100

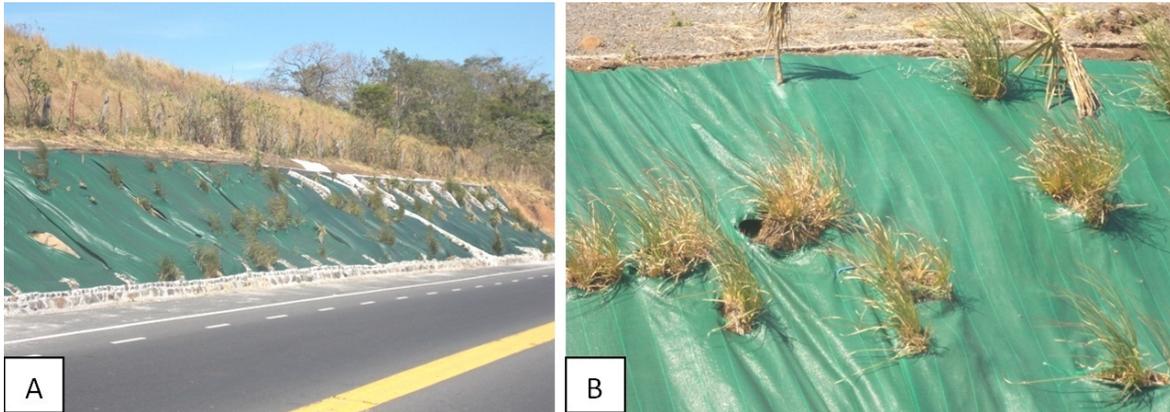


Figura 46 Talud intervenido en el PK 23+100, lado derecho en sentido hacia Caldera. A) Vista general del talud con el manto. B) Detalle del manto instalado.

En la Figura 46 se muestra el donde se colocó un manto sobre el talud existente. El manto utilizado no es adecuado para el control de la erosión, ya que su diseño no permite retener el suelo fino ni favorece el crecimiento de la vegetación.

Prácticamente no se utilizaron pines para anclarlo a la superficie, por lo que éste no está en contacto directo con el suelo.

Los traslapes están abiertos y el manto está rasgado en muchos sectores. La condición que se presenta en la actualidad no favorece el crecimiento permanente de la vegetación en este talud, tampoco evita la pérdida de suelo, por lo que se prevé que la erosión continúe en este tramo de la carretera en concesión.

7.4 Punto 4. Estacionamiento 27+100



Figura 47 Talud en el PK 27+100 lado izquierdo sentido hacia Caldera. A) Vista de la zona del talud que fue intervenido con la colocación de rocas y suelo. B) Zona del talud con potencial de presentar deslizamiento.



En la Figura 47 se presenta el talud en el que se observan diferentes materiales que corresponden con lahares con algún grado de consolidación en la parte superior y suelos finos (limos-arcillas) en la parte media e inferior, los cuales se desgranar fácilmente por la acción del agua y el viento.

Los estratos de suelo fino de la parte inferior y media son susceptibles a la erosión y actualmente se encuentran expuestos, sin ningún tipo de protección lo que ha provocado la pérdida gradual de suelos finos y la generación de una zona de alta vulnerabilidad al deslizamiento, la que puede abarcar incluso hasta la parte superior del talud.

Actualmente en la zona más afectada se han colocado rocas y suelo sin un orden definido (tal como se observa en la Figura 47 A). No hay evidencia de que la superficie sobre la que se colocaron las rocas haya sido previamente preparada, la cubierta no es densa ni uniforme, lo que la hace más susceptible a la erosión. Además, el aporte mecánico del material colocado a la estabilidad del estrato de lahar de la parte superior es limitado, debido a la falta de confinamiento y contacto entre los materiales.

En general no parece que este material colocado en ese sitio siga algún diseño definido y tenga alguna función más que cubrir una cavidad en el talud. Contiguo a este sector se observó una zona con características de consistencia y estratigrafía muy similares. Esta zona no cuenta actualmente con protección, por lo que se le considera con alto potencial de presentar también deterioro y generar la caída de material en la carretera.

Estas condiciones de vulnerabilidad han sido señaladas con anterioridad en los siguientes informes del LanammeUCR:

- LM-PI-UGERVN-007-2013
- INF-PI-UGERVN-005-2014

7.5 Punto 5. Estacionamiento 37+500

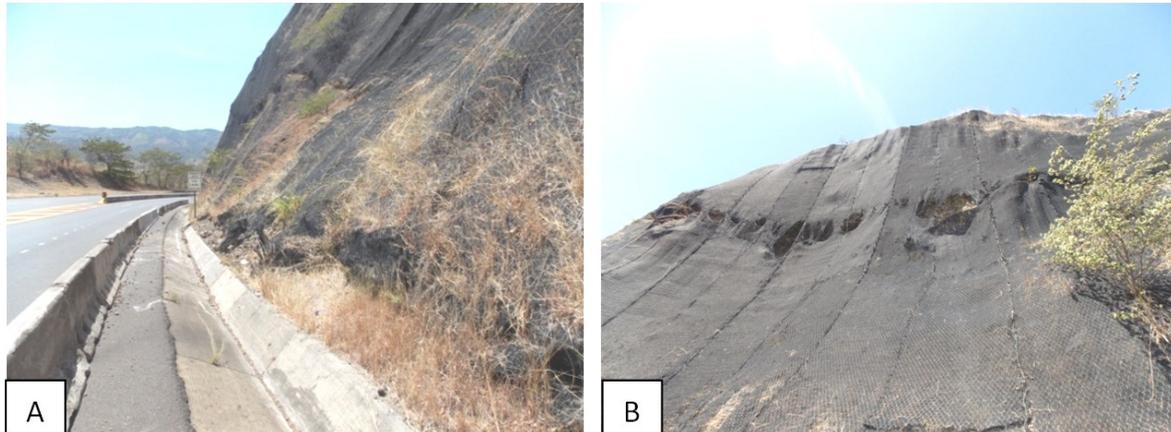


Figura 48 Talud en la estación 37+500, lado derecho sentido San José – Caldera. A) Vista de pie del talud, se observa la barrera New Jersey colocada de forma permanente en el costado de la carretera. B) Vista de la parte alta del talud, presenta deterioro importante del manto instalado

El material original de este talud corresponde con lavas masivas con diferentes grados de alteración y fracturación.

En este sitio se instaló un material que combina una malla metálica con un manto sintético flexible, lo que ha prevenido en cierta medida la caída de rocas en la carretera. Sin embargo, actualmente el manto instalado presenta un deterioro importante, está desgarrado y no está debidamente anclado al talud, tal como se observa en la Figura 48.

El avance del deterioro y caída constante de rocas en la carretera demuestran que este talud no ha sido estabilizado siguiendo un diseño adecuado de ingeniería geotécnica. Aún existe gran cantidad de material que tiene un alto potencial de desprenderse.

La vida útil de los materiales y de la solución implementada para evitar que las rocas lleguen a la carretera ya ha sido sobrepasada, por lo que su efectividad es muy reducida. Condiciones geomorfológicas del talud como su altura (> 15 m), las altas pendientes (>55°), así como la cercanía del talud con la carretera y la continua caída de materiales, representan un peligro importante para la seguridad de los usuarios que utilizan la vía en concesión.

Estas condiciones de vulnerabilidad han sido señaladas con anterioridad en los siguientes informes del LanammeUCR:

- INF-PITRA-001-2013
- INF-PI-UGERVN-005-2014
- INF-PI-UGERVN-014-2014

7.6 Punto 6. Estacionamiento 38+600.

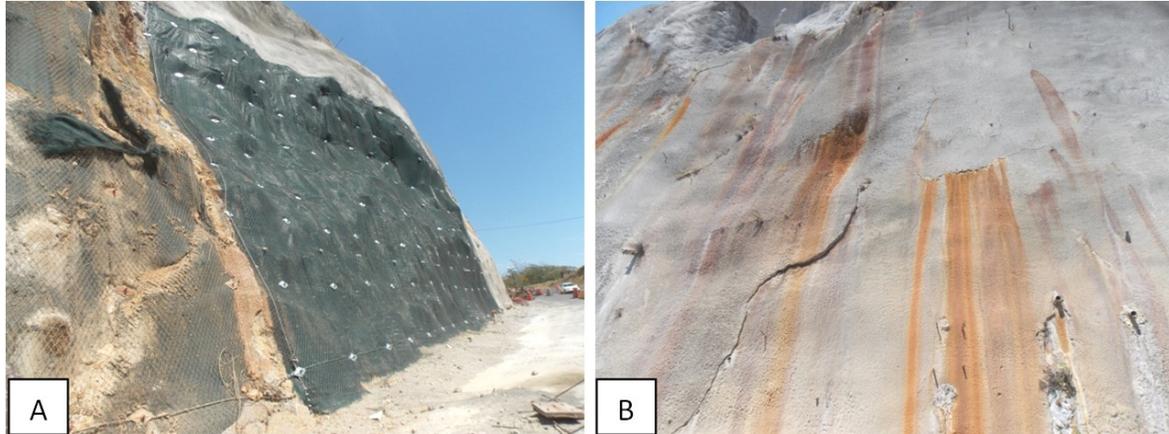


Figura 49 Talud lado derecho en sentido hacia Caldera en la estación 38+600. A) Vista del talud que fue intervenido con anclajes y manto reforzado durante el año 2015 e inicios del 2016. B) Deterioro generado por el drenaje ácido de roca en el concreto de otras zonas del talud.

El deterioro de este talud ha sido objeto de estudio durante varios años por parte del LanammeUCR.

Se ha encontrado que la principal afectación proviene del deterioro acelerado que el Drenaje Ácido de Roca, presente en el sitio, ha ocasionado en el concreto y el acero utilizados para la estabilización y protección del talud. Debido a estos deterioros, en varios tramos del talud ha sido necesaria la sustitución del concreto lanzado y la colocación de diferentes materiales para la protección superficial.

Durante el año 2015, después de un deslizamiento en agosto de ese año, se observó la colocación de anclajes de acero, junto con un manto sintético para control de erosión con refuerzo de malla metálica. La malla empleada en el tramo recientemente intervenido (Figura 49 A), tiene un recubrimiento o protección superficial. Debido a las agresivas condiciones de acidez presentes en el talud, no se tiene claridad del comportamiento que estos materiales con recubrimiento (recientemente instalados) tendrán en este medio, tanto en el mediano como en el largo plazo.

En cuanto a los anclajes de acero, tal como fue indicado en el informe LM-PI-UGERVN-008-2015 (diciembre 2015), el drenaje ácido generado en este talud crea un medio altamente agresivo para el acero, lo que provoca su oxidación y corrosión de forma acelerada. Los anclajes de acero que han sido colocados, son los responsables de aportar el refuerzo mecánico al talud y de evitar el deslizamiento de suelo y rocas sobre la carretera, por lo que en estas condiciones es esencial garantizar un adecuado desempeño de los anclajes de acero largo plazo. Por las condiciones tan agresivas generadas por el drenaje ácido de roca en este sitio, los anclajes de acero pueden verse



afectados en los próximos años y presentar una pérdida significativa de su resistencia, y por lo tanto de su funcionalidad.

Adicionalmente, se observan otras zonas en este mismo talud en las cuales el concreto presenta agrietamiento y deterioros similares al de los sectores que ya han fallado. Si estos sectores no son intervenidos se prevé un avance del deterioro, lo que conlleva un peligro para la seguridad de los usuarios, ante la posibilidad de la caída de concreto, suelo y rocas a la carretera.

Las condiciones de vulnerabilidad y la afectación de los materiales por el drenaje ácido de roca en este sitio, han sido señaladas con anterioridad en los siguientes informes del LanammeUCR:

- INF-PITRA-001-2013
- LM-PI-UGERVN-005-2013
- LM-PI-UGERVN-007-2013
- INF-PI-UGERVN-005-2014
- INF-PI-UGERVN-014-2014
- LM-PI-UGERVN-003-2015
- LM-PI-UGERVN-008-2015

7.7 Punto 7. Estacionamiento 40+700



Figura 50 Taludes en el estacionamiento 40+700 lado izquierdo y lado derecho. A) Vista del talud lado derecho (en sentido hacia Caldera) que fue intervenido con anclajes y manto reforzado. B) Separación entre las placas de los anclajes y el talud, debido a los proceso de erosión. C) Acumulación de sedimentos, evidencia de la erosión activa en el talud. D) Detalle de otras zonas vulnerables en el talud

En el mes de noviembre del 2014 ocurrió un deslizamiento en este talud que obligó al cierre total de la carretera. La intervención realizada consistió en la remoción del material más inestable de la parte superior del talud, colocación de anclajes pasivos y un manto reforzado.

Según se pudo observar, la erosión superficial continúa avanzando por debajo del manto que fue colocado. Para el amarre de este material únicamente se emplearon placas colocadas en los extremos de los anclajes, no se utilizaron pines para garantizar el contacto entre el manto y el talud, esto reduce la efectividad del sistema de control de erosión. Adicionalmente, el manto utilizado no retiene la fracción fina del suelo, por lo que su efecto anti-erosivo es muy limitado.

En el mediano plazo la pérdida de suelo que se ha observado por debajo del manto, podría generar problemas y deslizamientos similares a los que ya se han presentado, los cuales han generado algunas intervenciones en los últimos meses del año 2015.

Tal como se observa en la Figura 50 “C”, en la cuneta al pie del talud se acumula gran cantidad de sedimento, lo que evidencia el proceso de erosión que está teniendo lugar en el talud, a pesar de los materiales que el Concesionario ha colocado.

En este mismo talud existen otros sectores que presentan condiciones de vulnerabilidad similares al sector que falló en el año 2014, por lo que se prevé un avance del deterioro que puede derivar en nueva caída de materiales en la carretera, repercutiendo en un detrimento del nivel de servicio de la vía concesionada y representando un peligro para los usuarios.

Estas condiciones de vulnerabilidad han sido señaladas con anterioridad en los siguientes informes del LanammeUCR:

- INF-PI-UGERVN-005-2014
- INF-PI-UGERVN-014-2014

7.8 Punto 8. Estacionamiento 45+300



Figura 51 Taludes en el estacionamiento 45+300. A) Vista de talud LI hacia Caldera con concreto lanzado afectado por drenaje ácido y desprendimiento de la malla colocada para evitar la caída de rocas. B) Vista de talud LD con concreto lanzado afectado por el DAR, material en voladizo con pendientes superiores a 55°

El deterioro de estos taludes se presentan tanto en el material original (lavas muy fracturadas y alteradas hidrotermalmente) como en el concreto lanzado y malla electro soldada que han sido colocados en varios sectores.

Mediante mediciones de pH en pasta, este laboratorio ha determinado que en este sitio se está presentando drenaje ácido de roca y que éste ha contribuido al deterioro de las rocas y las estructuras de concreto, como cunetas y pantallas de concreto sobre el talud. Una malla de metal colocada en el talud del lado derecho hacia Caldera está desprendida en

la parte superior, como se observa en la Figura 51 “A”. El talud del lado izquierdo hacia Caldera, presenta pendientes superiores a 55° y material en voladizo, esta zona es vulnerable a sufrir deslizamientos que podrían llegar a obstruir la vía representando un peligro para los usuarios.

Estas condiciones de vulnerabilidad han sido señaladas con anterioridad en los siguientes informes del LanammeUCR:

- LM-PI-UGERVN-007-2013
- INF-PI-UGERVN-005-2014
- INF-PI-UGERVN-014-2014

7.9 Punto 9. Estacionamiento 47+000

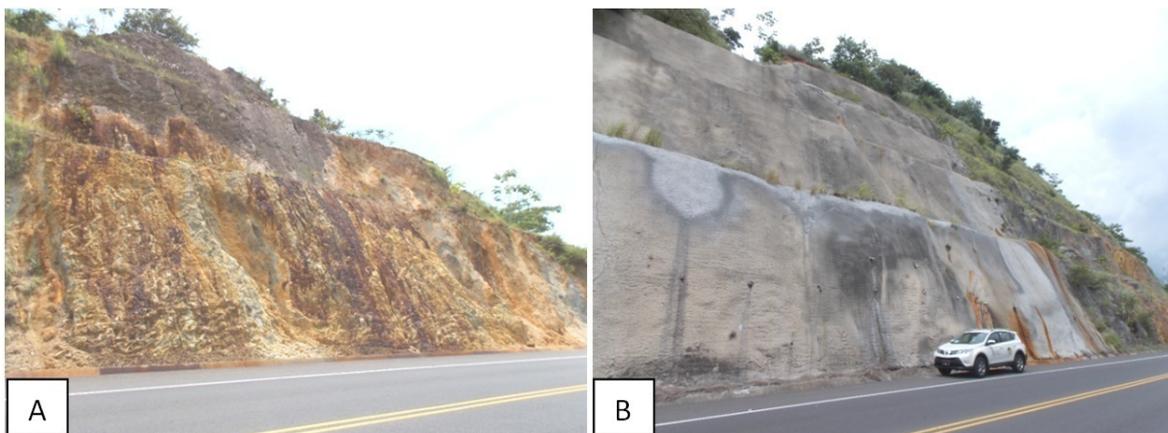


Figura 52 Taludes en el estacionamiento 47+000. A) Vista de talud LI hacia Caldera con materiales originales completamente afectados por drenaje ácido. B) Vista de talud LD con concreto lanzado, presenta fracturas y las primeras fases de afectación por DAR

El deterioro de los taludes en este punto de la carretera, tanto en el material original (lavas muy fracturadas y alteradas hidrotermalmente), como en el concreto lanzado y la malla electro soldada que han sido colocados en varios sectores, ha sido acelerado por la presencia de drenaje ácido de roca. Mediante mediciones de pH en pasta, este laboratorio ha determinado que en este sitio se está presentando este proceso químico, y que éste ha influido en el deterioro de las rocas y las estructuras de concreto, como cunetas y pantallas de concreto.

Debido a que el talud de lado izquierdo hacia Caldera no está cubierto por concreto lanzado, se puede evidenciar fácilmente la afectación del drenaje ácido en la roca, tal como se aprecia en la Figura 52.

En el talud del lado derecho, el cual está cubierto con concreto lanzado, empieza a presentar los mismos síntomas y la misma condición que presentaba el talud del estacionamiento 38+600 hace aproximadamente tres años. Si no se toman acciones

correctivas en el corto plazo, los mecanismos de deterioro identificados en los taludes con condiciones similares hacen prever un avance en el deterioro de las obras de protección y estabilización de este talud.

El deterioro en un grado avanzado provoca el desprendimiento del concreto lanzado, junto con el suelo y las rocas que conforman los taludes en estos puntos de la carretera.

Estas condiciones de vulnerabilidad han sido señaladas con anterioridad en el siguiente informe del LanammeUCR:

- LM-PI-UGERVN-008-2015.

7.10 Punto 10. Estacionamiento 48+000

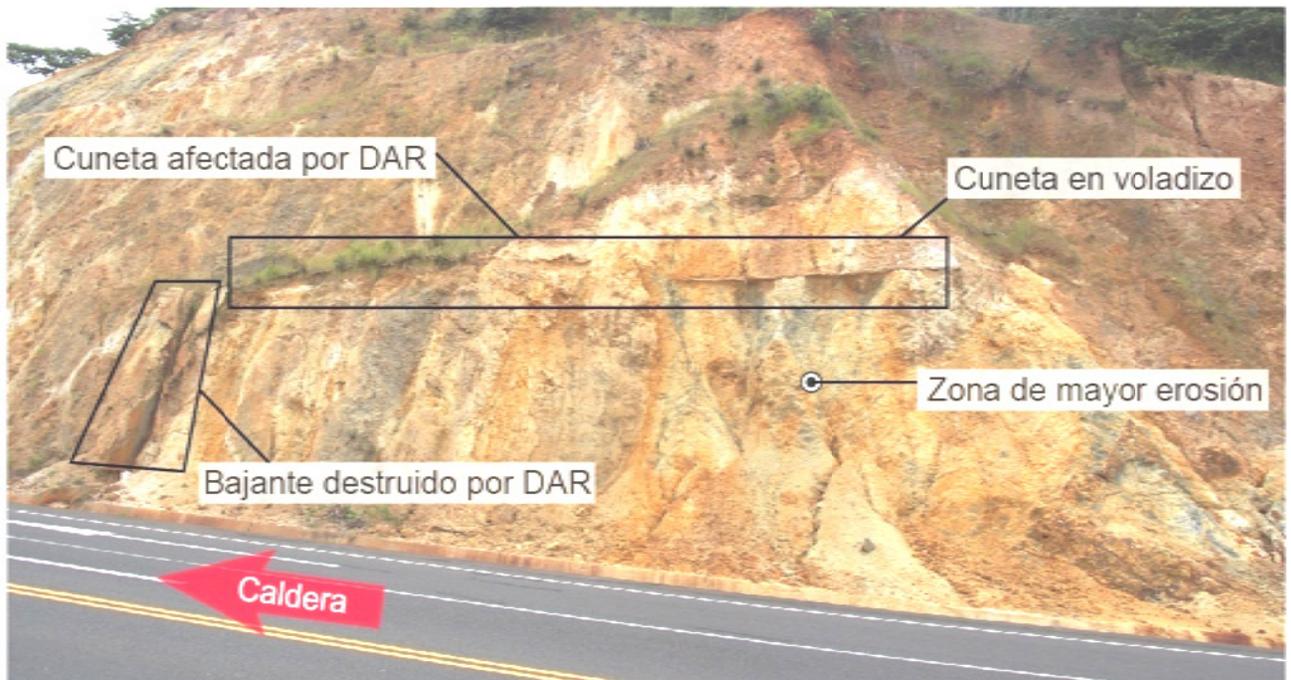


Figura 53 Afectación por Drenaje Ácido de Roca en las cunetas y los bajantes del talud del km 48+000.

Este es uno de los taludes de la Ruta Nacional 27 más estudiados por este laboratorio, con caracterización geoquímica y topográfica en detalle (Ruiz et al., 2015) que presenta mayor afectación por drenaje ácido de roca, pese a que no se han dado deslizamientos importantes debido a la geometría y disposición de terrazas, la presencia de DAR puede incidir directamente en la profundización de la alteración de los materiales. Las cunetas de este talud están expuestas a condiciones que aceleran su deterioro impidiendo un adecuado manejo de aguas superficiales y esto a su vez está influyendo negativamente en el deterioro y la estabilidad de los taludes, generando una meteorización química intensa de los materiales originales del talud, y posteriormente erosión hídrica que derivan en pequeños colapsos de material.

Con el tiempo, una profundización de la zona afectada por DAR producirá planos de falla más profundos y deslizamientos más grandes en este sitio. En la figura anterior, se muestra el talud del lado derecho del km 48+000, donde se observa la evidente afectación del DAR en la cunetas y bajantes que propician la erosión del talud y aumentan su inestabilidad. Se debe tener presente que muchos deslizamientos son la culminación de procesos erosivos que no han sido intervenidos a tiempo ni de forma adecuada. Por lo tanto, no se debe desdeñar el efecto futuro que tendrá el deterioro por erosión que desde hace años viene afectando al talud del km 48+000.



Figura 54 Taludes del km 48+000 que presentan DAR, los botaderos y el puente sobre el río Salitral

Además de los taludes afectados por DAR a ambos lados de la carretera en el km 48+000, este laboratorio ha identificado la ocurrencia de DAR en el botadero del sector suroeste que da hacia el río Salitral.

La ocurrencia de este proceso químico en los taludes y el botadero podría estar generando lixiviados ácidos que bajan en dirección hacia el río afectando directamente las fundaciones del puente sobre el río Salitral. También se puede generar una acidificación mayor de las aguas en este río, lo cual podría provocar un problema ambiental aguas abajo.



Las condiciones de vulnerabilidad mencionadas anteriormente, tanto en los taludes como en los botaderos, han sido señaladas con anterioridad en los siguientes informes del LanammeUCR:

- LM-PI-UGERVN-007-2013
- INF-PI-UGERVN-005-2014
- INF-PI-UGERVN-014-2014
- LM-PI-UGERVN-008-2015



8. CONCLUSIONES

8.1 Conclusión General

Según se establece en el artículo 5 de la Ley No. 8114 de Simplificación y Eficiencia Tributaria, “para garantizar la máxima eficiencia de la inversión pública de reconstrucción y conservación óptima de la red vial costarricense...”, la Universidad de Costa Rica, a través del Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (en adelante, LanammeUCR), deberá efectuar una evaluación anual de los proyectos y puentes en concesión. De conformidad con lo señalado, el presente es un informe técnico que se enmarca dentro de las funciones de fiscalizador que la citada ley le confiere al LanammeUCR.

El análisis integral del pavimento, en la sección de la troncal principal, debe realizarse tomando en consideración la influencia de una serie de aspectos que afectan, en mayor o menor medida, la calidad general del proyecto. Se debe tomar en consideración la calidad de los materiales utilizados, es decir, el diseño de la mezcla asfáltica, el diseño de los espesores de las distintas capas del pavimento, el nivel de servicio que el pavimento brinda a los usuarios en términos de confort, costos de operación vehicular, seguridad vial y por último, el nivel de deterioro superficial. Ninguno de estos aspectos son independientes entre sí, dado que existe una estrecha correlación entre cada uno de ellos y deben ser ponderados dentro del ámbito de un proyecto en concesión de obra pública.

Los análisis realizados revelan que el proyecto cuenta en general con una muy buena capacidad estructural y una condición funcional regular, presentando un incremento alrededor del 6% de la longitud en relación con los resultados obtenidos en el año 2014.

Asimismo, la capacidad funcional (IRI) mostró en esta sexta evaluación anual del proyecto una leve mejora en el sentido San José - Caldera, ya que la categoría Deficiente disminuyó incrementando la categoría Regular y Muy buena, mientras que en el sentido Caldera - San José hubo una leve disminución de la capacidad funcional bajando el porcentaje correspondiente a longitud de la carretera en condición Buena y Muy Buena.

Con respecto a la resistencia al deslizamiento medido con el equipo Grip Tester, en general presenta una tendencia al incremento de la condición de No Deslizante a Poco Deslizante y Deslizante en el sentido San José - Caldera. Siendo la condición del sentido Caldera - San José la que presenta el mayor porcentaje con niveles bajos de agarre superficial, lo que la convierte en una ruta de mayor riesgo cuando se presentan condiciones de lluvia. En el sentido San José - Caldera, se está dando una tendencia hacia el aumento en las categorías Deslizante y Muy Deslizante. Los resultados obtenidos con el Mu-Meter (equipo que especifica el contrato) muestra que en la mayoría de la longitud de la troncal principal se encuentra dentro de las especificaciones indicadas en el contrato.



No está demás aclarar que las especificaciones no son las adecuadas para poder saber si la superficie de ruedo tienen una buena o mala condición de agarre a la resistencia al deslizamiento.

En relación con la evaluación hecha a las radiales, 3 de las 4 radiales presentan un estado muy deficiente respecto a la condición estructural, lo que las ubica como candidatas a Rehabilitación Mayor en la mayoría de los tramos analizados. Únicamente la Radial a Escobal se presenta como candidata a mantenimiento preventivo.

En términos generales, el proyecto presenta una leve mejora en su capacidad estructural, ya que con respecto al año 2014-2015, en promedio ha mejorado cerca de un 5%, de igual manera, se ha detectado un aumento, en comparación con el año 2014, de alrededor un 3% de la longitud con irregularidades entre condición Deficiente y un 1% en condición Muy Buena. Los niveles de deterioro mostrados en el año 2014, tanto en la parte estructural como funcional, aún mantienen al proyecto en una condición aceptable, sin embargo, deben procurarse mantener planes de mantenimiento y refuerzo, tomando en consideración la tasa con que ha venido aumentando el deterioro, lo cual se ve reflejado en los modelos de deterioros presentados en este informe. Además, la importancia de llevar un mejor control de deterioros que, según lo indicado en el contrato en la sección 2.15.2 "Indicadores para Pavimento Asfáltico" apartado h) Apretamiento en relación con la presencia de exudación, no debieran presentarse a lo largo de la explotación del proyecto, condición que no se está cumpliendo, presentándose un incumplimiento a las condiciones del contrato.

En relación a los puentes evaluados en la visita realizada el pasado mes de enero se identificaron 2 daños comunes en todos los puentes mayores, agrietamiento generalizado en una y dos direcciones en la superficie superior de las losas de concreto y falta de mantenimiento en los apoyos móviles, situación que se mantiene a pesar de las recomendaciones indicadas en el informe de evaluación presentado en el año 2015, además de que el puente peatonal en muy mal estado que presenta un riesgo para los usuarios de la vía.

8.2 Conclusiones Específicas

8.2a. Sobre la condición estructural

Los resultados de la deflectometría de impacto revelan un pavimento que mantiene una buena capacidad estructural en gran parte de la longitud del ramal principal del proyecto. Para esta campaña de evaluación se pudo notar que hubo una mejoría en relación con las evaluaciones anteriores.

Se detectó que las radiales continúan con la urgente necesidad de que se realicen intervenciones prontas que permitan mejorar su condición estructural, ya que presentan deflexiones entre altas y muy altas, revelando la presencia de una estructura débil para soportar las cargas de tránsito que pasan por estas.

8.2b. *Sobre la condición funcional*

Cerca de un 26% de la troncal principal es calificada con valores donde la calidad de manejo es inferior a la de los pavimentos nuevos, y pueden presentar problemas para altas velocidades de tránsito, aumentos en los costos de operación vehicular y disminución de la durabilidad del proyecto al aumentar el número de cargas dinámicas sobre el pavimento. Los defectos superficiales en pavimentos flexibles pueden incluir ahuellamiento, parches y agrietamiento. Lo que indica que según los parámetros internacionales su condición se encuentra en una condición "Buena". En comparación con lo indicado en el contrato, alrededor de un 2% de la longitud de la ruta se encuentra por encima de un IRI de 3 m/km

Se midió un incremento de un 1% en el Sentido San José - Caldera en las categorías Regular y Deficiente respecto al año anterior y un leve aumento en estas mismas categorías en el sentido Caldera - San José.

Las radiales a Turrucares, Atenas y Escobal presentan los valores más altos en su condición funcional, ubicándolos entre en la categoría de Regular (1.9 y 3.6 m/km), condición que requiere atención por parte del concesionario para brindar mantenimiento preventivo. Presentando de forma general una desmejora en tres radiales, siendo la radial a Escobal la que mantiene la condición del año anterior.

8.2c. *Sobre la resistencia al deslizamiento como parámetro de seguridad vial*

Los resultados de la evaluación de la resistencia al deslizamiento obtenidos con el Grip-Tester revelan que existe un aumento considerable de zonas de peligrosidad media por los bajos coeficientes de rozamiento, y hubo una disminución considerable de zonas no deslizantes pasando de un 6% en el 2014 a menos del 1% en el 2015 en el sentido San José - Caldera, mientras que las zonas que presentaban un alto porcentaje de la condición Poco Deslizante, para la presente evaluación disminuyó en un 23% aproximadamente. Para el caso del sentido Caldera - San José hubo un incremento del 30% entre las condiciones Deslizante y Muy Deslizante. En varios estudios de accidentes a nivel internacional se ha llegado a demostrar que las rutas con pavimento deslizante facilitan la mayor incidencia de accidentes de tráfico. Debido a esto, y en perspectiva dentro de un proyecto con velocidades de circulación superiores a los 90 km/h y en condiciones de humedad superficial, es donde las secciones denominadas como "deslizantes" o "muy deslizantes" toman una ponderación mayor en el aspecto de seguridad vial.

Se realizó la medición de este parámetro con el Mu-Meter, el cual también brinda un valor de resistencia al deslizamiento. Con este equipo se puede determinar que, según los rangos planteados en el contrato, los cuales no se apegan a los criterios que utiliza este equipo para evaluar este factor y que además el fabricante hace la recomendación de que el mismo está orientado a evaluar pistas de aeropuertos, se obtiene que la troncal principal cumple con los valores de referencia estipulados en el contrato.



La evaluación a las radiales con el Grip-Tester reveló que éstas presentan una condición con alta probabilidad al deslizamiento, lo que a su vez aumenta la posibilidad de que ocurran accidentes por poca fricción entre la llanta y el concreto asfáltico.

Contrario a los valores obtenidos con el Grip-Tester, la evaluación realizada con el Mu-Meter reveló que todas las radiales cumplen con los rangos establecidos en el contrato.

8.2d. Sobre los deterioros superficiales de la mezcla asfáltica

El proceso de auscultación visual por medio del equipo de cámaras digitales, permite realizar un análisis de los deterioros superficiales encontrados en el proyecto. La presencia de deterioros estructurales se ve incrementado respecto al año anterior.

Se dio un incremento del 13% del área afectada por Bache respecto al 2014; caso similar ocurrió con el deterioro Piel de Lagarto que tuvo un incremento del 22%; además hubo un incremento considerable en la longitud afectada por grietas longitudinales y transversales.

En lo que respecta a las barreras laterales flexibles, se ha detectado un aumento de "Flex Beam" deformadas en ambos sentidos, ya que en el sentido San José - Caldera se detectaron 8 puntos, y en el sentido Caldera - San José se presentan 7 sitios con guardavías impactados. En todos los sitios encontrados con barreras deformadas hay presencia de la categoría "Deslizante" y "Muy Deslizante" con respecto al coeficiente de agarre superficial, lo que indica la necesidad de atender las zonas deslizantes para colaborar en disminuir la probabilidad de la ocurrencia de accidentes.

8.2e. Sobre el estado de las radiales.

Los resultados obtenidos para la condición estructural presentan valores críticos, que indican una estructura con reducida capacidad estructural en las radiales de El Coyol, Turrúcares y Atenas, requiriendo especial atención para aplicar técnicas de rehabilitación mayor.

Desde el punto de vista funcional, todas las radiales presentan condición entre baja y regular, lo que brinda mayor confort y seguridad al usuario, mientras que desde el punto de vista de agarre superficial usando el Grip-Tester, todas presentan en su mayoría una condición deslizante, aumentando la probabilidad de accidentes.

Al combinar los tres parámetros indicados anteriormente se pueden obtener las notas de calidad Q, las cuales permiten definir estrategias de intervención necesarias, definiendo para las radiales de El Coyol, Turrúcares y Atenas la necesidad de realizar una Rehabilitación Mayor a un corto plazo y para el caso de la radial a Escobal realizar obras de mantenimiento preventivo.

Con respecto a la presencia de deterioro superficial en la radial a Atenas y el Coyol se detectó un incremento del área Piel de Lagarto en comparación con el año anterior.



8.2f. *Sobre los Modelos de Deterioro*

Los resultados obtenidos del análisis hecho al PSI para determinar la envolvente de la curva de deterioro de la troncal principal mostraron que el sentido San José - Caldera presenta un deterioro progresivo pero de forma leve en los primeros 4 años de evaluación, siendo un comportamiento esperado para proyectos de este tipo. En su contraparte, en el sentido Caldera - San José se observa un deterioro más acelerado, pero con intervenciones oportunas que mejoran la condición de cada tramo, siendo el tramo 3 el que presentaba una condición de mayor deterioro en comparación con los demás.

Se desarrollaron 8 modelos de deterioro basados en la variable IRI para calcular el índice de serviciabilidad presente, de donde se desprende que en los tramos 3 en el sentido Caldera - San José, el cual representa un 50.6% de la longitud total de la ruta, tendrán un valor de PSI igual a 3 en un periodo de 5 años, lo que implica que a tan solo un 47% del plazo total de la concesión sea necesario que se realicen labores de intervención para mejorar su capacidad funcional, alargando su vida útil. En los demás casos, se proyecta que se requiere de un plazo mayor a 13 años para que se requiera de una intervención mayor.

8.2g. *Sobre el estado de los taludes y terraplenes adyacentes a la ruta*

En las inspecciones realizadas se identificaron varios taludes de la Ruta Nacional No.27 con condiciones de estabilidad y erosión que ameritan intervención por parte del concesionario de la carretera.

Requieren especial atención los tramos que presentan alteración hidrotermal, sobre todo aquellos sectores en los cuales el concreto lanzado sobre los taludes está degradado por esta condición. El potencial desprendimiento del concreto representa un peligro para los usuarios de la vía.

Existen tramos que presentan condiciones de tipo de suelo, altura y pendiente que los hacen muy susceptibles a la erosión por acción de la lluvia. De no tomarse medidas en el corto plazo, el deterioro puede derivar en deslizamientos con el consecuente peligro para los usuarios de la vía.

8.2h. *Sobre la evaluación de puentes mayores ubicados en la troncal principal*

Se identifican 2 daños comunes a todos los puentes mayores de la Ruta 27, los cuales son:

- a. Agrietamiento generalizado en una y dos direcciones en la superficie superior de las losas de concreto, con desprendimientos en algunos casos y en otros incluso con acero de refuerzo expuesto, a pesar de eso, no se observaron medidas de mantenimiento o correctivas tendientes a evitar el deterioro progresivo de estas losas.

- b. Falta de mantenimiento en los apoyos móviles, también conocidos como amortiguadores o dispositivos de bloqueo sísmico; esto por la cantidad de sedimentos acumulados e indicios de corrosión en los pernos de anclaje, y deterioro general del sistema de protección de pintura. El adecuado funcionamiento de estos mecanismos es esencial para el desempeño estructural en condiciones de servicio y condiciones extremas de los puentes, por lo que el estado actual de los mismos puede provocar daños en los otros componentes de estas obras.
- c. El puente peatonal ubicado en el estacionamiento 11+850 representa un riesgo para los usuarios de la vía y para la continuidad del tránsito a través de la ruta en esa zona, ya que el tramo existente podría colapsar debido a distintas razones y escenarios producto de los daños descritos.

Es importante resaltar que los puentes sobre Quebrada Salitral y Río Virilla son los que presentan la peor condición de las losas de concreto, ya que el primero presenta acero de refuerzo fallado por fatiga.

Los demás puentes presentan una fuerte evidencia de falta de mantenimiento tanto periódico como preventivo.

9. Recomendaciones

Como recomendaciones se plantea al Consejo Nacional de Concesiones (CNC) la necesidad que se evalúe y analice de forma oportuna la factibilidad y viabilidad técnica y legal de ejecutar las siguientes acciones:

9.1a. *Sobre la evaluación funcional, estructural, resistencia al deslizamiento y de deterioro superficial del proyecto*

- Ordenar al Concesionario realizar intervenciones tempranas del tipo sellos de lechadas asfálticas o similares (slurry seals, fog seals, chip seals, microsurfacing u otras técnicas) en aquellas zonas con deterioros de tipo funcional y problemas relacionados con la baja resistencia al deslizamiento, con el fin de detener la propagación de los deterioros detectados y las condiciones de inseguridad vial.
- Revisar los estándares de calidad y mantenimiento del proyecto, puesto que al realizar el análisis de modelos de deterioro se detectó que en algunos casos se refleja la realización de intervenciones importantes para mejorar el índice de condición superficial (IRI) por la presencia de deterioro acelerado, por lo que se debe considerar exigir al concesionario las acciones preventivas correspondientes que garanticen al Estado Costarricense obtener un proyecto de altos estándares al final del periodo de concesión.

9.1b. *Sobre la evaluación de las radiales*

- Realizar una intervención mayor (Rehabilitación) inmediata de las radiales que presentan condiciones estructurales críticas para extender su vida de servicio.



- Implementar un programa de mantenimiento rutinario a la radial que cuenta con una adecuada condición estructural, funcional y de seguridad vial evitando que presente un deterioro prematuro y acelerado.

9.1c. *Sobre los Modelos de Deterioro*

Dado que el tiempo de la concesión es por 25.5 años, se recomienda solicitar a la concesionaria implementar políticas de mantenimiento que garanticen al final del periodo de la concesión una carretera con índices de serviciabilidad entre 4 y 4.5, garantizando un excelente Nivel de servicio en lo que resta del periodo

9.1d. *Sobre el estado de los taludes y terraplenes adyacentes a la ruta*

- Revisión de las condiciones que presentan los taludes y obras de contención indicados en este informe.
- Para el talud en el estacionamiento 21+400, recomienda diseñar e implementar una protección superficial para esta zona del talud, con el fin evitar que el deterioro avance y afecte la estabilidad de la vía que se encuentra en la parte superior
- En los taludes de los estacionamientos 22+300 y 40+700, colocar una mayor cantidad de pines para el anclaje del manto al talud, así como la siembra intensiva de un tipo de vegetación apta para las condiciones climatológicas y topográficas de este sitio. Además se recomienda considerar ampliar la protección superficial del talud para cubrir la zona que continúa expuesta a los agentes erosivos y considerar un tipo de manto que tenga la capacidad de retener la fracción fina del suelo, con el fin de que se logren crear las condiciones para el establecimiento permanente de la vegetación en el talud.
- Para el talud del kilómetro 27+100, diseñar e implementar una solución permanente para garantizar la estabilidad y la protección superficial del talud, tanto para la sección que falló, como para la sección contigua con alto potencial de falla.
- En el talud del estacionamiento 37+500, realizar una revisión integral de la condición que tienen actualmente el talud y la protección superficial, con el fin de determinar las obras requeridas para eliminar el peligro que implica la caída de material en la carretera e implementar una solución permanente a la mayor brevedad, considerando el peligro que representa, en las condiciones actuales, este talud para la seguridad de los usuarios.
- Para el talud en el estacionamiento 38+600, diseñar e implementar una solución integral que garantice la estabilidad y la protección superficial de este talud. La solución permanente debe tomar en cuenta los procesos de acidificación que tienen lugar. Se debe considerar una solución en la cual la estabilidad de este no dependa del uso de materiales que son altamente vulnerables a la corrosión, es necesario que se estudie y considere el patrón de flujo del agua dentro del talud, así como la extensión y severidad del drenaje ácido.
- En el estacionamiento 45+300 es necesario diseñar medidas para estabilizar los taludes que respondan a las condiciones geotécnicas y geoquímicas presentes en el sitio. Utilizar materiales que puedan resistir las condiciones tan agresivas



generadas por el drenaje ácido de rocas, además se debe estudiar el patrón de flujo del agua dentro del talud, así como la extensión y severidad del drenaje ácido.

- Para el talud del estacionamiento 48+000 se recomienda considerar la realización de estudios que permitan una protección permanente de los taludes, la cual incluya técnicas empleadas para el control de DAR, control de erosión, control de aguas de escorrentía e integración paisajística.
- Exigir la realización de estudios técnicos, diseño de soluciones y planes de mantenimiento, para todas las acciones que sean consideradas para el manejo de las condiciones señaladas en este informe.
- Implementación a la mayor brevedad de las acciones correctivas requeridas para prevenir el deterioro de los taludes y salvaguardar la seguridad de los usuarios de la carretera.

9.1e. Sobre la evaluación de puentes mayores ubicados en la troncal principal

- Es necesaria una evaluación estructural y funcional más profunda por parte de la Administración que determine el origen y la extensión del deterioro detectado en el puente sobre la Quebrada Salitral, y sus posibles consecuencias, para efectuar la reparación más efectiva que necesite dicha obra.
- Implementar un plan sistemático de operación, mantenimiento rutinario por parte de la concesionario y un plan de rehabilitación de los puentes por parte de la Administración ; dado que se evidencia la reparación de aquellos aspectos que ponen en riesgo inmediato al usuario y a la obra (actitud pasiva). Por lo que se recomienda tomar una actitud preventiva de tal manera que los deterioros sean localizados en un tiempo corto, para evitar su propagación y así minimizar el costo de las reparaciones y posibles problemas contractuales que puedan generar el cierre parcial o total de estos puentes en una ruta tan importante para la economía nacional, como lo es la Ruta Nacional 27.
- Se le solicita a la Administración definir el responsable y las acciones a seguir para solucionar el riesgo que representa la parte de la estructura del puente peatonal que se encuentra abandonado en el estacionamiento 11+850.
- Dado el deterioro presente en los principales puentes evaluados, se recomienda a la Administración tomar las medidas necesarias para garantizar el correcto funcionamiento de estas estructuras en beneficio de los usuarios y prevenir que se interrumpa la explotación de la concesión de esta vía, pudiendo representar costos de indemnización por parte del estado a la empresa concesionaria.



Bibliografía

- American Association of State Highway Transportation Officials. (2011). *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*, 6th Edition.
- American Association of State Highway Transportation Officials. (1993). *American Association of State Highway Transportation Officials Guide for Design of Pavement Structures*. Washington, DC. Washington, DC. Estados Unidos de America.
- American Association of State Highway Transportation Officials. (2008). Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide, Interim Edition: *A Manual of Practice*. *Asociación Americana de Carreteras Estatales y Oficiales de Transporte*. Washington, DC. Estados Unidos de America.
- American Association of State Highway Officials. (2014). *LRFD Bridge Design Specification*, Seventh Edition. Washington, DC. Estados Unidos de America.
- American Association of State Highway Officials. (1961). *The American Association of State Highway Official Road Test: History and Description of Project*. *Highway Research Board*, Vol. 61, No. 1. Washington, DC. Estados Unidos de America.
- Al-Omari & Darter. (1994). *Relationships between international roughness index and Present serviceability ratings*. Transportation Research Council, Washington D.C. Estados Unidos de América.
- Arriaga, P. & C. Mario. (1998). *Índice de Rugosidad Internacional en la red carretera de México*. Publicación Técnica No 108. Sanfandila, Qro. México.
- ASTM E 867. (2006). *Standard Terminology Relating to Vehicle-Pavement Systems*.
- Sociedad América para Ensayos y Materiales (ASTM por sus siglas en inglés). Estados Unidos de América.
- Badilla, G. (2009). *Determinación de la regularidad superficial de pavimento mediante el cálculo del índice regularidad internacional (IRI): Aspectos y consideraciones importantes*. Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.
- Badilla, G., Elizondo, F. & Barrantes, R. (2008). *Determinación de un procedimiento de ensayo para el cálculo del IRI*. Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.
- Carey, W. & Irick, P. (1960). *The Pavement Serviceability Performance Concept*. *Highway Research Board*. Record 250. Estados Unidos de América.
- Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos (2013). *Lineamientos para el Diseño Sismorresistente de Puentes*, San José, Costa Rica: Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos.
- De Solminihac, H., Salsilli, R., Kohler, E. & Bengoa, E. (2003). *Analysis of Pavement Serviceability for the AASHTO Design Method: The Chilean Case*. Santiago, Chile.
- Dujisin, D. & Arroyo, A. (1995). *Desarrollo de una Relación Índice de Serviciabilidad Índice de Rugosidad Internacional (IRI)*. *Comisión de Diseño y Evaluación De*



Pavimentos, Corporación de Desarrollo Técnico (CDT), Cámara Chilena de la Construcción. Santiago, Chile.

Hall, K. T. & Correa Muñoz, C. E. (2007). *Estimation of present serviceability index from International Roughness Index*. Transportation Research Record 1655, TRB. Consejo de Investigación Nacional. Paper No. 99-1508 Washington, D. C, Estados Unidos de América.

Huang, Y. (1998) *Pavement Analysis and Design* Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey. Estados Unidos de América.

Hveem, F M. & Carmany R. M. (1948). *The Factors Underlying the Rational Design of Pavements*. Highway Research Board, Vol 28, pp 101-136. Estados

INSUMA, Ingenieros y Geólogos Consultores, 2012. Estudio Geotécnico Carretera San José Caldera, Rellenos entre las estaciones 44+260 y 44+540

LanammeUCR, *Informe de evaluación de la Ruta Nacional 27*, año 2010, PITRA.

LanammeUCR, *Informe de evaluación de la Ruta Nacional 27*, año 2011, PITRA.

LanammeUCR, *Informe de evaluación de la Ruta Nacional 27*, año 2012, PITRA.

LanammeUCR, *Informe de evaluación de la Ruta Nacional 27*, año 2013, PITRA.

LanammeUCR, *Informe de evaluación de la Ruta Nacional 27*, año 2014-2015, PITRA

LanammeUCR, Informe Proyecto N° UI-PE-03-08, *Variaciones a los rangos de clasificación de la red vial nacional de Costa Rica*, Unidad de Investigación, Año 2008.

LanammeUCR. (2000). *Metodologías para la evaluación del riesgo asociado con eventos sísmicos*. Memorias de taller: Metodologías de análisis de vulnerabilidad de corredores viales ante sismo y lluvias intensas. San José, Costa Rica: Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, Universidad de Costa Rica.

Palacios, C. (2011). *Análisis sobre la Guía Mecánico Empírica AASHTO 2011*. Laboratorio GEOLAB & VialTech. Ecuador.

Paterson, W. (1986). *Road Deterioration and Maintenance Effects*. Banco Mundial. Washington, D.C., Estados Unidos de America.

Piedra Rodríguez, Jonathan. *Coefficiente de fricción de las carreteras nacionales en Costa Rica*, Proyecto final de graduación, año 2007, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica

Porras, H., Cascante, M., Granados, R., y Alvarado, G.E., 2012: *Volcano-Estratigrafía y tectónica del Valle Central occidental y las estribaciones de los Montes del aguacate a lo largo de la Ruta 27*, Costa Rica. Rev. Geol. Amér. Central, 47: 69-93.

Ruiz, P., Araúz, A., García, J., Villalobos, G., Sedó, A & Suáres, C., 2015: *Drenaje ácido de rocas en taludes de la ruta nacional 27*, San José - Caldera, Costa Rica. Rev. Geol. Amér Central, 53: 25-46 DOI: 0.15517/rgac.v53i0.21146.

Unidad de Evaluación de la Red Vial Nacional. (2011). Informe de Evaluación de la Red Vial Nacional Pavimentada de Costa Rica LM-PI-UE-05-2011. LanammeUCR.



UMTRI Research Review. The Shape of Roads to Come: Measuring and Interpreting Road Roughness Profiles. Volúmen 33. Número 1, 2002.

United States Environmental Protection Agency (USEPA) Office Of Solid Waste Special Waste Branch. 1994: Technical Document Acid Mine Drainage Prediction. Epa530-R94-036 Ntis Pb94-201829. 52 pp.

Vargas, W. "Guía para elaborar perfiles de vulnerabilidad de infraestructura vial ante amenazas naturales" LANAMME. UCR. 2002.

Vargas, W.; Garro, J. "Gestión de riesgos naturales en infraestructura vial" LANAMME. UCR. 2003.

Vargas, W.; Garro, J. "*Relación entre las características geométricas y la vulnerabilidad de algunas rutas de montaña en Costa Rica*" I Congreso Ibero-Americano de Seguridad Vial (I CISEV). Costa Rica. 2008.