



UNIVERSIDAD
DE PIURA

REPOSITORIO INSTITUCIONAL
PIRHUA

GESTIÓN DE LA CONSERVACIÓN Y BENEFICIOS DE LA APLICACIÓN DE MICROPAVIMENTO EN UNA CONCESIÓN VIAL EN EL PERÚ

Manuel Ramos-Huamán

Lima, octubre de 2018

FACULTAD DE INGENIERÍA

Máster en Ingeniería Civil con Mención en Ingeniería Vial

Ramos, M. (2018). *Gestión de la conservación y beneficios de la aplicación de micropavimento en una concesión vial en el Perú* (Tesis de Máster en Ingeniería Civil con Mención en Ingeniería Vial). Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Lima, Perú.



Esta obra está bajo una licencia

[Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

[Repositorio institucional PIRHUA – Universidad de Piura](https://repositorio.institucional.pirhua.edu.pe/)

UNIVERSIDAD DE PIURA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA MÁSTER EN INGENIERÍA CIVIL



**“GESTIÓN DE LA CONSERVACIÓN Y BENEFICIOS DE LA APLICACIÓN
DE MICROPAVIMENTO EN UNA CONCESIÓN VIAL EN EL PERÚ”**

Tesis para optar el Grado de Master en Ingeniería Civil
con mención en Vial

Ing. Manuel Mario Ramos Huamán

Asesor: Mgtr. Germán Gallardo Zevallos

Lima, Octubre 2018

A mis padres y mi hermana,
por haberme apoyado en todo.

Prólogo

Hoy en día, se cuentan con dieciséis Contratos de Concesión de carreteras a nivel nacional, de diferentes modalidades y con tendencia a aumentar la cantidad de vías concesionadas. Esto permite el crecimiento económico, conectando las diferentes poblaciones del Perú.

El objetivo de la presente tesis es evaluar los beneficios de la aplicación de micropavimento en la condición estructural, funcional y superficial de un pavimento a más de 3900 msnm. Asimismo, proponer un manual de inspección de fallas superficiales y niveles de servicio para los hastiales y bóveda de un túnel.

Además, este proyecto está orientado a ser un documento de consulta sobre la gestión de la conservación de la infraestructura vial.

Por lo expuesto, esta tesis busca aportar en los futuros Contratos de Concesiones Viales en el Perú.

Resumen

El objetivo del presente trabajo es evaluar los beneficios de la aplicación de micropavimento en la condición estructural, funcional y superficial de un pavimento a más de 3900 msnm. Asimismo, proponer un manual de inspección de fallas superficiales y niveles de servicio para los hastiales y bóveda de un túnel.

La metodología empleada es analítica, mediante el análisis de las mediciones estructurales, funcionales y superficiales del pavimento antes, durante y después de la intervención.

Por otro lado, la metodología empleada para proponer el manual de inspección de fallas superficiales en un túnel es descriptiva, mediante la exposición de recursos y metodologías para identificar y clasificar los tipos y severidad de daños.

Además, se analiza la gestión y los beneficios del mantenimiento rutinario realizado por el Concesionario para cumplir con los niveles de servicio.

Y finalmente, se analiza la gestión y beneficios del mantenimiento de emergencia realizado por el Concesionario para brindar una adecuada transitabilidad y cumplir con los niveles de servicio.

Índice

Introducción	1
Capítulo 1. Concesión del Tramo Vial Inambari – Azángaro del Proyecto Corredor Vial Interoceánico Sur, Perú – Brasil	3
1.1. Aspectos generales de la Infraestructura Vial Concesionada	3
1.1.1. Antecedentes.....	3
1.1.2. Datos generales.....	3
1.2. Objetivos de la tesis	4
1.3. Ubicación de infraestructura concesionada	4
1.4. Marco contractual para mantener los niveles de servicio	6
Capítulo 2. Mantenimiento rutinario	9
2.1. Generalidades.....	9
2.2. Gestión de la conservación rutinaria.....	10
2.2.1. Actividades de mantenimiento rutinario.....	10
2.2.2. Disposición de recursos para el mantenimiento rutinario	11
2.2.3. Evaluación de niveles de servicio.....	13
2.2.4. Resultado de las evaluaciones	14
2.3. Obligaciones contractuales del concesionario	15
Capítulo 3. Mantenimiento periódico.....	17
3.1. Generalidades.....	17
3.2. Actividades de mantenimiento periódico	18
3.2.1. Sello de fisuras y grietas.....	18
3.2.2. Aplicación de micropavimento.....	20
3.3. Análisis de beneficios del mantenimiento periódico (Micropavimento).....	25
3.3.1. Análisis y evaluación de niveles de servicio antes del mantenimiento periódico del sub tramo Km 75+300 – KM 100+480	27
3.3.2. Análisis y evaluación de niveles de servicio al término mantenimiento periódico del sub tramo Km 75+300 – KM 100+480	36
3.3.3. Análisis y evaluación de niveles de servicio un año después del mantenimiento periódico del sub tramo Km 75+300 – KM 100+480	38
3.3.4. Análisis de resultados del mantenimiento periódico en el sub tramo Km 75+300 – KM 100+480	45
3.4. Consideraciones contractuales	49

Capítulo 4. Mantenimiento de emergencia.....	51
4.1. Generalidades.....	51
4.2. Actividades de mantenimiento de emergencia	52
4.2.1. Intervenciones de mantenimiento de emergencia destinadas a limpieza de material suelto	52
4.2.2. Intervenciones de mantenimiento de emergencia destinadas a recuperar la infraestructura vial.....	52
4.2.3. Informe técnico de mantenimiento de emergencia.....	52
4.3. Análisis de actividades por mantenimiento de emergencia	53
4.3.1. Análisis y evaluación de niveles de servicio	53
4.3.2. Análisis e intervenciones de mantenimiento de emergencia destinadas a limpieza de material suelto.....	56
4.4. Consideraciones contractuales	58
Capítulo 5. Mantenimiento de túneles.....	61
5.1. Actividades de conservación en túneles	61
5.1.1. Mantenimiento rutinario en túneles.....	61
5.1.2. Reparación de señalización en túnel.....	61
5.1.3. Refuerzo estructural de túnel.....	62
5.2. Propuesta de manual de inspección y relevamiento de defectos superficiales en túneles	64
5.2.1. Estudio de la documentación disponible	64
5.2.2. Planificación de los recursos necesarios.....	64
5.2.3. Identificación, clasificación y severidad de daños	65
5.2.4. Alternativas de corrección.....	70
5.2.5. Informe de inspección	70
5.3. Propuesta de niveles de servicio	73
Conclusiones	75
Recomendaciones	79
Bibliografía	81

Índice de Tablas

Tabla 1-1 Cronograma de evaluación de niveles de servicio del regulador.....	8
Tabla 1-2 Cronograma de evaluación de niveles de servicio del concesionario.....	8
Tabla 2-1 Características de mantenimiento rutinario por cuadrilla en los frentes de trabajo. ...	12
Tabla 3-1 Dosificación de micropavimento	21
Tabla 3-2 Niveles de servicio contractual de calzada	25
Tabla 3-3 Clasificación de la serviciabilidad del pavimento.....	26
Tabla 3-4 Registro de IRI y resultado de PSI (junio 2014).....	28
Tabla 3-5 Coeficiente de resistencia al deslizamiento (CRD).....	30
Tabla 3-6 Número estructural efectivo (junio 2014).....	31
Tabla 3-7 Registro de fisuras en el sector Km 75 – Km 100.	32
Tabla 3-8 Registro de ahuellamiento en el Sector Km 75 – Km 100 (mayo 2015).	35
Tabla 3-9 Registro de IRI y resultado de PSI (junio 2015).....	36
Tabla 3-10 Coeficiente de resistencia al deslizamiento (CRD).....	37
Tabla 3-11 Registro de IRI y resultado de PSI (octubre 2016).....	39
Tabla 3-12 Coeficiente de resistencia al deslizamiento (CRD).....	40
Tabla 3-13 Número estructural efectivo (octubre 2016).....	41
Tabla 3-14 Registro de fisuras en el sector Km 75 – Km 100.	43
Tabla 3-15 Registro de ahuellamiento en el sector Km 75 – Km 100 (octubre 2016).....	44
Tabla 3-16 Parámetros de niveles de servicio.	50
Tabla 4-1 Niveles de servicio en calzada y berma	53
Tabla 4-2 Niveles de servicio en derecho de vía.....	54
Tabla 4-3 Nivel de servicio producido el evento.	54
Tabla 4-4 Nivel de servicio culminadas las intervenciones iniciales.	55
Tabla 4-5 Nivel de Servicio culminado el ITM.	55
Tabla 4-6 Registro de datos durante la limpieza de material suelto.....	56
Tabla 4-7 Recursos para atención de derrumbes y huaycos.....	58
Tabla 5-1 Niveles de severidad asociados a alteraciones superficiales.....	66
Tabla 5-2 Niveles de severidad asociados a rocas expuestas.....	66
Tabla 5-3 Niveles de severidad asociados a cavidades.....	67
Tabla 5-4 Niveles de severidad asociados a fisuras.	67
Tabla 5-5 Niveles de severidad asociados a infiltraciones de agua.....	68
Tabla 5-6 Niveles de severidad asociados a sonido hueco.....	69
Tabla 5-7 Niveles de severidad asociados a alteraciones de armadura.	69
Tabla 5-8 Alternativas de corrección.	70
Tabla 5-9 Código de defectos.....	71
Tabla 5-10 Niveles de servicio para hastiales, bóveda y portales de túnel	73

Índice de Figuras

Figura 1-1 Datos generales de la concesión.	4
Figura 1-2 Ubicación de la carretera IIRSA SUR TRAMO 4 en el Perú.....	5
Figura 1-3 Ubicación de la carretera IIRSA SUR TRAMO 4 en el Departamento de Puno.	5
Figura 2-1 Distribución de recursos.	11
Figura 2-2 Resultados de evaluaciones semestrales.....	14
Figura 2-3 Resultados de evaluaciones trimestrales.....	15
Figura 3-1 Índice de Rugosidad Internacional (IRI – junio 2014 – antes de intervención)	29
Figura 3-2 Coeficiente de resistencia al deslizamiento – antes de intervención	30
Figura 3-3 Número estructural efectivo (junio 2014 – antes de intervención).....	31
Figura 3-4 Progresión de área con fisuras.	33
Figura 3-5 Porcentaje de área con fisuras por kilómetro (antes de intervención)	34
Figura 3-6 Porcentaje de área con fisuras en el tiempo.....	34
Figura 3-7 Índice de Rugosidad Internacional (IRI – junio 2015 – después de intervención)....	37
Figura 3-8 Coeficiente de resistencia al deslizamiento – después de intervención.....	38
Figura 3-9 Índice de Rugosidad Internacional (IRI – octubre 2016 – 01 año después de intervención)	40
Figura 3-10 Coeficiente de resistencia al deslizamiento - 01 año después de intervención.....	41
Figura 3-11 Número estructural efectivo (junio 2014 - 01 año después de intervención)	42
Figura 3-12 Porcentaje de área con fisuras por kilómetro - 01 año después de intervención	43
Figura 3-13 Progresión de IRI en el tiempo por kilómetro.	45
Figura 3-14 Progresión de Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento (CRD).....	46
Figura 3-15 Progresión de Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento (CRD).....	47
Figura 3-16 Área con fisuras a lo largo del tiempo.	48
Figura 3-17 Progresión de ahuellamiento en el tiempo.....	49
Figura 4-1 Limpieza de material suelto en periodo de estiaje.....	57
Figura 4-2 Limpieza de material suelto en periodo de lluvia.....	57
Figura 5-1 Ficha 1: Relevamiento de daños.....	71
Figura 5-2 Ficha 2: Esquema de relevamiento de daños.....	72

Índice de Fotografías

Fotografía 3-1 Preparación de arena para tratamiento de grietas y fisuras.	19
Fotografía 3-2 Ruteado de grietas.	19
Fotografía 3-3 Limpieza de grietas y fisuras.....	20
Fotografía 3-4 Imprimación con emulsión asfáltica.....	20
Fotografía 3-5 Sello de grietas y fisuras con mezcla de emulsión asfáltica y arena.	20
Fotografía 3-6 Sello de grietas y fisuras con mezcla de emulsión asfáltica y arena	20
Fotografía 3-7 Máquina de micropavimentos.	22
Fotografía 3-8 Mezcla de micropavimento	22
Fotografía 3-9 Aplicación de micropavimento	23
Fotografía 3-10 Aplicación de micropavimento	23
Fotografía 3-11 Compactación con rodillo neumático.....	24
Fotografía 5-1 Trabajos de desquinche.	62
Fotografía 5-2 Limpieza de residuos.....	62
Fotografía 5-3 Aplicación de shotcrete primera capa.	63
Fotografía 5-4 Instalación de pernos.....	63
Fotografía 5-5 Instalación de malla electrosoldada.....	63
Fotografía 5-6 Aplicación de shotcrete segunda capa.....	63

Introducción

La presente tesis analiza la Gestión de Conservación de la infraestructura Vial, en la Concesión Vial del “Proyecto Corredor Vial Interoceánico Sur, Perú – Brasil, Tramo 4: Azángaro – Puente Inambari”.

En el tercer capítulo se analiza los beneficios del mantenimiento periódico en la condición estructural, funcional y superficial de un pavimento a más de 3900 msnm. El análisis consiste en:

- a) Exponer las actividades de sello de fisuras y aplicación de micropavimento, ejecutadas como mantenimiento periódico.
- b) Analizar la deflexión, rugosidad, microtextura y cantidad de área con fisuras, obtenidos en las mediciones de niveles de servicio, que se realizaron en 03 periodos:
 -) Antes de la ejecución del Mantenimiento Periódico.
 -) Al término del Mantenimiento Periódico.
 -) 01 año después del Mantenimiento Periódico.
- c) Analizar los resultados y el impacto del mantenimiento en la condición del pavimento.

En el quinto capítulo se propone un Manual de Inspección y Relevamiento de Fallas Superficiales en la Bóveda y Hastiales de un túnel. Así mismo parámetros, medidas y umbrales para medir niveles de servicio en un túnel.

En el primer capítulo se presenta las características del proyecto.

En el segundo capítulo se expone la gestión que realiza el Concesionario como mantenimiento rutinario, para el cumplimiento de niveles de servicio y obligaciones contractuales.

En el cuarto capítulo se expone la gestión que realiza el Concesionario como mantenimiento de emergencia y un análisis sobre su impacto en las obligaciones contractuales.

Finalmente se expone las conclusiones y recomendaciones.

Capítulo 1.

Concesión del Tramo Vial Inambari – Azángaro del Proyecto Corredor Vial Interoceánico Sur, Perú – Brasil

1.1. Aspectos generales de la infraestructura vial concesionada

1.1.1. Antecedentes

En enero de 2005, PROINVERSIÓN (Agencia de Promoción de la Inversión Privada), convocó a un concurso para la concesión de construcción de obras y mantenimiento de los tramos del Corredor Vial Interoceánico Sur, Perú – Brasil. En junio, del mismo año, se adjudicó la Buena Pro al ganador: Consorcio Intersur Concesiones S.A.

En agosto de 2005, el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, e Intersur Concesiones S.A., suscribieron el contrato de concesión para la construcción, conservación y explotación de la Infraestructura de servicio público del Tramo Vial del Proyecto Corredor Vial Interoceánico Sur, Perú – Brasil, Tramo 4: Azángaro – Puente Inambari, por un periodo de 25 años, 05 años de construcción y 20 años por mantenimiento y operación.

El 11 de setiembre de 2006, se inició el periodo de construcción, el cual se desarrolló en cumplimiento del Proyecto de Ingeniería de Detalle, elaborado por el concesionario y aprobado por el concedente. La construcción del tramo vial se subdividió en tres fases: primera, segunda y tercera etapa, periodo final y periodo posterior al periodo final; este último ejecutado para solucionar problemas en sectores críticos y en simultáneo con la etapa de mantenimiento.

En marzo de 2011, se suscribió la Adenda N° 07 al contrato de concesión para dar inicio de manera anticipada a la explotación y conservación de las obras de concesión. El 01 de octubre de 2011 el Concesionario inicio los trabajos de mantenimiento y operación de la vía por un periodo de 20 años.

1.1.2. Datos generales

A continuación se presenta el siguiente gráfico en el que se representan los cinco años de operación y veinte años de operación:



Figura 1-1 Datos generales de la Concesión.

1.2. Objetivos de la tesis

El objetivo principal del presente trabajo de tesis es:

-) Evaluar los beneficios de la aplicación de Micropavimento en la condición estructural, funcional y superficial de un pavimento a más de 3900 msnm. Asimismo, proponer un manual de inspección de fallas superficiales y niveles de servicio para los hastiales y bóveda de un túnel.

Los objetivos específicos son los siguientes:

-) Exponer la gestión del Concesionario para cumplir con los niveles de servicio mediante el mantenimiento rutinario.
-) Evaluar los beneficios del mantenimiento de emergencia.
-) Proponer mejoras para la elaboración de futuros contratos de concesión.
-) Ser un documento de consulta para personal técnico o estudiantil en lo que se refiere a servicios de conservación vial por niveles de servicio.

1.3. Ubicación de infraestructura concesionada

El Corredor Vial Interoceánico Sur, Perú – Brasil, Tramo 4 inicia en Azángaro en el Km 51+000 y finaliza en el puente Inambari Km 356+060, con una longitud aproximada de 305.1 Km, en el departamento de Puno.

Siendo su acceso, primero, por vía aérea o terrestre hasta la ciudad de Juliaca. Luego, se continúa por la carretera – Ruta 3S – en dirección a la salida hacia Cuzco; pasando por la localidad de Calapuja, la cual se encuentra en la progresiva Km 1,289 (progresiva hace referencia a la carretera que viene desde el Cuzco) hasta llegar al desvío que va hacia la localidad del Cuzco (Km 1,288) lado izquierdo, y la localidad de Azángaro hacia el lado derecho. Allí se inicia una nueva progresiva denominada Km 00+000 – Ruta 34B – para luego continuar hasta el Km 46+000 ingresando a la localidad de Azángaro.

El fin del tramo se encuentra en el empalme con el puente Inambari nuevo (en uso), en la progresiva km 356+100 (progresiva referencial).

La vía se encuentra ubicada en una zona de topografía variable de características de relieve plano, suavemente ondulado a preponderantemente ondulado a montañoso.

(Informe Técnico de Mantenimiento Periódico N° 13, 2016, p.13)



Figura 1-2 Ubicación de la carretera IIRSA SUR TRAMO 4 en el Perú.

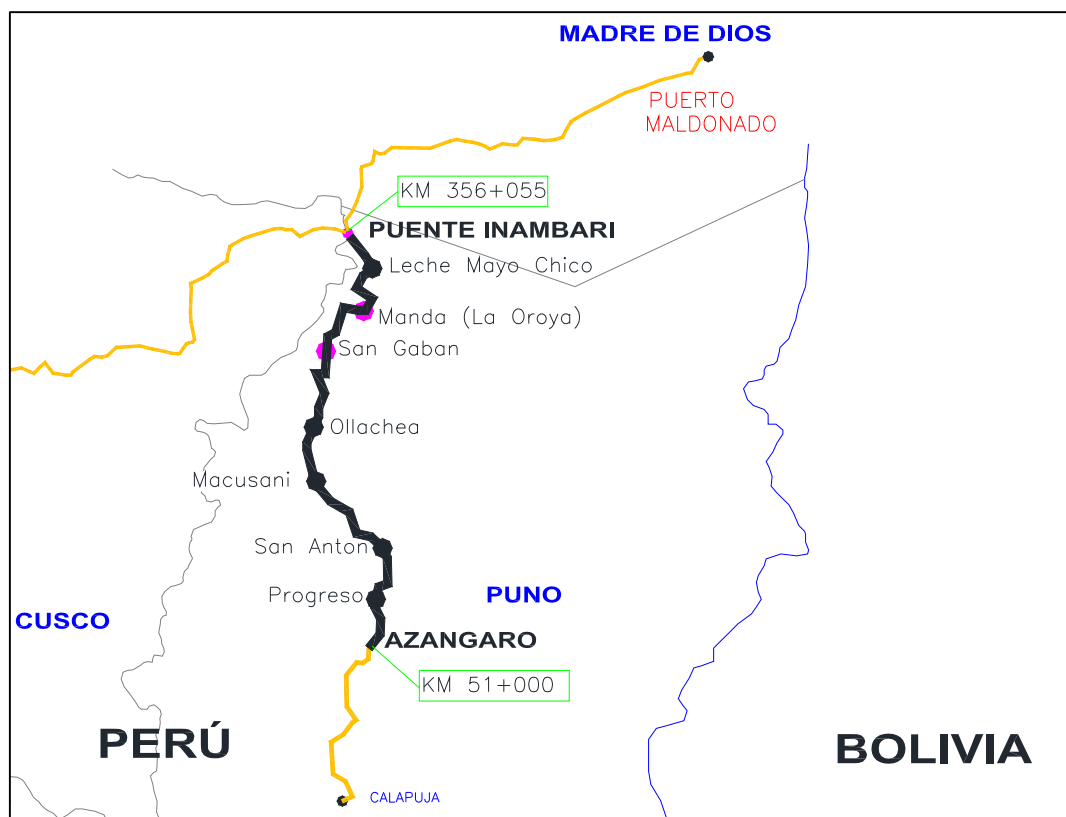


Figura 1-3 Ubicación de la carretera IIRSA SUR TRAMO 4 en el Departamento de Puno.

1.4. Marco contractual para mantener los niveles de servicio

Para la conservación y medición de los niveles de servicio, se toma como criterio contractual lo señalado en la Sección VII y Anexo I del Contrato de Conservación.

Según la Sección VII: De la conservación de las obras del contrato de concesión, se define las siguientes obligaciones del Concesionario:

“...Cláusula 7.1.

“El Concesionario se obliga a efectuar la Conservación de los Bienes Reversibles que reciba del Concedente, desde la Toma de Posesión hasta la fecha de Caducidad de la Concesión, así como respecto de otros Bienes Reversibles que incorpore o sean incorporados a la Concesión, desde el momento de la incorporación y mientras dure la vigencia del Contrato”.

Cláusula 7.2.

“El Concesionario efectuará las labores de Conservación de la infraestructura que sean necesarias para alcanzar y mantener los niveles de servicio que se encuentran establecidos en el Anexo I del presente Contrato. En la ejecución de las labores de Conservación se respetará igualmente la normatividad vigente sobre mantenimiento de vías en todo en lo que no se oponga a lo establecido en el Anexo I”.

Cláusula 7.3.

“Las labores de Conservación a efectuar por el CONCESIONARIO en el Tramo se ajustarán siempre para alcanzar los niveles de servicio indicados en el Anexo I”. ...”

(Contrato de Concesión IIRSA SUR Tramo 4, 2005, p.58)

Además, en el Anexo I del Contrato de Concesión se indica:

“...2. Conservación por Niveles de Servicio

2.1 El estado de los Bienes de la Concesión y de la infraestructura vial se expresará a través de parámetros de condición, que harán referencia a diversos aspectos: estado del pavimento, condición de los drenajes, estado de las señales, calidad de la circulación, etc. Los límites de los parámetros de condición que deberán cumplirse se denominan “niveles de servicio”.

2.2 Es obligación del Concesionario programar y ejecutar oportunamente las tareas de Conservación, de manera que en cualquier momento los niveles de servicio sean igual o esté siempre por encima de los umbrales mínimos (o debajo de los máximos) establecidos por los niveles de servicio definidos.

2.3 Para ello el Concesionario deberá monitorear los parámetros de condición y detectar aquellos cuya medida eventualmente se encuentre próxima de los límites admisibles y adoptar las medidas necesarias para su corrección oportuna, para estar siempre dentro de los niveles de servicio definidos.

2.4 El Concesionario dispondrá durante la vigencia de la Concesión, en todo momento de la estructura, organización y recursos (físicos, técnicos y administrativos), que le permitan programar y ejecutar a lo largo del período de la Concesión, las tareas de Mantenimiento Periódico, Rutinario y de Emergencia, necesarias para que la medida de los parámetros de condición se mantengan dentro de los niveles de servicio definidos.

2.5 Los niveles de servicio pueden ser referidos a aspectos particulares del estado de la superficie de rodadura, del estado de los drenajes, del estado de los elementos de seguridad, etc. En este caso se denominan "Niveles de Servicio Individuales". Por otra parte, tanto para cada tramo como para la Concesión en su conjunto, se establecen niveles de servicio que consideren todos los aspectos; a éstos se los denomina "Niveles de Servicio Globales".

2.6 Durante el plazo de Concesión el Concesionario deberá cumplir en forma permanente con los Niveles de Servicio Individuales establecidos en el Apéndice 3 del Anexo I y con los Niveles de Servicio Globales establecidos para cada tramo en el Apéndice 7 del Anexo I del Contrato de Concesión. En caso de incumplimiento se aplicarán las penalidades.

2.7 El Concedente, a través del Regulador o quien éste designe, llevará adelante las tareas de fiscalización del cumplimiento de los niveles de servicio, esto es: la medición de todos los parámetros de condición y determinar si se mantienen (a) igual o dentro de los umbrales establecidos por los Niveles de Servicio Individuales definidos en el Apéndice 3 de este Anexo I, y (b) igual o dentro de los umbrales establecidos en los Niveles de Servicio Globales definidos para cada tramo y para la Concesión en el Apéndice 7 de este Anexo I.

2.8 El cumplimiento de los Niveles de Servicio Individuales se verificarán de manera continua e inopinadamente, mientras que el cumplimiento de los Niveles de Servicio Globales se verificarán periódicamente, según lo que se indica en el Numeral 4 de este Anexo I..."

(Contrato de Concesión IIRSA SUR Tramo 4, 2005, p.160)

Las cláusulas mencionadas son adecuadas, ya que están orientan el cumplimiento del concesionario a mantener los niveles de servicio exigidos para cada uno de los elementos de la infraestructura vial, brindando de esta forma una vía segura y con buen performance ante las solicitudes de los usuarios.

El concesionario programa las actividades de mantenimiento rutinario de acuerdo a los requerimientos detallados en las cláusulas mencionadas, gestionando de forma estratégica sus recursos en diferentes puntos de la vía, de esta forma se atendería los elementos con incumplimiento de niveles de servicio en los plazos establecidos. Además, dispone de recursos de mayor envergadura para poder brindar transitabilidad ininterrumpida ante posibles eventos de emergencia, producto de las condiciones climáticas.

En esta Concesión y otras contemporáneas (año 2005), se ha evidenciado el adecuado nivel de servicio que ofrece a los usuarios de la vía, por lo que en los últimos contratos

de concesión se han mantenido estas cláusulas, modificando solamente los umbrales de nivel de servicio y los plazos de atención ante cualquier incumplimiento.

Sin embargo, es necesario indicar que el Contrato de Concesión no contempla niveles de servicio para túneles y el Manual de Conservación o Mantenimiento vial (2014) del MTC, no incluye niveles de servicio para los hastiales y bóveda de un túnel.

Para el cumplimiento de los niveles de servicio establecidos en el Contrato de Concesión, el regulador y el concesionario realizan evaluaciones a la infraestructura vial, de acuerdo a lo detallado en la Tabla 1-1 y Tabla 1-2.

Tabla 1-1 Cronograma de evaluación de niveles de servicio del regulador.

Concepto	Meses del año de la concesión											
	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul
Evaluaciones Continuas												
Evaluaciones Semestrales												
Evaluación Anual												
Supervisión de Conservación												

Fuente: Plan anual de conservación 2016-2017 del IIRSA Sur Tramo 4

Tabla 1-2 Cronograma de evaluación de niveles de servicio del concesionario.

Concepto	Meses del año de la concesión											
	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul
Evaluaciones Continuas												
Evaluaciones Trimestrales												

Fuente: Plan anual de conservación 2016-2017 del IIRSA Sur Tramo 4

Capítulo 2.

Mantenimiento rutinario

2.1. Generalidades

El mantenimiento rutinario se define como:

Básicamente los términos precisados en el volumen 1 del Manual de Conservación de Carreteras de la AIPCR/PIARC, Edición 1994, así como en el AASHTO y el Instituto del Asfalto, los mismos que hacen referencia a aquellas actividades que se realizan con el propósito de proteger y mantener en buenas condiciones de funcionalidad la infraestructura vial, a efectos de atender adecuadamente el tráfico acorde con los niveles de servicio exigidos para la vía.

Comprende, entre otras, las siguientes actividades:

-)] Limpieza y reparación, de ser el caso, de calzadas y bermas, alcantarillas, cunetas, señales, guardavías y otros elementos de la infraestructura vial.
-)] Conservación de los elementos de puentes y obras de arte.
-)] Repintado de la señalización horizontal en zonas puntuales.
-)] Replantado y arreglo de las áreas verdes.
-)] Parchados, tratamiento de fisuras, bacheos y sellado.
-)] Control de vegetación o de arena.
-)] Mantenimiento de las señales verticales.
-)] Estabilización de taludes y control de la erosión de los mismos.
-)] Control y manejo de sedimentos.

(Contrato de Concesión IIRSA SUR Tramo 4, 2005, p.17)

Operaciones requeridas en un tramo una o más veces por año. Son típicamente de pequeña escala o sencillas, pero muy dispersas y emplean personal especializado o no especializado. La necesidad de éstas puede estimarse y planearse, hasta cierto punto; y, a veces, se pueden llevar con regularidad.

(Manual Internacional de Conservación de carreteras AIPCR/PIARC, 1982, p.I-xii)

La conservación rutinaria, es el conjunto de actividades que se ejecutan dentro del presupuesto anual, está constituida por todas las actividades dentro del presupuesto anual y por todas las actividades necesarias para cuidar la seguridad del camino; y para prevenir el desarrollo de deterioros en todos los componentes de la infraestructura vial como son: pistas, puentes y túneles, señales y dispositivos de seguridad, obras de drenaje, contención de taludes, limpieza de la carretera, también el derecho de vía, etc. La conservación rutinaria trata, en todos esos componentes, de evitar y corregir cualquier deterioro que origine incomodidad o disturbe la circulación del tránsito, originando riesgos de

accidentes y mayores deterioros en la infraestructura vial. (Manual de Carreteras Mantenimiento o Conservación Vial, 2014, p. 24)

Medición.- El Concedente (MTC), mediante el Regulador, realiza en periodos trimestrales y semestrales evaluaciones de niveles de servicio en las que se verifican que el Concesionario cumpla con la gestión de conservación y mantenimiento de la infraestructura vial.

Pago.- Según el Contrato de Concesión IIRSA SUR Tramo 4 (2005), el pago por las actividades de mantenimiento rutinario es realizado a través del Pago Anual por Mantenimiento y Operación (PAMO).

2.2. Gestión de la conservación rutinaria

En el Contrato de Concesión se estableció como nivel de servicio mínimo 90%. Para el cumplimiento de este requerimiento, el Concesionario realiza actividades de mantenimiento rutinario, dispone estratégicamente sus recursos y para su verificación se realizan evaluaciones continuas, trimestrales y semestrales.

2.2.1. Actividades de mantenimiento rutinario

Con el objeto de mantener los niveles de servicio y cumplir con las obligaciones contractuales de la vía concesionada en estudio, como mantenimiento rutinario, se realizan las siguientes actividades:

-) Limpieza de calzada y berma a fin de dejar la superficie libre de obstáculos que impidan el tránsito vehicular seguro.
-) Parchado de carpeta superficial, comprende la reparación de baches y el reemplazo de áreas de pavimento que se encuentren deterioradas.
-) Limpieza de tierra, basura y escombros, que generan obstrucciones al libre escurrimiento hidráulico en alcantarillas, cunetas, cunetas de coronación, zanjas de drenaje, bordillos y drenes, evitando estancamientos perjudiciales para la infraestructura vial.
-) Limpieza de suciedad o elementos extraños, en la estructura del puente.
-) Limpieza de tierra, basura y escombros que generan obstrucciones al libre escurrimiento hidráulico en los cauces del puente.
-) Limpieza de líneas o marcas en el pavimento.
-) Reposición de las tachas deterioradas o removidas.
-) Limpieza, reparación y reposición de paneles de señales verticales.
-) Limpieza, repintado, reparación y reposición de postes, pórticos de señales verticales e hitos kilométricos.
-) Limpieza, repintado, reparación y reposición de guardavías y captafaros.
-) Limpieza, repintado, reparación y reposición de postes delineadores y sus laminas reflectivas.
-) Mantener el derecho de vía despejado de invasiones.
-) Limpieza de obstáculos, desbroce, roce y control de erosión en derecho de vía.

Las actividades que debido al Contrato de Concesión, el concesionario no considera como mantenimiento rutinario; sin embargo, el Manual de Carreteras, Mantenimiento o Conservación Vial de 2014 recomienda considerar las siguientes:

-) Desquinche manual de taludes
-) Sello de fisuras y grietas en bermas
-) Sello de fisuras y grietas en calzada
-) Parchado profundo en calzada

2.2.2. Disposición de recursos para el mantenimiento rutinario

El concesionario gestiona la conservación de la infraestructura vial en base a los siguientes documentos:

-) Inventario Vial de Bienes.
-) Plan Anual de Conservación.
-) Contrato de Concesión.
-) Plan Anual de Supervisión (Regulador).

Además ha dispuesto bases y recursos estratégicamente a lo largo de la vía como se detalla en la Figura 2-1.

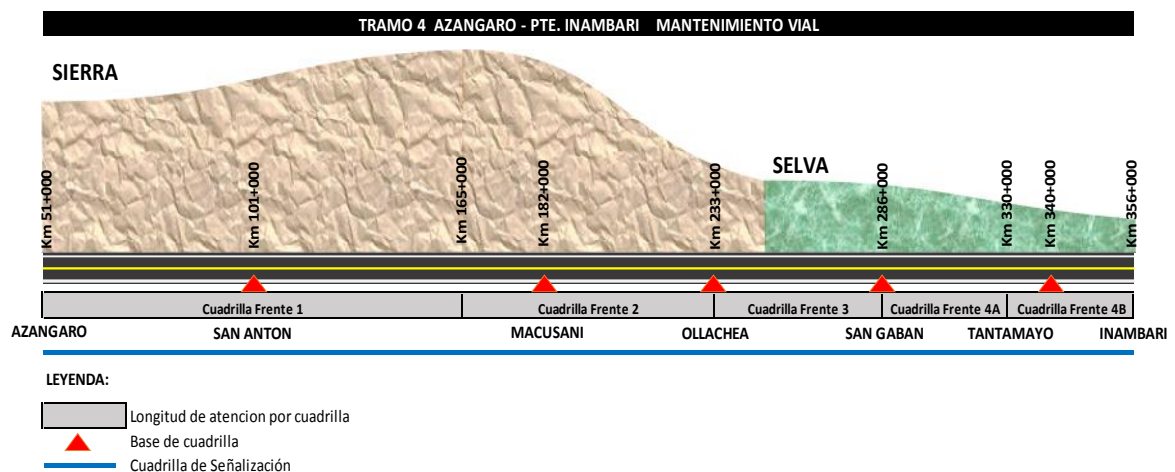


Figura 2-1 Distribución de recursos.

De los trabajos realizados como mantenimiento rutinario, se han identificado las siguientes características para cada una de las cuadrillas de mantenimiento, las mismas que se presentan en la Tabla 2-1 Características de Mantenimiento Rutinario en los frentes de trabajo.

Tabla 2-1 Características de mantenimiento rutinario por cuadrilla en los frentes de trabajo.

Descripción		Frente 1	Frente 2	Frente 3A	Frente 3B	Frente 4A	Frente 4B
Prog. Inicial		51+000	165+000	233+000	260+000	290+000	325+000
Prog. Final		165+000	233+000	260+000	290+000	325+000	356+000
Longitud (Km)		114.00	68.00	27.00	30.00	35.00	31.00
Condiciones Geográficas:							
Región		Sierra	Sierra	Sierra	Selva	Selva	Selva
Alt. Máxima (m.s.n.m.)		4,872	4,872	2,690	1,500	621	415
Alt Mínima (m.s.n.m.)		3,859	2,690	1,500	621	415	371
T° media anual (°C)		6.2	11	14.7	23.3	24.4	24.4
Precipitación anual (mm)		652	726	1360	5224	4747	4270
Periodo de Lluvia		nov - mar	nov - mar	nov - mar	nov - mar	nov – mar	nov - mar
Periodo de Estiaje		abr - oct	abr - oct	abr - oct	abr - oct	abr – oct	abr - oct
Actividades:							
1	Limp. Calzada	X	X	X	X	X	X
2	Parche de Calzada		X	X		X	X
3	Limp. Berma	X	X	X	X	X	X
4	Limp. Cunetas	X	X	X	X	X	X
5	Limp. Alcantarillas	X	X	X	X	X	X
6	Limp. De Zanjas de Drenaje	X	X	X	X	X	X
7	Limp. De Bordillos	X	X	X	X	X	X
8	Limp. Drenes	X	X	X	X	X	X
9	Limp. Guardavías	X	X	X	X	X	X
10	Limp. Señalización Vertical	X	X	X	X	X	X
11	Limp. Señalización Horizontal	X	X	X	X	X	X
12	Limp. Puentes	X	X	X	X	X	X
13	Reposición de Lam. Reflectivas en Delineadores	X	X	X	X	X	X
14	Limp. de Obstáculos	X	X	X	X	X	X
15	Desbroce y Roce			X	X	X	X
16	Limp. de Residuos	X	X	X	X	X	X
Actividades con más frecuencia		1, 4, 5, 13 y 16	1, 4, 5, 13 y 16	1, 4, 5, 9 y 16	1, 4, 5, 9,15 y 16	1, 4, 5, 9,15 y 16	1, 4, 5, 9,15 y 16
Recursos:							
Km por personal (periodo de estiaje)		11.40	6.80	6.75	5.00	3.50	3.10
Km por personal (periodo de lluvia)		9.50	5.67	5.40	4.29	2.92	2.58
Equipos (periodo de estiaje):							
1	Retroexcavadora	01				01	
2	Volquete	01				01	
3	Movilidad (Minibús)	01	01	01		01	01
4	Cisterna	01					
Equipos (periodo de lluvia):							
1	Retroexcavadora	01			01		01
2	Volquete	01			01		01
3	Movilidad (Minibús)	01	01	01		01	01
4	Cisterna	01					

Fuente: Elaboración propia

Adicional a las actividades y recursos descritos en la Tabla 2-1, el Concesionario dispone de una cuadrilla de señalización, que está conformada por personal y equipos especializados, que se encargan de recuperar el nivel de servicio en: elementos de señalización horizontal, realizando actividades de reposición de tachas y repintado de

marcas en el pavimento (en zonas puntuales); elementos de señalización vertical reparando, fabricando y reponiendo placas, hitos kilométricos y postes de soporte; y elementos de encarrilamiento y defensa, repintando y reponiendo guardavías, delineadores y parapetos de alcantarillas y muros de contención.

2.2.3. Evaluación de niveles de servicio

Para garantizar el cumplimiento de los niveles de servicio establecidos en el Contrato de Concesión, el Regulador y el Concesionario realizan las siguientes evaluaciones:

-) Evaluaciones continuas
-) Evaluaciones semestrales
-) Evaluaciones anuales

2.2.3.1 Evaluaciones continuas

Las evaluaciones continuas consisten en la identificación de algún defecto que afecte el nivel de servicio de los elementos de la infraestructura vial.

El Regulador tiene como obligación contractual, realizar evaluaciones continuas cada vez que considere conveniente, luego del resultado de la evaluación, se emite una notificación de detección de Parámetro de Condición Insuficiente (PCI).

El Concesionario, como parte de sus obligaciones contractuales y gestión de conservación, realiza evaluaciones continuas con una frecuencia semanal, al identificar algún defecto, realiza ajustes necesarios en la programación de los trabajos de conservación.

2.2.3.2 Evaluaciones semestrales y evaluaciones trimestrales

Según el Anexo I del Contrato de Concesión del IIRSA Sur Tramo 4 (2005), las evaluaciones semestrales son obligación del Regulador, se realizan con el objetivo de determinar el nivel de servicio global de la infraestructura vial.

Las evaluaciones trimestrales son obligación del Concesionario, se realizan con el objeto de determinar el nivel de servicio global y por ser una obligación contractual para efectos de percibir el PAMO.

Ambas evaluaciones de niveles de servicio se realizan para determinar el grado de cumplimiento de los mismos, y consisten en:

- a) La selección de los kilómetros a evaluar.
- b) El relevamiento de aquellos defectos localizados (parámetros de condición) sobre los bienes o elementos de la vía.
- c) Determinar cuantitativamente el nivel de servicio global.

Una vez finalizado el cálculo de niveles de servicio, el Regulador informa al Concedente y Concesionario los resultados obtenidos. El Regulador y el Concesionario

suscriben un acta con los defectos identificados en toda la vía, que son notificados por el Regulador y deberán ser atendidos por el Concesionario.

2.2.3.3 Evaluaciones anuales

Las evaluaciones anuales las realiza el Regulador, con el objetivo de determinar el nivel de servicio global de la infraestructura vial, e incluye la medición del Índice de Rugosidad Internacional (IRI) a lo largo de toda la vía.

El Regulador informa al Concedente y Concesionario los resultados obtenidos y emite al Concesionario una notificación de los defectos identificados en la vía.

2.2.4. Resultado de las evaluaciones

El Concesionario ha obtenido los siguientes resultados de nivel de servicio global, cumpliendo el mínimo requerido (90%), y evaluado semestralmente por el Regulador y trimestralmente por el Concesionario como se muestran en la Figura 2-2 y la Figura 2-3 respectivamente.

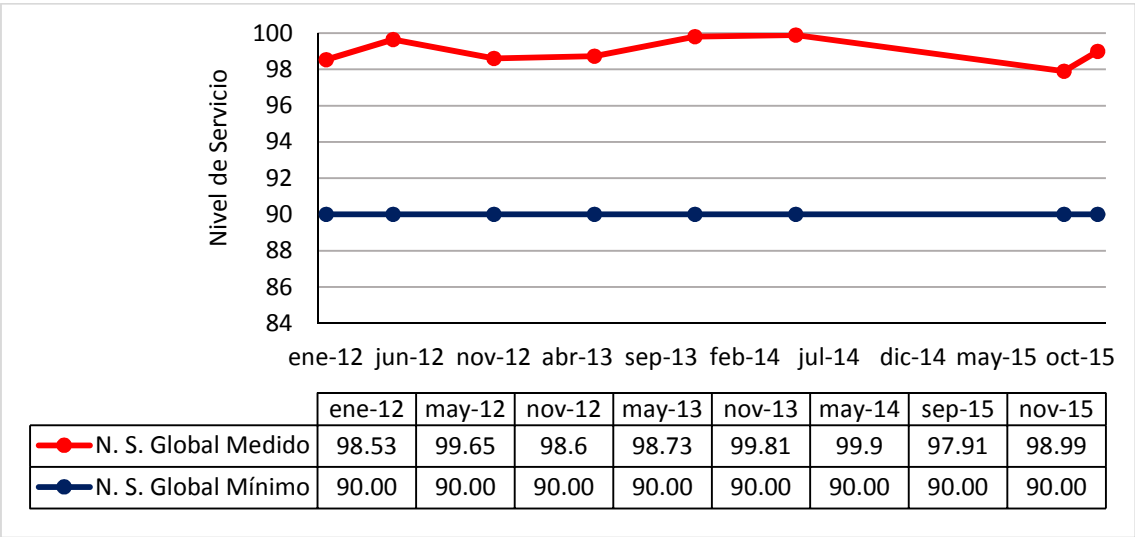


Figura 2-2 Resultados de evaluaciones semestrales

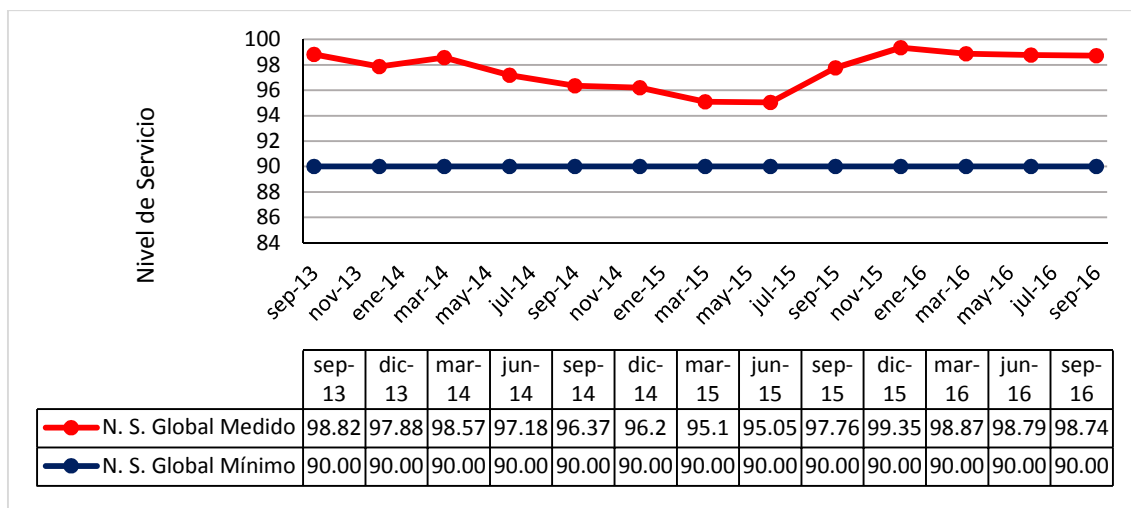


Figura 2-3 Resultados de evaluaciones trimestrales

Como se muestra en la Figura 2-2 y la Figura 2-3, en el periodo que se lleva de concesión se han cumplido con los niveles de servicio mínimos exigidos, ya que siempre se han atendido las notificación de detección de Parámetro de Condición Insuficiente (PCI) en los plazos establecidos.

2.3. Obligaciones contractuales del concesionario

Para garantizar el cumplimiento de las obligaciones contractuales, el Concesionario remite al Concedente y Regulador documentos y reportes para sustentar una adecuada gestión de conservación vial. Dichos documentos son:

Informe mensual de conservación, mantenimiento y explotación

Se remite cada mes informando sobre las actividades ejecutadas en el mes anterior, el cumplimiento del plan anual de conservación, los metrados ejecutados, reportes de caída de rocas, monitoreo de sectores críticos y afectaciones al derecho de vía.

Informe trimestral de niveles de servicio

Se remite cada cuatro tres meses informando sobre la evaluación y el cálculo de niveles de servicio realizada por el Concesionario.

Inventario vial de bienes de la concesión

Se remite al final de cada año de Concesión e incluye los bienes reversibles e irreversibles que forman parte de la infraestructura vial. Asimismo, se informa el estado de conservación y de uso de cada elemento vial. Actualmente, se está adecuando el inventario vial a los formatos que recomienda el MTC en el Manual de Inventarios Viales.

Plan anual de conservación

Se remite una vez al año, antes del inicio de un nuevo año de Concesión, e incluye los objetivos a alcanzar, descripción de la gestión de la conservación vial, los procedimientos de conservación, evaluaciones y cronograma referencial de conservación.

Plan de contingencias

Se remite en ocasiones extraordinarias como días festivos o ante la posibilidad de que ocurran eventos climatológicos de gran magnitud, e incluye la descripción de los recursos con los que cuenta el Concesionario ante posibles eventualidades.

Informe anual de gestión ambiental

Se remite una vez al año, e incluye problemas ambientales registrados durante el periodo de conservación, propuestas de solución y eficacia de las nuevas medidas de mejoramiento ambiental adoptadas.

Cabe indicar que, como parte de las actividades de operaciones, el Concesionario remite los siguientes documentos:

-) Informe sobre infracciones al control de pesos y dimensiones vehiculares.
-) Informe trimestral de recaudaciones de peajes.
-) Reporte mensual de tráfico vehicular por estación de peaje.
-) Reporte mensual de recaudación de peajes.
-) Reporte mensual de reclamos.
-) Reporte mensual de accidentes de tránsito.
-) Reporte mensual de llamadas de emergencia.
-) Reporte mensual de auxilio mecánico y remolque con grúa.
-) Reporte mensual de asistencia médica.
-) Reporte mensual de incidentes ambientales.
-) Reporte mensual de conflictos socio ambientales.

Capítulo 3.

Mantenimiento periódico

3.1. Generalidades

Definición.- El Mantenimiento periódico se define como:

Básicamente, los términos precisados en el volumen 1 del Manual de Conservación de Carreteras de la AIPCR/PIARC, Edición 1994, así como en el AASHTO y el Instituto del Asfalto, los mismos que hacen referencia a tareas de mantenimiento mayor preventivas, que se efectúan con el propósito de asegurar la funcionalidad e integralidad del camino tal como fue diseñado. Son tareas previsibles en el tiempo, periódicas, cuya ejecución es determinada por la inadecuación de algún índice que establece las capacidades estructurales y funcionales de la vía, comprende entre otras, la renovación del pavimento (revestimiento de asfalto delgado; tratamiento superficial o capa de resellado, riego niebla, lechada bituminosa u otros); mantenimiento de la rugosidad del pavimento, mantenimiento de alcantarillas, cunetas, obras de arte y de señalizaciones, así como seguridad vial complementaria.
(Contrato de Concesión IIRSA SUR Tramo 4, 2005, p.18)

Las operaciones requeridas ocasionalmente en un tramo de carretera, normalmente, son de gran escala y requieren equipo y recursos especializados. Estas operaciones son costosas, precisan identificación específica y planeamiento. Como *periódicas*, se van a considerar ciertas mejoras, como la extensión de capas bituminosas delgadas.
(Manual Internacional de Conservación de Carreteras AIPCR/PIARC, 1982, p.I-xii)

La conservación periódica es de naturaleza distinta, mayormente está referida a las condiciones que se requiere recuperar en los elementos que conforman lo que en el Perú se denomina las calzadas y las bermas de la carretera; así como correcciones puntuales generadas por alguna inestabilidad en los terraplenes que producirán, posiblemente, pequeños hundimientos y que requerirán recuperación localizada de la plataforma, de la superficie de rodadura y de las obras complementaria.
(Manual de Carreteras, Mantenimiento o Conservación Vial, 2014, p. 25)

Medición.- El Regulador deberá verificar y emitir una opinión favorable que se hayan alcanzado a ejecutar todos los metrados planteados en el ITMP. Asimismo, deberá verifica que se hayan cumplido con las especificaciones técnicas de los servicios ejecutados.

Pago.- Según el Contrato de Concesión IIRSA SUR Tramo 4 (2005), el pago por las actividades de mantenimiento periódico será igual al monto de suma alzada, aprobada por el Concedente.

3.2. Actividades de mantenimiento periódico

En el tramo de concesión en estudio, para recuperar los niveles de servicio, como el mantenimiento periódico, se han ejecutado las siguientes actividades:

-) Sello de fisuras y grietas.
-) Tratamiento superficial en el pavimento con micropavimento.
-) Repintado de marcas en el pavimento.
-) Reposición de elementos de señalización (superior al 1%).

En la presente tesis, nos enfocaremos en describir y analizar los beneficios de las actividades de sello de fisuras y grietas, y aplicación de micropavimento; en la condición estructural, funcional y superficial del pavimento del Sector Asillo (Km 75+300) – San Antón (100+480) a más de 3900 msnm. con climas variables entre -20 a 25° C en un día.

El pavimento en el que investigamos los beneficios que se han obtenido mediante la aplicación de micropavimento:

-) Sector a más de 3900 msnm.
-) Pavimento de mezcla asfáltica en caliente.
-) Antigüedad de 10 años.
-) Espesor de 7.5 cm.
-) Clima propio de la sierra peruana, con lluvias intensas entre noviembre y marzo de cada año, temperaturas bajas entre mayo y julio de cada año, con alto gradiente térmico.
-) Según el último estudio de tráfico, se registró un IMD de 1034 vehículos.

El mantenimiento periódico se realizó con el objeto de mitigar la expansión de fisuras existentes y mejorar el coeficiente de fricción en la superficie del pavimento, asimismo rejuvenecer y alargar la vida del pavimento.

3.2.1. Sello de fisuras y grietas

Para identificar el tipo de tratamiento que debe recibir este defecto del pavimento, se clasificaron las fisuras y grietas en el sector de acuerdo al siguiente criterio:

-) Fisuras: abertura o ancho hasta 5 mm
-) Grietas: abertura o ancho mayor a 5 mm

En cumplimiento a la especificación técnica particular 415.A Tratamiento de fisuras con emulsión asfáltica modificada, se realizó con la mezcla de emulsión asfáltica y arena; mediante el siguiente procedimiento:

- Se realizó la limpieza del área de trabajo con aire a presión en un ancho no menor de 20 cm a lo largo de la fisura.
- Una vez efectuada la limpieza, se ejecutó una imprimación a lo largo de la fisura con emulsión asfáltica.
- Seguidamente se llenó las fisuras con la mezcla de emulsión asfáltica catiónica BP-CSS-1HP y arena, garantizando una penetración adecuada.

En cumplimiento a la especificación técnica particular 415.B Tratamiento de grietas con mezcla de arena emulsión, se realizó con la mezcla de emulsión asfáltica y arena, mediante el siguiente procedimiento:

- Mediante una máquina ruteadora se canalizó las grietas en una sección 1:1 ancho-profundidad.
- Luego, se realizó la limpieza del área de trabajo con aire a presión en un ancho no menor de 20 cm a lo largo de la fisura.
- Una vez realizada la limpieza, se efectuó una imprimación a lo largo de la grieta con emulsión asfáltica.
- Seguidamente, se llenó las grietas con la mezcla emulsión asfáltica catiónica BP-CSS-1HP y arena, garantizando una penetración adecuada.
- Finalmente, se cubrió con arena las grietas selladas.

Los trabajos de sello de grietas y fisuras se realizaron desde el 29 de diciembre de 2014 hasta el 02 de febrero de 2015, entre las 8:30 a.m. y 04:00 p.m. en condiciones climáticas favorables (temperatura mayor a 1° centígrado), sin presencia de lluvias, con rendimiento promedio de 1426 ml y 983 ml para sello de fisuras y grietas respectivamente.

Los trabajos de sello de fisuras y grietas se desarrollaron con normalidad. Estos trabajos complementados con aplicación de micropavimento han sido adecuados para mitigar la severidad y expansión de daño.

A continuación se presenta un panel fotográfico que representa la ejecución de las actividades.





Fotografía 3-3 Limpieza de grietas y fisuras.



Fotografía 3-4 Imprimación con emulsión asfáltica.



Fotografía 3-5 Sello de grietas y fisuras con mezcla de emulsión asfáltica y arena.



Fotografía 3-6 Sello de grietas y fisuras con mezcla de emulsión asfáltica y arena

3.2.2. Aplicación de micropavimento

En cumplimiento a la Especificación Técnica Particular 404.B Tratamiento superficial con micropavimento, para la preparación del micropavimento se usó los siguientes materiales:

- J Emulsión asfáltica catiónica de rotura controlada CQS-1HP, que cumple con la especificación ASTM D-2397. Para mejorar las características del asfalto residual tales como: resistencia a la deformación permanente a altas temperaturas, flexibilidad a baja temperatura, mayor resistencia a la fatiga y al agua, al que se suma una mejor cohesión y adhesión. Se modificó la emulsión asfáltica con la adición de polímeros, cauchos sintéticos SBR (“Styrene Butadiene Rubber”), en proporciones entre el 3.5 y 5% de látex de caucho sintético SBR.
- J Agregados, se empleó material pasante la malla de 3/8”, 100 % chancado, limpio, anguloso, libre de químicos, arcillas y otras materias que pudieran afectar su adherencia, mezclado y colocación, su granulometría cumple con la banda granulométrica Tipo III especificado en la sección 425 del Manual de Especificaciones Técnicas Generales EG-2013.

-) Filler mineral, para el proyecto se empleó cemento portland Tipo HE de alta resistencia inicial, cuyas características son bastante similares al Tipo I, fabricado por la empresa YURA, según Norma NTP 334.082 (ASTM C-1157).
-) Agua, se usó agua potable, libre de productos químicos dañinos o reactivos.

En cumplimiento a la Especificación Técnica Particular 404.B Tratamiento superficial con micropavimento, para el esparcido de micropavimento se realizó:

- a) Ejecutados los trabajos de sello de fisuras y grietas, se continúa a realizar la limpieza de la superficie del pavimento mediante barrido y aire a presión, con el objeto de eliminar la mayor cantidad de polvos y materiales nocivos al mortero.
- b) A lo largo de la vía se realiza el riego de agua previo a la aplicación de micropavimento.
- c) Una vez que los componentes del micropavimento son mezclados se inicia el proceso de ruptura de la mezcla. El tendido del micropavimento sobre la vía se realizó entre 120 y 300 segundos después de iniciado el mezclado, durante el cual la mezcla permanecía fluida y pudo ser distribuida sobre la superficie. Una vez colocado sobre la vía el micropavimento, como parte del proceso de rotura, el agua clara es liberada. La terminación del proceso químico de ruptura se logró cuando la coloración de la mezcla cambia de café a negro en pocos minutos. Se aplicaron dosificaciones promedio de 13.87 Kg de mezcla por metro cuadrado, alcanzando una altura promedio de 1 cm y con la dosificación indicada en la Tabla 3-1.

Tabla 3-1 Dosificación de micropavimento

Descripción	Dosificación	Unidades
Arena chancada	1.00	m3
Emulsión	56.7	Gln/m3
Agua de recubrimiento	43.3	Gln/m3
Filler (Cemento Portland Tipo I)	32.8	Kg/m3

Fuente: Elaboración propia

- d) Una vez aplicado el micropavimento, se esperó 4 horas para realizar trabajos de compactación con rodillo neumático autopropulsado y 2 horas más para liberar el tránsito de la vía.

Los trabajos de aplicación de micropavimento se realizaron entre las 8:30 a.m. y 04:00 p.m. en condiciones climáticas favorables, sin presencia de lluvias y temperaturas mayores a 1° C, con rendimiento promedio de 832 m2 para tendido en un día. A continuación, se presenta un panel fotográfico sobre la ejecución del tratamiento.



Fotografía 3-7 Máquina de micropavimentos.



Fotografía 3-8 Mezcla de micropavimento



Fotografía 3-9 Aplicación de micropavimento



Fotografía 3-10 Aplicación de micropavimento



Fotografía 3-11 Compactación con rodillo neumático.

Cabe indicar que durante la aplicación del tratamiento superficial en la vía, se realizaron los siguientes controles de calidad:

-) Control de equivalente de arena en acopio, como mínimo dos ensayos por jornada de trabajo.
-) Control de granulometría en acopio, como mínimo dos ensayos por jornada de trabajo.
-) Control de tasa de aplicación de agregado en la vía, peso por metro cuadrado.
-) Control de lisura de la vía (desnivel máximo 6 mm) medido con una regla de 3 m, se controlaron los empalmes de cada jornada de trabajo.
-) Control de la temperatura ambiente y de la superficie de la vía.

3.3. Análisis de beneficios del mantenimiento periódico (Micropavimento)

En este ítem analizaremos los beneficios de intervenir con micropavimento en un pavimento a más de 3900 msnm, con respecto a:

-) Condición estructural (no es un parámetro contractual)
-) Condición funcional:
 - ✓ Índice de rugosidad internacional (Nivel de servicio contractual)
 - ✓ Fricción superficial (no es un parámetro contractual)
-) Condición superficial:
 - ✓ Huecos (Nivel de servicio contractual)
 - ✓ **Fisuras (Nivel de servicio contractual)**
 - ✓ Parches (Nivel de servicio contractual)
 - ✓ Ahuellamiento (Nivel de servicio contractual)

Cabe señalar que los niveles de servicio para la calzada, establecidos en el Contrato de la Concesión en estudio son:

Tabla 3-2 Niveles de servicio contractual de calzada

Parámetro	Medida	Nivel de Servicio
Huecos	Porcentaje máximo de área con huecos	0%
Fisuras	Porcentaje máximo de área con fisuras con nivel de severidad alto	0%
	Porcentaje máximo de área con fisuras con nivel de severidad medio sin sellar	15%
Parches	Porcentaje máximo de parches en mal estado (niveles de severidad medio o alto)	0%
Ahuellamiento	Porcentaje máximo de área con ahuellamiento mayor que 12 mm	0%
Rugosidad durante el periodo de conservación	Rugosidad media deslizante máxima, con un intervalo de 1km (TSB c/sellado)	3.50 IRI, con una tolerancia de 15%

Fuente: Contrato de Concesión IIRSA Sur Tramo 4

Asimismo, analizaremos los niveles de servicio antes y después de que el Concesionario ejecute intervenciones de mantenimiento periódico, con respecto a lo indicado en el Manual de Conservación o Mantenimiento Vial del MTC, específicamente para una carretera de segunda clase, ya que según estudios de tráfico realizados en 2014 y 2016 el Índice Medio Diario (IMD) es 844 y 1034 vehículos respectivamente.

Para ello, enfocaremos nuestro análisis en la evaluación funcional, estructural y superficial del sub tramo en estudio, específicamente los parámetros de fisuras, ahuellamiento, IRI y fricción superficial; realizados por el Concesionario en diferentes periodos.

a) Evaluación de condición funcional

Para determinar la condición funcional del pavimento existente, se analizarán los parámetros de rugosidad y fricción superficial que reflejan el nivel de comodidad, seguridad y costos de operación de los usuarios al transitar por la vía.

Índice de rugosidad internacional (IRI)

La rugosidad se mide usualmente en términos del Índice de Rugosidad Internacional (IRI) y puede ser definida como las alteraciones del perfil longitudinal de la vía que provocan vibraciones en los vehículos que la recorren. Dichas alteraciones o irregularidades, no solo provocan efectos dinámicos nocivos en los vehículos; sino también en el pavimento, modificando el estado de esfuerzos y deformaciones en la estructura de la vía, lo que produce también incrementos en las actividades posteriores de conservación y rehabilitación.

Con el objeto de medir la serviciabilidad del sub tramo se calculó el indicador denominado Índice de Serviciabilidad Presente (PSI) en función del IRI, ya que se considera que la rugosidad tiene el mayor efecto en la evaluación de los usuarios de la calidad de rodado de un pavimento. Para ello, se empleó la ecuación establecida por el modelo HDM-III (Paterson, 1987) de la siguiente forma:

$$PSI_{HDM-III} = 5e^{(-IRI/5.5)} \dots\dots\dots \text{Expresión 3.1}$$

Donde:

IRI: Índice de Rugosidad Internacional

PSI: Índice de Serviciabilidad Presente

El estado del pavimento se evaluó en función de los valores de PSI que varía entre 0 y 5, donde una calificación de 0 significa que la vía es intransitable y un valor de 5 representa una superficie perfecta, de acuerdo con los rangos presentados en la Tabla 3-3.

Tabla 3-3 Clasificación de la serviciabilidad del pavimento

c	Calificación
5.0 – 4.0	Muy buena
4.0 – 3.0	Buena
3.0 – 2.0	Regular
2.0 – 1.0	Mala
1.0 – 0.0	Muy mala

Fuente: Tesis Análisis del IRI para un proyecto de carretera sinuosa concesionada en el Perú.

Fricción superficial

La fricción del pavimento es la fuerza que resiste al movimiento relativo entre el neumático del vehículo y la superficie del pavimento. Esta fuerza de resistencia se genera cuando el neumático o rueda se desliza sobre la superficie del pavimento.

La fricción superficial es una de las cualidades funcionales más relevantes del pavimento y dadas las características del sub tramo, con presencia de lluvias intensas estacionales, heladas y nevadas que influyen como causa de accidentes de tránsito por la pérdida de adherencia superficial.

En el contrato de concesión no existe un parámetro para medir el coeficiente de fricción superficial, por lo que mediremos los valores de Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento CRD mínimo recomendados en la EG-2013 CRD y en el Manual de Conservación o Mantenimiento Vial de 0.45 y 0.50 respectivamente, indicado para la superficie de pavimentos de concreto asfáltico.

Analizaremos y evaluaremos la progresión de ambos parámetros con el paso del tiempo y el impacto que generó la aplicación del tratamiento superficial con micropavimento.

b) Evaluación de condición estructural

La evaluación estructural de pavimentos consiste básicamente en la determinación de la capacidad portante del sistema pavimento-subrasante en una estructura vial existente, en cualquier momento de su vida de servicio, para establecer las necesidades de intervención cuando el pavimento se acerca al fin de su vida útil o, cuando va a cambiar su función. La evaluación mediante metodología no destructiva (medición de deflexiones) es un proceso de cálculo inverso que utiliza la respuesta del sistema para establecer las características estructurales del pavimento y para cuantificar sus necesidades de intervención.

Siendo que la condición estructural del pavimento no es un parámetro a evaluar en los niveles de servicio establecidos en el Contrato de Concesión, en la presente tesis realizaremos un análisis sobre la progresión del Número Estructural Efectivo (SNeF) con el paso del tiempo y su relación con la aplicación del tratamiento superficial micropavimento.

c) Evaluación de condición superficial

Para determinar la condición superficial del sub tramo en la presente tesis, se evaluarán y analizarán los defectos de fisuras y ahuellamiento en la superficie de la vía.

Con los datos medidos podremos determinar el cumplimiento del nivel de servicio contractual y el indicado en el Manual de Conservación y Mantenimiento Vial.

Asimismo, realizaremos un análisis sobre la progresión de estos defectos con el paso del tiempo y su relación con la aplicación del tratamiento superficial micropavimento.

3.3.1. Análisis y evaluación de niveles de servicio antes del mantenimiento periódico del Sub Tramo Km 75+300 – KM 100+480

Antes del tratamiento superficial con micropavimento, se ha realizado la evaluación funcional, estructural y superficial del Sector Km 75+300 – Km 104+480, en la que se registraron mediciones en los parámetros IRI, coeficiente de fricción, deflectometría, fisuras y ahuellamiento. A continuación, evaluaremos el cumplimiento de los niveles de servicio.

3.3.1.1 Evaluación de condición funcional

Índice de Rugosidad Internacional (IRI)

En junio de 2014, se realizó la medición de rugosidad mediante el uso de un Perfilometro Láser, con el cual cada 20 m. se midió y registro el IRI en cada huella. El valor de IRI en cada carril está dado por el promedio de rugosidad que presenta cada huella.

En la Tabla 3-4 se presenta el registro de IRI por carril, el promedio de ambos y el resultado de PSI obtenido a partir de la expresión 3.1 y Tabla 3-3.

Tabla 3-4 Registro de IRI y resultado de PSI (junio 2014)

Inicio (Km)	Final (Km)	IRI Carril Izquierdo	IRI Carril Derecho	IRI Promedio	PSI	Estado de Pavimento
75+300	76+000	1.12	1.43	1.27	3.97	Bueno
76+000	77+000	1.33	1.44	1.39	3.89	Bueno
77+000	78+000	1.26	1.21	1.24	3.99	Bueno
78+000	79+000	1.09	0.96	1.02	4.15	Muy bueno
79+000	80+000	1.02	0.97	1.00	4.17	Muy bueno
80+000	81+000	1.19	1.26	1.23	4.00	Muy bueno
81+000	82+000	0.90	0.95	0.93	4.22	Muy bueno
82+000	83+000	0.96	0.91	0.94	4.22	Muy bueno
83+000	84+000	1.00	0.95	0.97	4.19	Muy bueno
84+000	85+000	1.14	0.93	1.03	4.14	Muy bueno
85+000	86+000	1.10	1.05	1.08	4.11	Muy bueno
86+000	87+000	1.50	1.45	1.47	3.83	Bueno
87+000	88+000	1.25	1.28	1.27	3.97	Bueno
88+000	89+000	1.11	1.13	1.12	4.08	Muy bueno
89+000	90+000	1.26	1.24	1.25	3.98	Bueno
90+000	91+000	1.17	1.10	1.13	4.07	Muy bueno
91+000	92+000	1.25	1.12	1.19	4.03	Muy bueno
92+000	93+000	1.41	1.38	1.39	3.88	Bueno
93+000	94+000	1.65	1.59	1.62	3.73	Bueno
94+000	95+000	1.41	1.43	1.42	3.86	Bueno
95+000	96+000	1.51	1.33	1.42	3.86	Bueno
96+000	97+000	1.59	1.31	1.45	3.84	Bueno
97+000	98+000	1.49	1.60	1.55	3.77	Bueno
98+000	99+000	1.38	1.26	1.32	3.93	Bueno
99+000	100+000	1.57	1.51	1.54	3.78	Bueno
100+000	100+480	1.78	1.86	1.82	3.59	Bueno
PROMEDIO		1.29	1.26	1.27	3.97	Bueno

Fuente: Elaboración propia

Con los resultados obtenidos de la medición de IRI, en junio de 2014, que se muestran en la Tabla 3-4, el sub tramo en estudio no ha alcanzado el umbral de nivel de servicio establecido en el Contrato de Concesión (IRI máx.= 3.5) y lo indicado en el Manual de Conservación o Mantenimiento Vial del MTC (IRI máx. =3.7), como se representa en el gráfico 3.13:

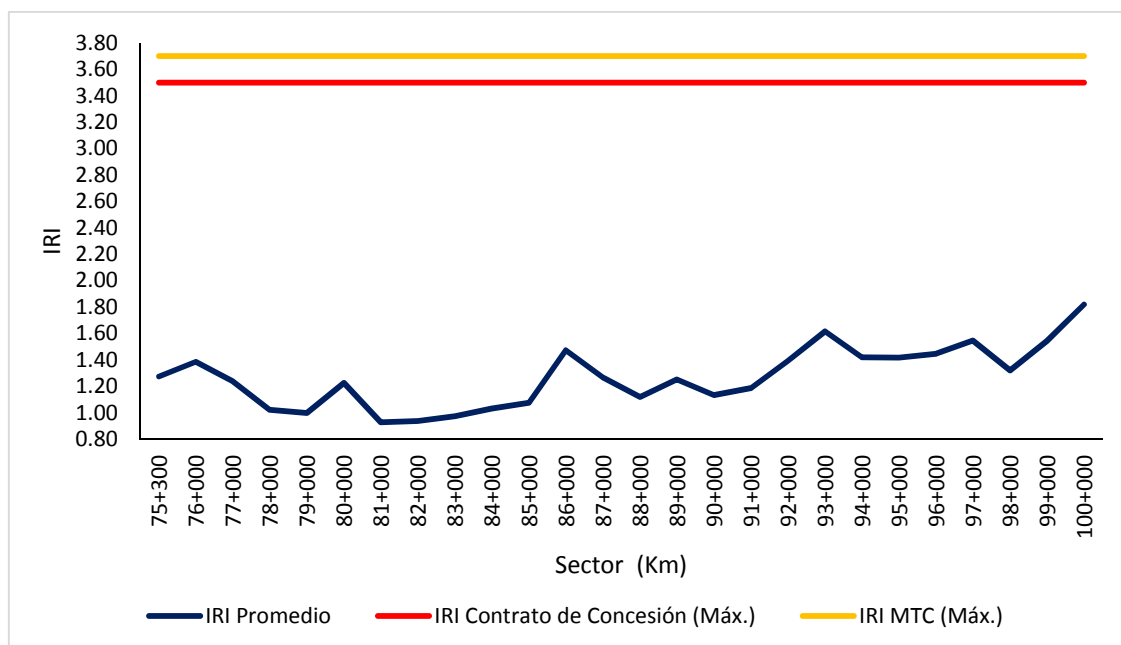


Figura 3-1 Índice de Rugosidad Internacional (IRI – junio 2014 – antes de intervención)

Fricción superficial

La medición del Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento (CRD) se realizó de forma puntual, con el péndulo británico de fricción, marca SK Modelo 1085.

Los ensayos de CRD se realizaron de acuerdo a la Norma ASTM E-303, para cada carril, tomando secciones aproximadamente a cada 2 Km, con medidas en tres puntos: a 20 cm del borde, en la huella y en el eje de cada carril. En la Tabla 3-5 se presentan los resultados obtenidos:

Tabla 3-5 Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento (CRD)

Progresiva (Km)	Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento (CRD)			
	Eje	Huella	Borde	Promedio
75+340	0.33	0.32	0.32	0.32
77+250	0.35	0.32	0.39	0.35
79+000	0.32	0.35	0.35	0.34
81+100	0.33	0.31	0.35	0.33
83+000	0.30	0.30	0.34	0.31
85+540	0.32	0.31	0.33	0.32
87+400	0.31	0.30	0.34	0.32
89+000	0.29	0.26	0.29	0.28
91+080	0.32	0.30	0.32	0.31
93+300	0.31	0.30	0.30	0.30
95+300	0.30	0.31	0.32	0.31
97+400	0.31	0.31	0.31	0.31
99+400	0.34	0.34	0.35	0.34
Promedio	0.32			

Fuente: Elaboración propia

El Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento (CRD) no es un parámetro establecido en el contrato de concesión, sin embargo en el Manual de Conservación o Mantenimiento Vial del MTC indica como valor mínimo (CRD=0.50) y en el Manual de Especificaciones Técnicas Generales del MTC indica el valor mínimo (CRD=0.45); siendo que este es un parámetro importante para la seguridad del usuario de la vía ante posibles accidentes vehiculares, verificando si se cumple con lo indicado en los manuales del MTC. Los valores obtenidos de CRD son menores al valor mínimo que establece el MTC y que se representan en la Figura 3-2.

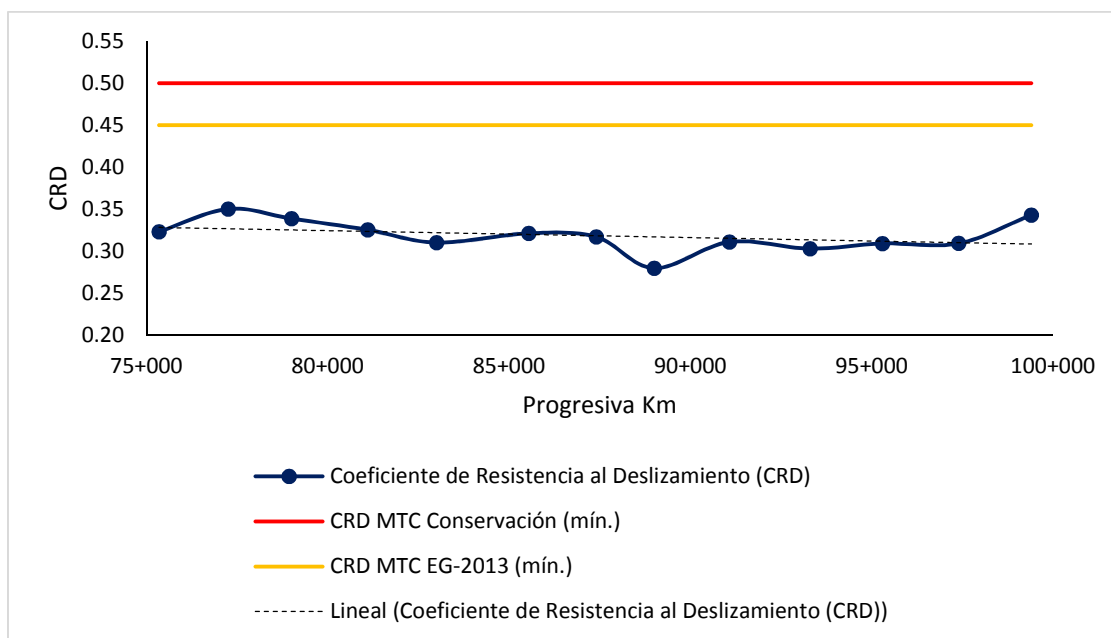


Figura 3-2 Coeficiente de resistencia al deslizamiento – antes de intervención

3.3.1.2 Evaluación de condición estructural

En junio de 2014, se realizaron las mediciones de deflectometría en el pavimento por medio de un grupo de geófonos distanciados a 0, 0.20, 0.45, 0.60, 0.90 y 1.20 m del centro de la aplicación de carga, empleando el equipo deflectómetro de impacto (Heavy Falling Weight Deflectometer, HWD) cada 500 m.

Para conocer el estado estructural del pavimento se calculó el número estructural efectivo (SNef), a partir de los datos de deflexiones obtenidos en campo, según lo recomendado por la metodología AASHTO 93. En la Tabla 3-6 y la Figura 3-3 se presentan el cálculo de Número Estructural Efectivo obtenido.

Tabla 3-6 Número estructural efectivo (junio 2014)

Nº	Progresiva Inicial (Km)	Progresiva Final (Km)	Longitud (km)	SNef 2014
1	75+300	78+000	2.70	4.62
2	78+000	87+000	9.00	4.82
3	87+000	91+000	4.00	4.41
4	91+000	98+000	7.00	4.58
5	98+000	100+480	2.48	4.75

Fuente: Elaboración propia

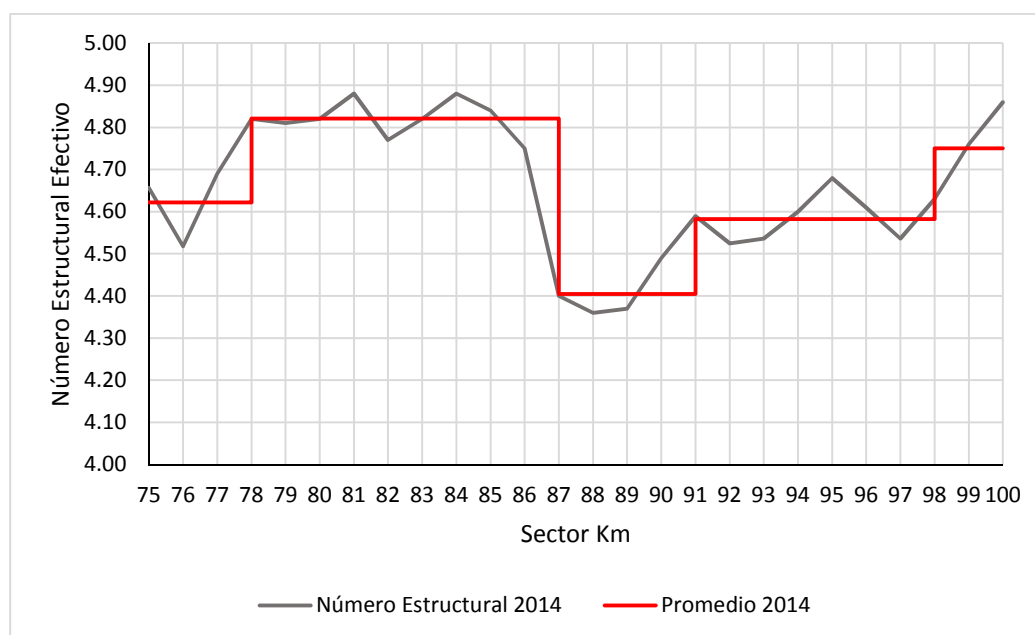


Figura 3-3 Número estructural efectivo (junio 2014 – antes de intervención)

El número estructural efectivo no es un parámetro de nivel de servicio contractual, sin embargo es un parámetro intrínseco en la evaluación de pavimentos, y tiene como finalidad evaluar la necesidad de refuerzos estructurales; los resultados obtenidos los comparamos con el número estructural requerido, que se obtiene a partir del ESAL actual y proyectado de la vía, siendo en este caso 2.77 para el año 2014 y 3.49 para el año 2020. De lo expuesto y la Tabla 3-6 podemos concluir que hasta el año 2020 el pavimento del sector en estudio no necesita un refuerzo estructural.

3.3.1.3 Evaluación de condición superficial

Fisuras

Las fisuras del sub tramo en estudio se midieron mediante una inspección visual, empleando una cinta métrica y odómetro para registrar la longitud y espesor, en la que se identificó el tipo de falla, entre ellas: piel de cocodrilo, fisuras longitudinales y transversales.

La medición se realizó en tres periodos: enero de 2013, junio de 2014 (al elaborar el informe técnico de mantenimiento periódico) y en febrero 2015 (antes de la ejecución del ITMP). Registrando la longitud de fisuras con espesor mayor a 2 mm, multiplicando la longitud de la fisura por un ancho de influencia de 0.30 cm, se obtuvo el área afectada en m², como se muestra la Tabla 3-7 Registro de fisuras en el sector Km 75+300 – Km 100+480.

Tabla 3-7 Registro de fisuras en el sector Km 75 – Km 100.

Inicio Km	Final Km	Área Total (m ²)	Met Ene 2013 (m ²)	Met Jun2014 (m ²)	Met Feb 2015 (m ²)	Met Ene 2013 (%)	Met Jun 2014 (%)	Met Feb 2015 (%)
75+300	76+000	5670	121.530	273.042	932.499	2.14%	4.82%	16.45%
76+000	77+000	8100	93.330	205.260	336.792	1.15%	2.53%	4.16%
77+000	78+000	8100	171.930	426.864	1237.434	2.12%	5.27%	15.28%
78+000	79+000	8100	178.230	405.900	607.260	2.20%	5.01%	7.50%
79+000	80+000	8100	155.330	183.066	516.327	1.92%	2.26%	6.37%
80+000	81+000	8100	57.330	65.995	97.740	0.71%	0.81%	1.21%
81+000	82+000	8100	45.630	56.468	110.190	0.56%	0.70%	1.36%
82+000	83+000	8100	89.530	93.729	169.200	1.11%	1.16%	2.09%
83+000	84+000	8100	105.130	122.364	213.300	1.30%	1.51%	2.63%
84+000	85+000	8100	281.930	333.837	458.100	3.48%	4.12%	5.66%
85+000	86+000	8100	104.130	107.910	213.000	1.29%	1.33%	2.63%
86+000	87+000	8100	426.330	489.632	765.780	5.26%	6.04%	9.45%
87+000	88+000	8100	128.230	192.654	442.050	1.58%	2.38%	5.46%
88+000	89+000	8100	165.130	192.971	183.510	2.04%	2.38%	2.27%
89+000	90+000	8100	54.430	154.440	174.900	0.67%	1.91%	2.16%
90+000	91+000	8100	43.730	344.784	516.300	0.54%	4.26%	6.37%
91+000	92+000	8100	110.430	665.940	1085.430	1.36%	8.22%	13.40%
92+000	93+000	8100	112.430	799.260	1901.220	1.39%	9.87%	23.47%
93+000	94+000	8100	249.230	764.940	2183.130	3.08%	9.44%	26.95%
94+000	95+000	8100	121.030	521.333	1003.500	1.49%	6.44%	12.39%
95+000	96+000	8100	63.430	156.090	194.700	0.78%	1.93%	2.40%
96+000	97+000	8100	58.030	68.239	146.160	0.72%	0.84%	1.80%
97+000	98+000	8100	40.230	55.209	55.650	0.50%	0.68%	0.69%
98+000	99+000	8100	51.040	168.738	176.925	0.63%	2.08%	2.18%
99+000	100+000	8100	59.340	73.047	90.060	0.73%	0.90%	1.11%
100+000	100+480	3888	41.080	46.217	48.603	1.06%	1.19%	1.25%
Promedio						1.53%	3.39%	6.80%

Fuente: Elaboración propia

Con los valores promedio del porcentaje de área de fisuras determinado en el sector de estudio y una curva de tendencia exponencial, se representa en la Figura 3-4 la expresión 3.2 la progresión de las fisuras con el paso del tiempo. Para ello, se consideró a enero de 2013 como el mes 1, junio de 2014 el mes 18 y febrero de 2015 el mes 26.

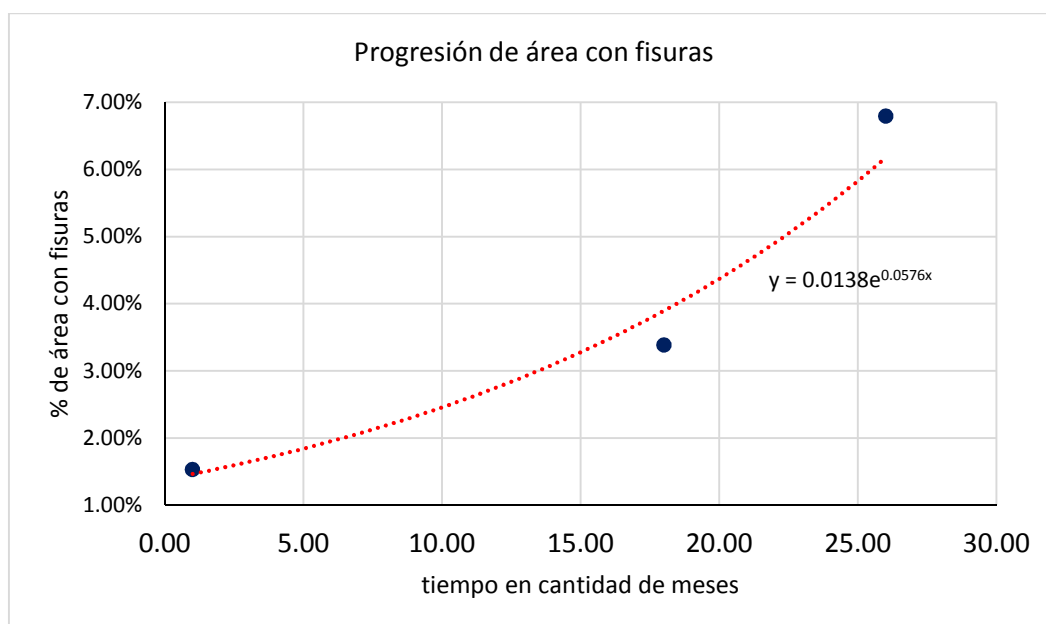


Figura 3-4 Progresión de área con fisuras.

$Y=0.0138e(0.0576x)$ Expresión 3.2

Mediante la expresión 3.2, he estimado en que mes se hubiera alcanzado el umbral del nivel de servicio exigido en el Contrato de Concesión, y una evaluación respecto a los niveles de servicio exigidos en el Manual de Conservación o Mantenimiento Vial del MTC, como se muestran en la Figura 3-5 y Figura 3-6.

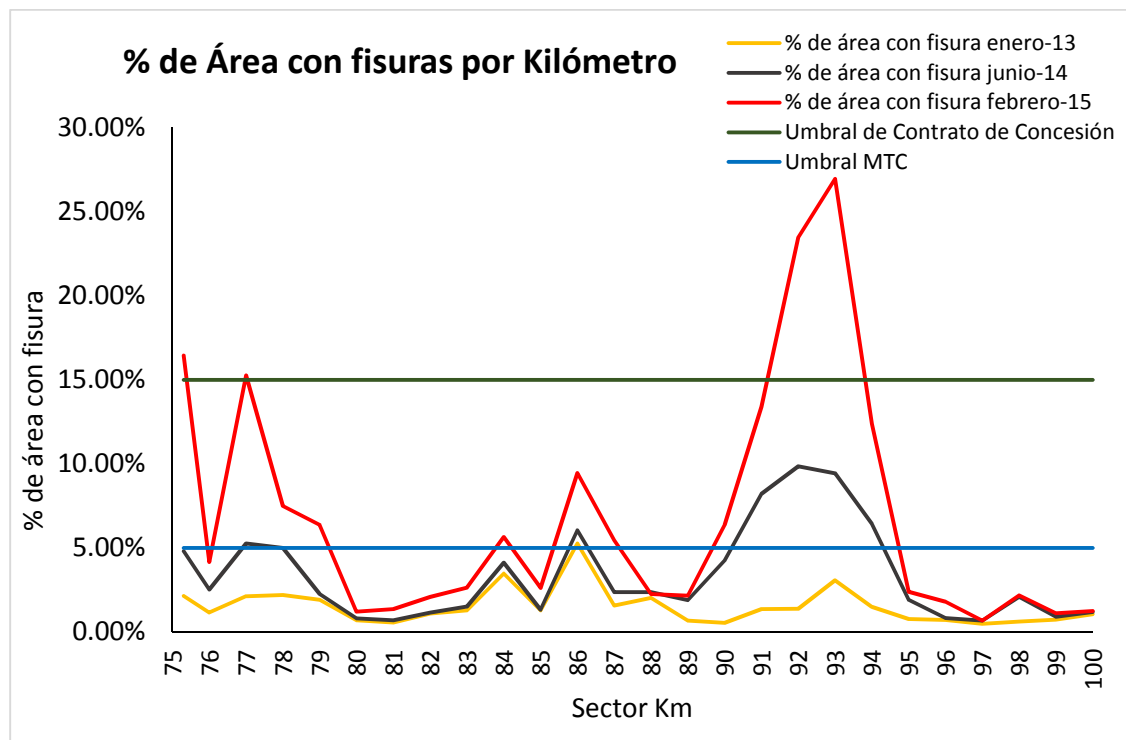


Figura 3-5 Porcentaje de área con fisuras por kilómetro (antes de intervención)

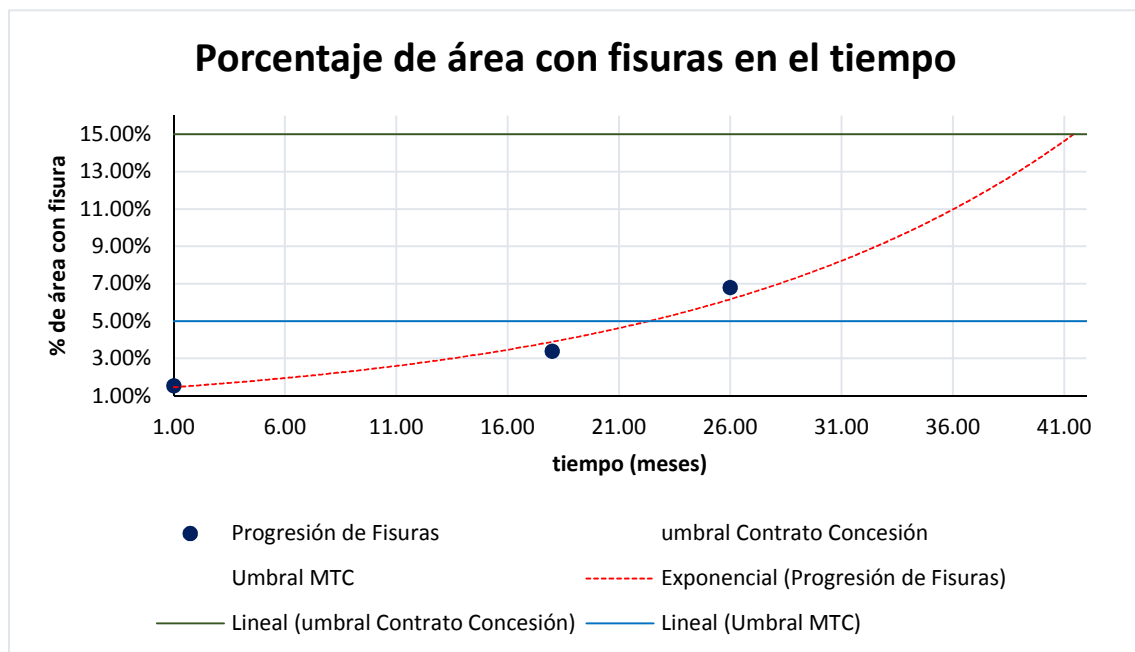


Figura 3-6 Porcentaje de área con fisuras en el tiempo

Con respecto al Contrato de Concesión de la Figura 3-5, en febrero de 2015 algunos sectores alcanzaron el nivel de servicio exigido de 15% de área evaluada, y de la Figura 3-6, se estima que entre el mes 41 y 42 (mayo de 2016), el tramo en promedio hubiese alcanzado el umbral exigido.

Con respecto al Manual de Conservación o Mantenimiento Vial del MTC, de la Figura 3-5, en junio de 2014, algunos sectores alcanzaron el nivel de servicio exigido de 5% de área evaluada, y de la Figura 3-6 puedo observar que entre el mes 22 y 23 (octubre de 2014) el tramo en promedio hubiese alcanzado el umbral recomendado por el MTC.

Ahuellamiento

El ahuellamiento del sub tramo en estudio se midió mediante una auscultación visual, y el empleo de una regla rígida de 1.50 m.

La medición se realizó en mayo de 2015 antes de la aplicación de micropavimento, en la Tabla 3-8 Registro de ahuellamiento en el sector Km 75 – Km 100, se presenta el ahuellamiento máximo registrado por kilómetro, con el objetivo de identificar si se está cumpliendo con el nivel de servicio exigido.

Tabla 3-8 Registro de ahuellamiento en el sector Km 75 – Km 100 (mayo 2015).

Inicio Km	Final Km	Ahuellamiento máximo registrado (mm)	Severidad	Ahuellamiento máximo Contractual (mm)
75+300	76+000	0	Leve	12
76+000	77+000	3	Leve	12
77+000	78+000	3	Leve	12
78+000	79+000	3	Leve	12
79+000	80+000	6	Media	12
80+000	81+000	5	Leve	12
81+000	82+000	4	Leve	12
82+000	83+000	4	Leve	12
83+000	84+000	5	Leve	12
84+000	85+000	4	Leve	12
85+000	86+000	3	Leve	12
86+000	87+000	5	Leve	12
87+000	88+000	5	Leve	12
88+000	89+000	4	Leve	12
89+000	90+000	4	Leve	12
90+000	91+000	3	Leve	12
91+000	92+000	3	Leve	12
92+000	93+000	3	Leve	12
93+000	94+000	10	Media	12
94+000	95+000	10	Media	12
95+000	96+000	3	Leve	12
96+000	97+000	0	Leve	12
97+000	98+000	1	Leve	12
98+000	99+000	3	Leve	12
99+000	100+000	3	Leve	12
100+000	100+480	10	Media	12

Fuente: Elaboración propia

Respecto al Tabla 3-8, podemos observar que se cumple con el nivel de servicio, ya que el ahuellamiento medido y registrado no es mayor a los 12 mm indicados como valor máximo en el Contrato de Concesión y el Manual de Mantenimiento o Conservación Vial.

En el ítem 3.3.4 se realizará un análisis sobre el impacto que genera la aplicación del tratamiento superficial con micropavimento, respecto a este tipo de falla ahuellamiento.

3.3.2. Análisis y evaluación de niveles de servicio al término mantenimiento periódico del Sub Tramo Km 75+300 – KM 100+480

Una vez terminados los trabajos de mantenimiento periódico sello de fisuras, grietas y tratamiento superficial con micropavimento, como parte de los controles de calidad, se ha realizado la evaluación funcional, superficial del Sector Km 75+300 – Km 104+480, en la que se ha registrado mediciones en los parámetros IRI y coeficiente de fricción.

3.3.2.1 Evaluación de condición funcional

Índice de Rugosidad Internacional (IRI)

Terminados los trabajos de mantenimiento periódico, en junio de 2015 se realizó la medición de rugosidad en cada huella de ambos carriles, mediante el empleo de un equipo Merlín.

En la Tabla 3-9 se presenta el registro de IRI por carril, el promedio de ambos y el resultado de PSI obtenido a partir de la expresión 3.1 y Tabla 3-3.

Tabla 3-9 Registro de IRI y resultado de PSI (junio 2015)

Inicio (Km)	Final (Km)	IRI Carril Izquierdo	IRI Carril Derecho	IRI Promedio	PSI	Estado de Pavimento
75+300	76+000	1.13	1.35	1.24	3.99	Bueno
76+000	77+000	1.33	1.51	1.42	3.87	Bueno
77+000	78+000	1.24	1.14	1.19	4.03	Muy bueno
78+000	79+000	1.05	0.96	1.01	4.16	Muy bueno
79+000	80+000	1.11	0.98	1.05	4.13	Muy bueno
80+000	81+000	1.58	1.50	1.54	3.78	Bueno
81+000	82+000	1.47	1.09	1.28	3.97	Bueno
82+000	83+000	1.46	1.19	1.33	3.93	Bueno
83+000	84+000	1.44	1.09	1.26	3.98	Bueno
84+000	85+000	1.14	1.08	1.11	4.09	Muy bueno
85+000	86+000	1.10	1.25	1.18	4.04	Muy bueno
86+000	87+000	1.62	1.57	1.59	3.74	Bueno
87+000	88+000	1.50	1.51	1.50	3.81	Bueno
88+000	89+000	1.52	1.35	1.43	3.86	Bueno
89+000	90+000	1.67	1.39	1.53	3.79	Bueno
90+000	91+000	1.64	1.28	1.46	3.84	Bueno
91+000	92+000	1.70	1.37	1.54	3.78	Bueno
92+000	93+000	1.71	1.64	1.67	3.69	Bueno
93+000	94+000	1.71	1.82	1.76	3.63	Bueno
94+000	95+000	1.48	1.43	1.45	3.84	Bueno
95+000	96+000	1.51	1.40	1.45	3.84	Bueno
96+000	97+000	1.70	1.50	1.60	3.74	Bueno
97+000	98+000	1.34	1.46	1.40	3.88	Bueno
98+000	99+000	1.55	1.43	1.49	3.81	Bueno
99+000	100+000	1.68	1.61	1.64	3.71	Bueno
100+000	100+480	1.67	1.90	1.78	3.62	Bueno
PROMEDIO		1.46	1.37	1.42	3.87	Bueno

Fuente: Elaboración propia

Con los resultados obtenidos de la medición de IRI en junio de 2015, que se muestran en la Tabla 3-9, el sub tramo en estudio no ha alcanzado el umbral de nivel de servicio establecido en el Contrato de Concesión (IRI máx.= 3.5) y lo indicado en el Manual de Conservación o Mantenimiento Vial del MTC (IRI máx. =3.7), como se representa en la Figura 3-7:

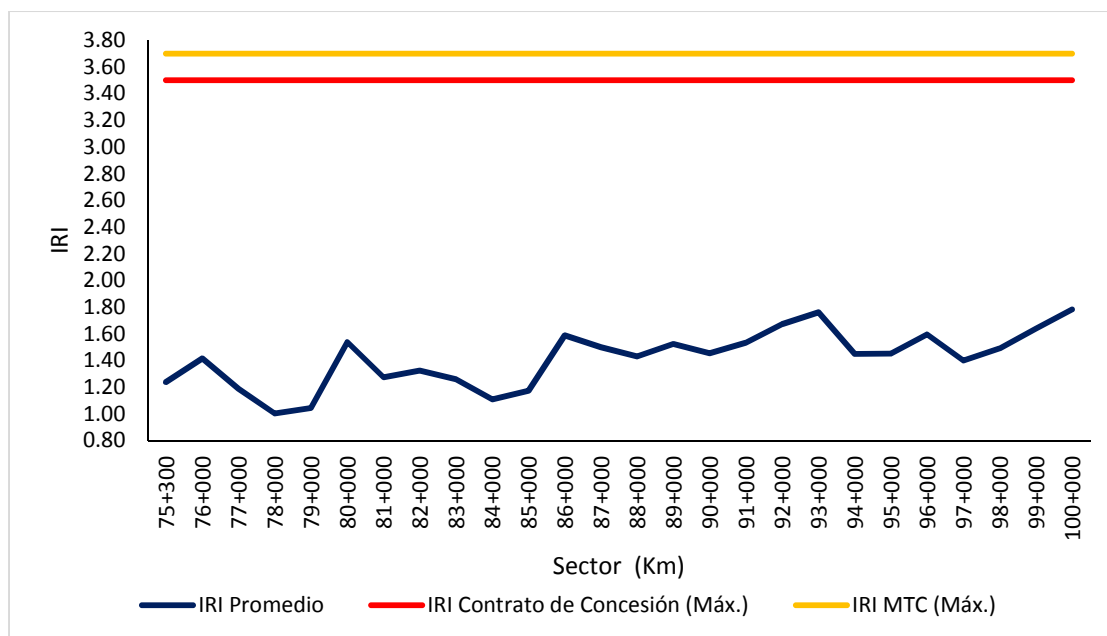


Figura 3-7 Índice de Rugosidad Internacional (IRI – junio 2015 – después de intervención)

Fricción superficial

La medición del Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento (CRD) se realizó de forma puntual, con el péndulo británico de fricción, marca SK Modelo 1085. En la Tabla 3-10 se presentan los resultados obtenidos:

Tabla 3-10 Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento (CRD)

Progresiva (Km)	Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento (CRD)			
	Eje	Huella	Borde	Promedio
76+000	0.89	0.88	0.74	0.84
78+000	0.73	0.79	0.85	0.79
80+000	0.80	0.87	0.85	0.84
82+000	0.85	0.79	0.77	0.80
84+000	0.87	0.84	0.88	0.87
86+000	0.87	0.94	0.94	0.92
88+000	0.79	0.94	0.90	0.88
90+000	0.84	0.90	0.87	0.87
92+000	0.89	0.94	0.94	0.92
94+000	0.80	0.89	0.87	0.86
96+000	0.88	0.92	0.89	0.90
98+000	0.94	0.90	0.88	0.91
100+000	0.86	0.87	0.85	0.86
Promedio				0.86

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 3-8 se representan los resultados de Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento (CRD) obtenidos y su buen performance ante lo solicitado en el Manual de Conservación o Mantenimiento Vial del MTC (valor mínimo CRD=0.50) y en el Manual de Especificaciones Técnicas Generales del MTC (valor mínimo CRD=0.45).

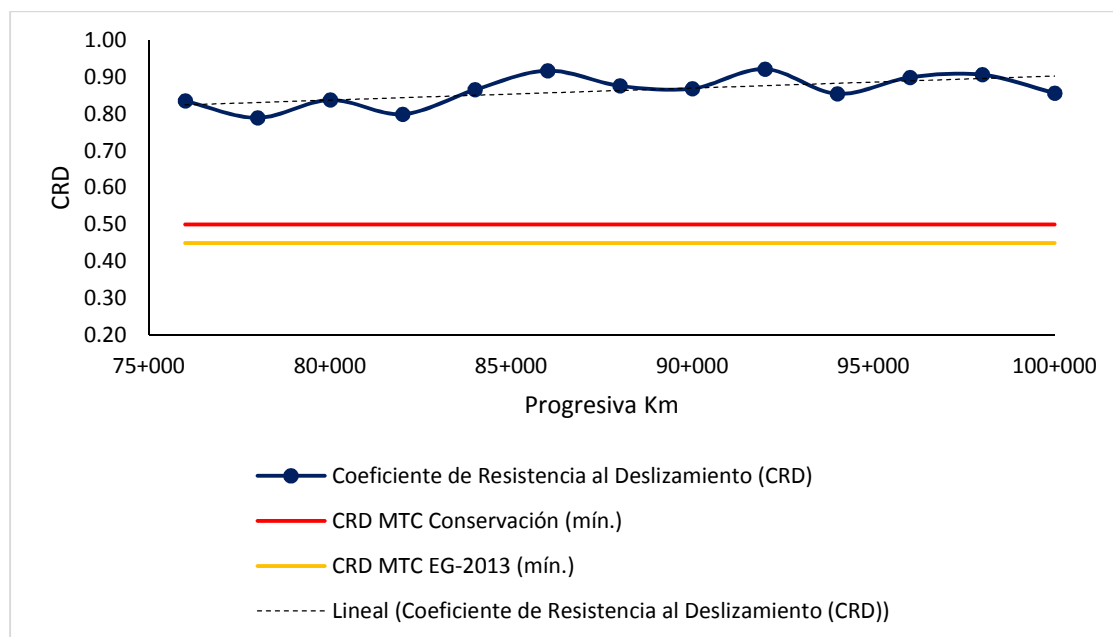


Figura 3-8 Coeficiente de resistencia al deslizamiento – después de intervención

3.3.2.2 Evaluación de condición superficial

Terminados los trabajos de mantenimiento periódico, que incluyen trabajos de sello de fisuras, grietas y aplicación de micropavimento, se realizó una auscultación visual del sub tramo en estudio, a fin de identificar la existencia de fisuras o ahuellamiento; como resultado de la verificación de presencia de defectos en el pavimento, no se encontraron defectos por lo que se habría reducido la presencia de fisuras a 0% del área evaluada. Por lo que, se habría nivelado la superficie de la calzada, alcanzando reducir al 0% la presencia de ahuellamiento en el pavimento

3.3.3. Análisis y evaluación de niveles de servicio un año después del mantenimiento periódico del Sub Tramo Km 75+300 – KM 100+480

Parte de los trabajos de gestión de conservación, a cargo del Concesionario, es medir los niveles de servicio en la infraestructura existente. Es por ello que, a un año de haber realizado el mantenimiento periódico del Sector Km 75+300 – Km 104+480, se realizaron mediciones sobre la afectación de nivel de servicio en los diferentes parámetros del pavimento.

3.3.3.1 Evaluación de condición funcional

Índice de Rugosidad Internacional (IRI)

En octubre de 2016, se realizó la medición de rugosidad mediante el uso de un Perfilometro Láser, con el cual cada 20 m. se midió y registro el IRI en cada huella. El valor de IRI en cada carril está dado por el promedio de rugosidad que presenta cada huella.

En la Tabla 3-11 se presenta el registro de IRI por carril, el promedio de ambos y el resultado de PSI obtenido a partir de la expresión 3.1 y Tabla 3-3.

Tabla 3-11 Registro de IRI y resultado de PSI (octubre 2016)

Inicio (Km)	Final (Km)	IRI Carril Izquierdo	IRI Carril Derecho	IRI Promedio	PSI	Estado de Pavimento
75+300	76+000	1.36	1.56	1.46	3.83	Bueno
76+000	77+000	1.53	1.60	1.57	3.76	Bueno
77+000	78+000	1.41	1.32	1.37	3.90	Bueno
78+000	79+000	1.24	1.26	1.25	3.98	Bueno
79+000	80+000	1.15	1.27	1.21	4.01	Muy bueno
80+000	81+000	1.90	1.82	1.86	3.56	Bueno
81+000	82+000	1.86	1.35	1.61	3.73	Bueno
82+000	83+000	1.53	1.51	1.52	3.80	Bueno
83+000	84+000	1.80	1.22	1.51	3.80	Bueno
84+000	85+000	1.30	1.22	1.26	3.98	Bueno
85+000	86+000	1.51	1.49	1.50	3.81	Bueno
86+000	87+000	1.69	1.60	1.65	3.71	Bueno
87+000	88+000	1.61	1.38	1.50	3.81	Bueno
88+000	89+000	1.54	1.35	1.44	3.85	Bueno
89+000	90+000	1.68	1.41	1.55	3.77	Bueno
90+000	91+000	1.60	1.33	1.47	3.83	Bueno
91+000	92+000	2.07	1.39	1.73	3.65	Bueno
92+000	93+000	1.97	1.60	1.78	3.61	Bueno
93+000	94+000	1.95	1.95	1.95	3.51	Bueno
94+000	95+000	1.65	1.66	1.65	3.70	Bueno
95+000	96+000	1.69	1.53	1.61	3.73	Bueno
96+000	97+000	1.73	1.60	1.67	3.69	Bueno
97+000	98+000	1.55	1.63	1.59	3.75	Bueno
98+000	99+000	1.61	1.45	1.53	3.79	Bueno
99+000	100+000	1.79	1.63	1.71	3.66	Bueno
100+000	100+480	1.91	1.91	1.91	3.54	Bueno
PROMEDIO		1.64	1.50	1.57	3.76	Bueno

Fuente: Elaboración propia

Con los resultados obtenidos de la medición de IRI en octubre de 2016, que se muestran en la Tabla 3-11, se concluye que el sub tramo en estudio no ha alcanzado el umbral de Nivel de Servicio establecido en el Contrato de Concesión (IRI máx.= 3.5) y lo indicado en el Manual de Conservación o Mantenimiento Vial del MTC (IRI máx. =3.7), como se representa en la Figura 3-9:

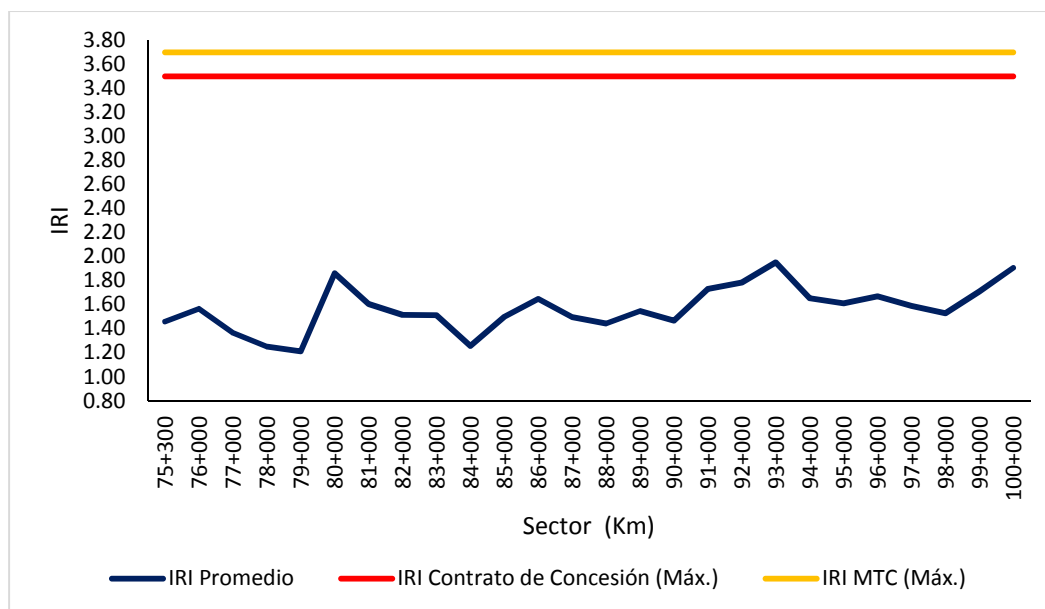


Figura 3-9 Índice de Rugosidad Internacional (IRI – octubre 2016 – 01 año después de intervención)

Fricción superficial

La medición del Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento (CRD) se realizó de forma puntual, con el péndulo británico de fricción, marca SK Modelo 1085.

En la Tabla 3-12 se presentan los resultados obtenidos en los ensayos de CRD:

Tabla 3-12 Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento (CRD)

Progresiva Km	Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento (CRD)
75+340	0.54
77+250	0.54
79+000	0.56
81+100	0.58
83+000	0.58
85+540	0.57
87+400	0.57
89+000	0.58
91+080	0.58
93+300	0.58
95+300	0.57
97+400	0.56
99+400	0.56
Promedio	0.57

Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 3-10 se representan los resultados de Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento (CRD) obtenidos, los mismos que superan el valor mínimo a lo indicado en el Manual de Conservación o Mantenimiento Vial del MTC (valor mínimo CRD=0.50) y en el Manual de Especificaciones Técnicas Generales del MTC (valor mínimo CRD=0.45).

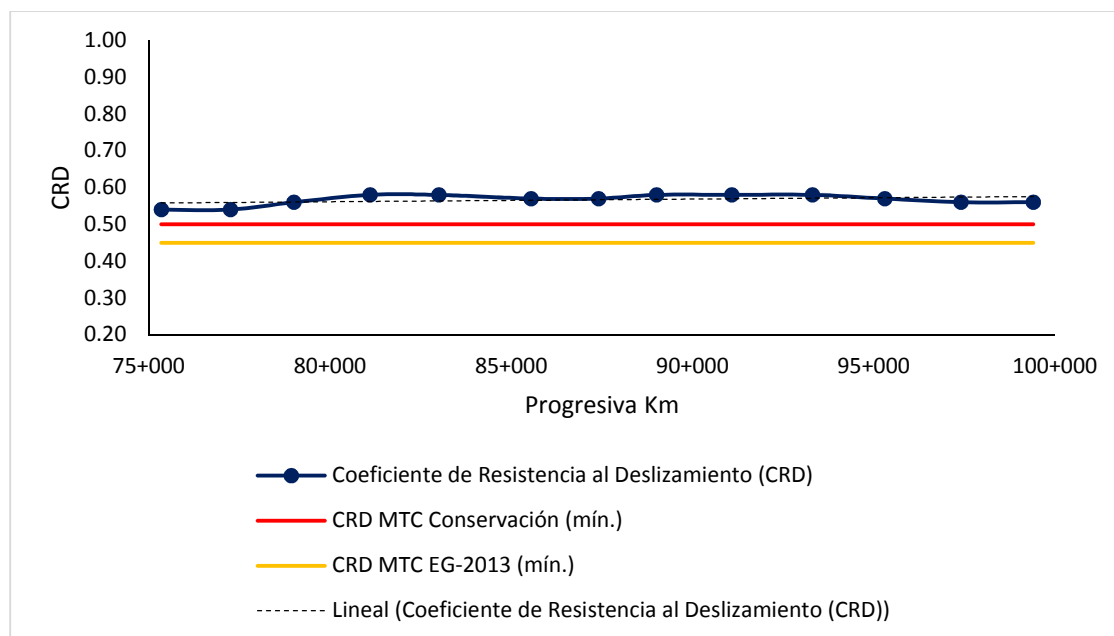


Figura 3-10 Coeficiente de resistencia al deslizamiento - 01 año después de intervención

3.3.3.2 Evaluación de condición estructural

Para conocer el estado estructural del pavimento se calculó el número estructural efectivo (SNef), entre setiembre y octubre de 2016 se realizaron las mediciones de deflectometría en el pavimento, empleando el equipo deflectómetro de impacto (Heavy Falling Weight Deflectometer, HWD), y se aplicaron la metodología recomendada en AASHTO 93; los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 3-13 y en la Figura 3-11 se presentan el cálculo de número estructural efectivo obtenido.

Tabla 3-13 Número Estructural Efectivo (octubre 2016)

Nº	Progresiva Inicial (Km)	Progresiva Final (Km)	Longitud (km)	SNef 2016
1	75+300	78+000	2.70	5.00
2	78+000	87+000	9.00	5.08
3	87+000	91+000	4.00	4.63
4	91+000	98+000	7.00	4.78
5	98+000	100+480	2.48	5.08

Fuente: Elaboración propia

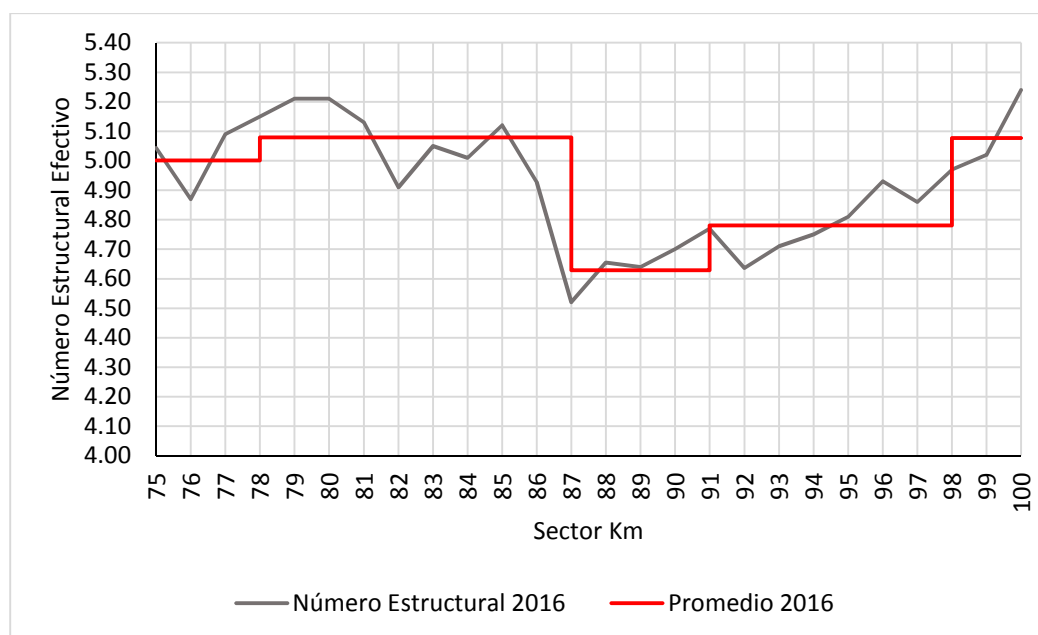


Figura 3-11 Número Estructural Efectivo (octubre 2016 - 01 año después de intervención)

Por otra parte, el número estructural requerido, que se obtiene a partir del ESAL actual y proyectado de la vía, es 3.22 y 3.49 para el año 2017 y 2020 respectivamente. De lo expuesto y según la Tabla 3-13, podemos concluir que hasta el año 2020 el pavimento del sector en estudio no necesita un refuerzo estructural.

3.3.3.3 Evaluación de condición superficial

Fisuras

Con el objeto de identificar los defectos en la superficie del pavimento (piel de cocodrilo, fisuras longitudinales y transversales), en octubre de 2016, se realizó una inspección visual mediante la cual se determinó el porcentaje de área fisurada en cada kilómetro, mediciones que se registran en la Tabla 3-14 y se representan en la Figura 3-12.

Tabla 3-14 Registro de fisuras en el sector Km 75 – Km 100.

Inicio (Km)	Final (Km)	Área Total (m2)	Metrado Oct 2016 (m2)	% de Área con fisura Oct 2016 (m2)
75+300	76+000	5670	83.26	1.47%
76+000	77+000	8100	22.85	0.28%
77+000	78+000	8100	85.68	1.06%
78+000	79+000	8100	222.81	2.75%
79+000	80+000	8100	37.47	0.46%
80+000	81+000	8100	104.29	1.29%
81+000	82+000	8100	0.72	0.01%
82+000	83+000	8100	0.54	0.01%
83+000	84+000	8100	18.50	0.23%
84+000	85+000	8100	55.61	0.69%
85+000	86+000	8100	19.22	0.24%
86+000	87+000	8100	103.95	1.28%
87+000	88+000	8100	6.10	0.08%
88+000	89+000	8100	11.37	0.14%
89+000	90+000	8100	5.55	0.07%
90+000	91+000	8100	14.25	0.18%
91+000	92+000	8100	166.51	2.06%
92+000	93+000	8100	341.64	4.22%
93+000	94+000	8100	492.74	6.08%
94+000	95+000	8100	141.05	1.74%
95+000	96+000	8100	13.91	0.17%
96+000	97+000	8100	5.06	0.06%
97+000	98+000	8100	1.97	0.02%
98+000	99+000	8100	5.68	0.07%
99+000	100+000	8100	3.09	0.04%
100+000	100+480	3888	5.96	0.15%

Fuente: Elaboración propia

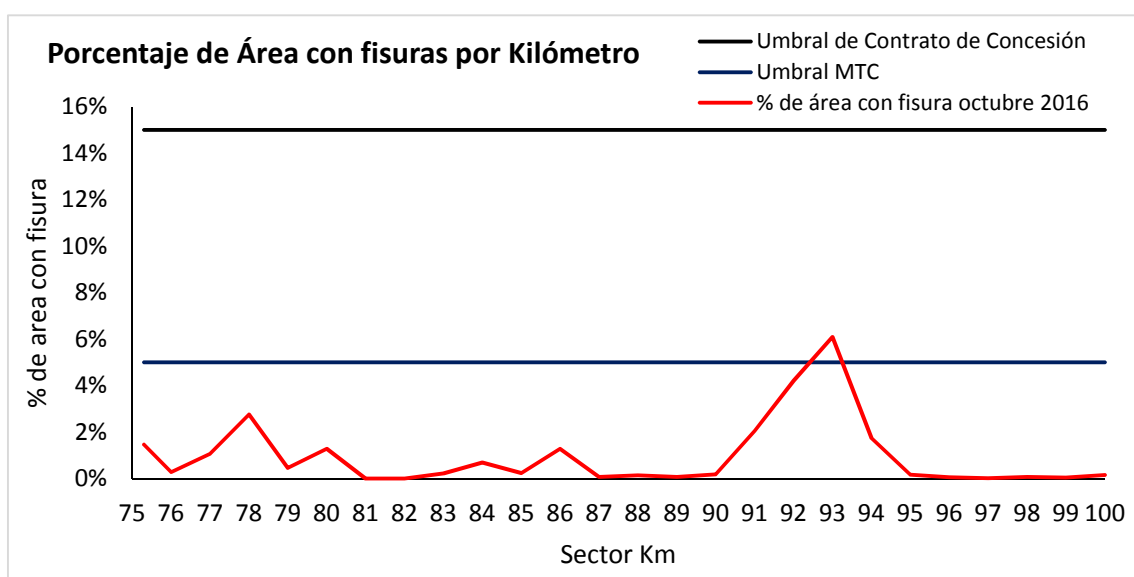


Figura 3-12 Porcentaje de Área con fisuras por Kilómetro - 01 año después de intervención

Como se muestra en la Tabla 3-14 y la Figura 3-12, el porcentaje de área con fisuras del pavimento es menor al umbral máximo exigido en el contrato de concesión. Con respecto al Manual de Conservación o Mantenimiento Vial del MTC, en el Km 93 se registra un 6.08% de área con fisuras que es superior al 5% permisible.

Ahuellamiento

En octubre de 2016, aproximadamente después de 01 año de haber realizado el mantenimiento periódico se ha realizado una inspección visual para identificar y medir el ahuellamiento del sub tramo en estudio. En la Tabla 3-15 se registran los ahuellamientos máximos por kilómetro registrados.

Tabla 3-15 Registro de ahuellamiento en el sector Km 75 – Km 100 (octubre 2016).

Inicio Km	Final Km	Ahuellamiento máximo registrado (mm)	Severidad	Ahuellamiento máximo Contractual (mm)
75+300	76+000	0	Leve	12
76+000	77+000	3	Leve	12
77+000	78+000	3	Leve	12
78+000	79+000	3	Leve	12
79+000	80+000	2	Leve	12
80+000	81+000	6	Media	12
81+000	82+000	5	Leve	12
82+000	83+000	4	Leve	12
83+000	84+000	4	Leve	12
84+000	85+000	5	Leve	12
85+000	86+000	3	Leve	12
86+000	87+000	2	Leve	12
87+000	88+000	5	Leve	12
88+000	89+000	4	Leve	12
89+000	90+000	4	Leve	12
90+000	91+000	3	Leve	12
91+000	92+000	0	Leve	12
92+000	93+000	3	Leve	12
93+000	94+000	0	Leve	12
94+000	95+000	10	Media	12
95+000	96+000	5	Leve	12
96+000	97+000	0	Leve	12
97+000	98+000	0	Leve	12
98+000	99+000	1	Leve	12
99+000	100+000	3	Leve	12
100+000	100+480	0	Leve	12

Fuente: Elaboración propia

Podemos observar que se cumple con el nivel de servicio indicados como valor máximo en el Contrato de Concesión y el Manual de Mantenimiento o Conservación Vial.

3.3.4. Análisis de resultados del mantenimiento periódico en el Sub Tramo Km 75+300 – KM 100+480

En este ítem se realiza el análisis del impacto que genera el sello de fisuras, grietas y tratamiento superficial con micropavimento como mantenimiento periódico con respecto a los niveles de servicio, condición funcional, estructural y superficial del pavimento; a partir de la representación de gráficos y los datos expuestos en los ítems anteriores.

3.3.4.1 Evaluación de condición funcional

Índice de Rugosidad Internacional (IRI)

El índice de rugosidad internacional fue medido en diferentes etapas: antes de la ejecución del mantenimiento periódico (junio 2014), al terminar los trabajos de mantenimiento (junio 2015) y un año después (octubre 2016), obteniendo los resultados que se representan en la Figura 3-13.

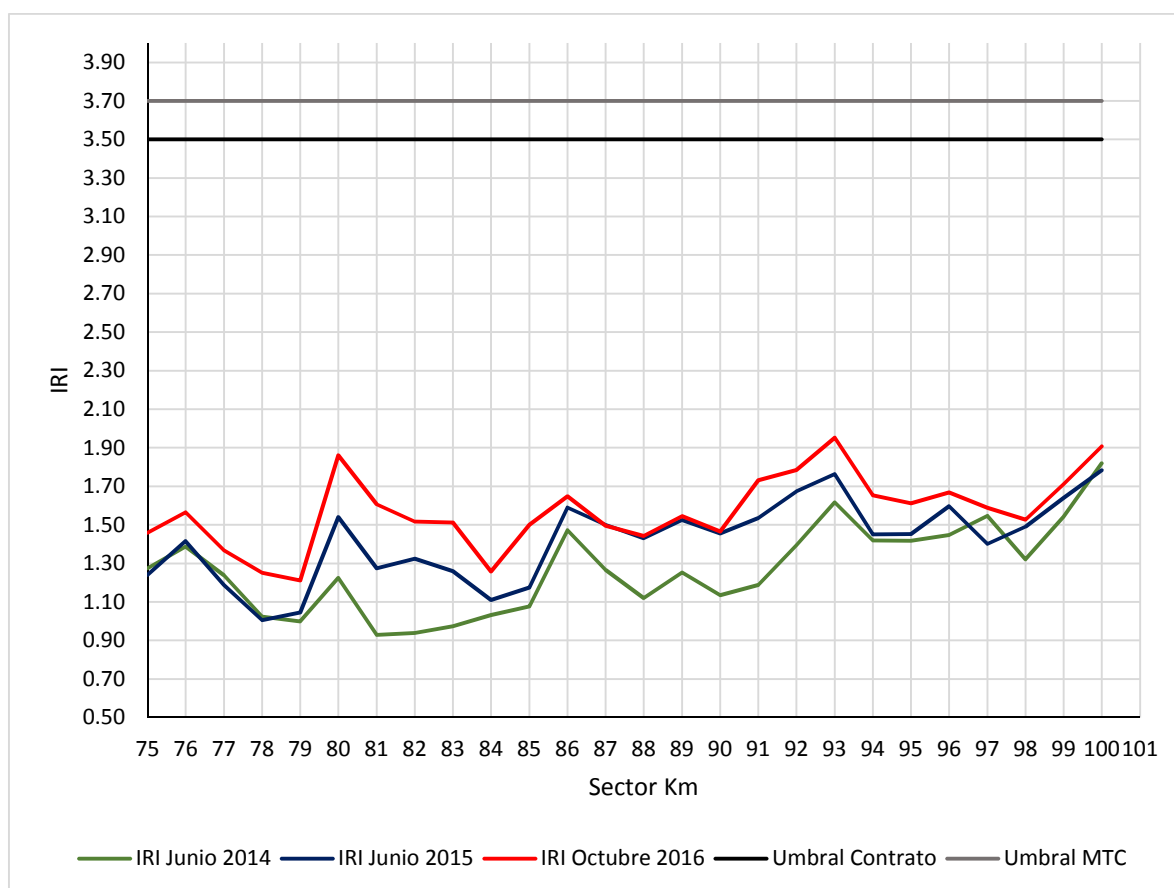


Figura 3-13 Progresión de IRI en el tiempo por kilómetro.

Como se observa en la figura anterior, el IRI en el Sector en estudio ha ido incrementando como promedio a razón de 0.15 m/km por año, indistintamente de haberse realizado trabajos de sello de fisuras, grietas y tratamiento superficial con micropavimento. El mantenimiento periódico no ha mejorado el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) debido al espesor de su aplicación (aproximadamente igual a 10 mm), ya que al ser esta aplicada sobre una superficie de mezcla asfáltica en caliente, se

adecua a las condiciones e irregularidades existentes. Sin embargo, es importante indicar que el micropavimento ha contribuido a mejorar y corregir las fallas superficiales, de esta manera frenar un deterioro acelerado en la condición funcional.

De la figura, también podemos observar que en todas las etapas de evaluación del pavimento se ha cumplido con el umbral de nivel de servicio establecido en el Contrato de Concesión y lo indicado en el Manual de Mantenimiento o Conservación Vial del MTC.

Fricción superficial

La fricción superficial la analizaremos en base al coeficiente de resistencia al deslizamiento, medido con el ensayo el péndulo británico de fricción, antes del mantenimiento periódico (febrero 2013), una vez terminado el mantenimiento periódico (junio 2015) y un año y medio después del mantenimiento (noviembre 2016); el cual se representa en la siguiente figura.

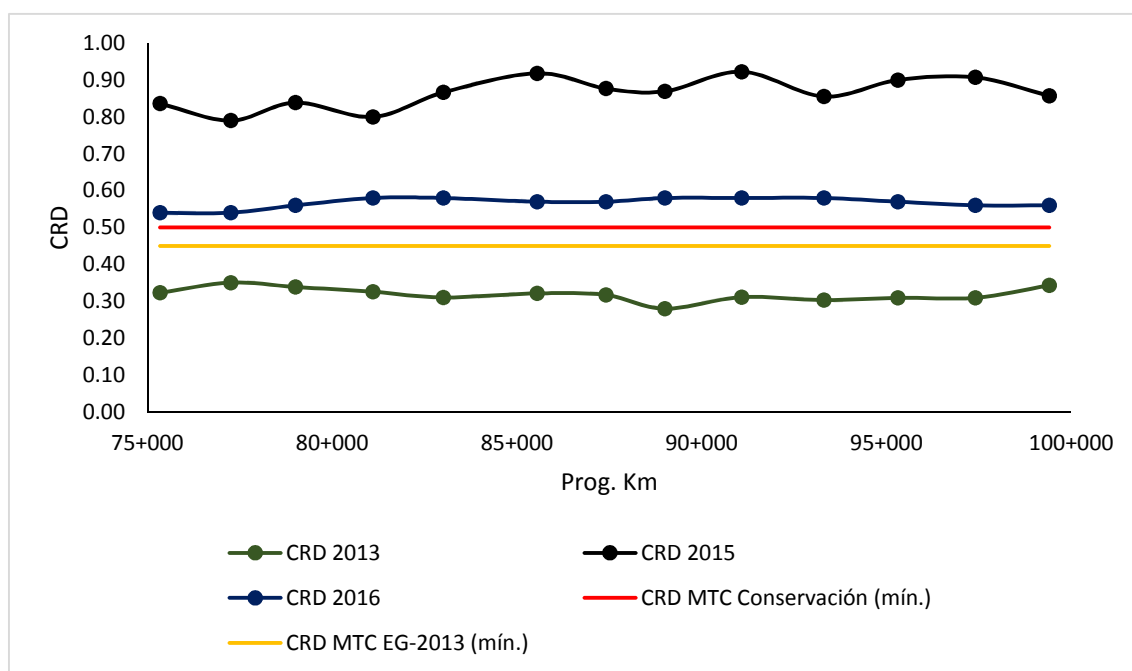


Figura 3-14 Progresión de Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento (CRD).

Como se detalló en ítems anteriores, el Coeficiente de resistencia al deslizamiento no es un parámetro contractual. Sin embargo, podemos observar que antes de ejecutar los trabajos de mantenimiento periódico, el CRD del sub tramo en estudio estaba por debajo del valor mínimo indicado en el manual de especificaciones técnicas generales (EG-2013) y manual de mantenimiento o conservación vial del MTC. Después de ejecutar los trabajos de mantenimiento periódico, se ha conseguido aumentar el CRD sobre los valores mínimos indicados por el MTC, lo cual contribuye a mejorar la seguridad de los usuarios de la vía. En conclusión, los trabajos de tratamiento superficial con micropavimento corrigen el coeficiente de resistencia al deslizamiento.

3.3.4.2 Evaluación de condición estructural

Para conocer la condición estructural del sub tramo en estudio, se realizaron mediciones de deflectometría antes y después de los trabajos de mantenimiento periódico en junio de 2014 y octubre de 2016 respectivamente; a partir de las cuales, y según metodología AASHTO 93 se calculó el número estructural efectivo (SNef). Asimismo, a partir del estudio de tráfico realizado en 2014 se calculó el número estructural requerido (SNreq).

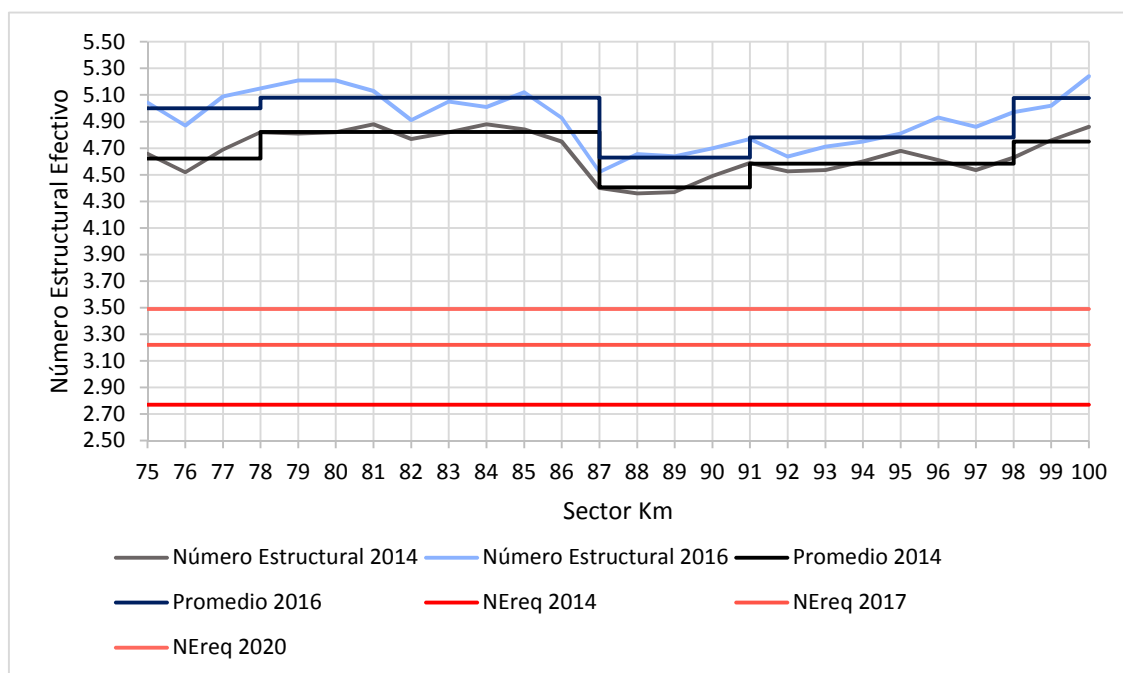


Figura 3-15 Progresión de Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento (CRD).

Como se muestra en la figura anterior, el Número Estructural Efectivo obtenido en ambas evaluaciones es mayor al Número Estructural Requerido en el año 2020, por lo que el sub tramo aún no necesita un refuerzo estructural.

Al realizar la comparación de los valores de Número Estructural Efectivo obtenidos en las evaluaciones de los años 2014 y 2016 se aprecia un sensible paralelismo entre las dos gráficas con valores del parámetro prácticamente iguales para los dos años, lo cual indica que la condición estructural se ha mantenido. El mantenimiento no ha mejorado la condición estructural del pavimento (evaluado en este documento mediante el número estructural efectivo), debido al espesor de su aplicación (aproximadamente igual a 10 mm), por contar con agregado de tamaño máximo nominal de 3/8", y al no tener características similares a la mezcla asfáltica en caliente, no cuenta con un aporte estructural. Sin embargo, la aplicación del pavimento sumado a la baja densidad del tránsito vehicular que existe en la vía, ha contribuido a mantener la condición estructural.

3.3.4.3 Evaluación de condición superficial

Para medir la condición superficial del pavimento se realizaron distintas evaluaciones en campo, en la que se identificaron la cantidad de área con fisuras y el ahuellamiento máximo en cada kilómetro.

Para el caso de las fisuras, como se expuso en los ítems anteriores se realizó una inspección visual en diferentes periodos: antes de la ejecución de trabajos de mantenimiento periódico, en enero de 2013, junio de 2014 y febrero de 2015; y después de terminado el mantenimiento en octubre de 2016, obteniendo los resultados que se muestran en el siguiente gráfico:

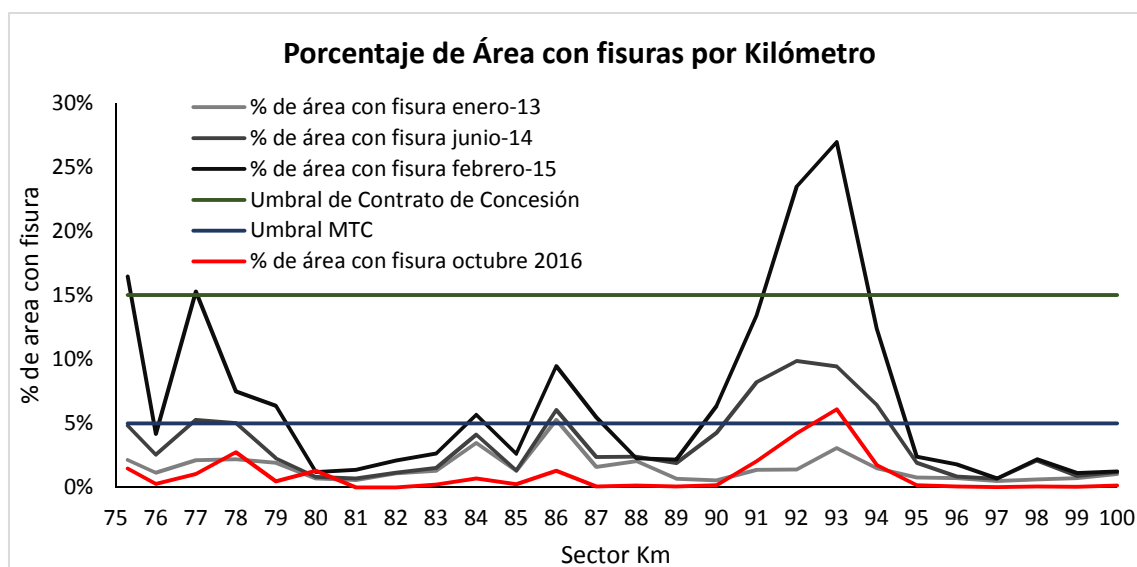


Figura 3-16 Área con fisuras a lo largo del tiempo.

En la figura anterior, podemos observar que mediante trabajos de sello de fisuras, grietas y aplicación de micropavimento como mantenimiento periódico, se ha logrado rejuvenecer el pavimento; controlando la presencia y progresión del área con fisuras. Cabe indicar que en los sectores con presencia de fisuras superior a 15% (límite contractual) antes de los trabajos de mantenimiento, como por ejemplo en el Km 93, se han manifestado tempranamente la presencia de fisuras. Por ello, se recomienda realizar los trabajos de mantenimiento antes de alcanzar un umbral de 5%, como indica el Manual de Conservación o Mantenimiento Vial del MTC, o hasta 8% con área de fisuras, en pavimentos con similares características y condiciones al subtramo en estudio.

Para el caso del ahuellamiento se realizaron mediciones antes y después de los trabajos de mantenimiento, en mayo de 2015 y octubre de 2016 respectivamente, obteniendo los siguientes resultados:

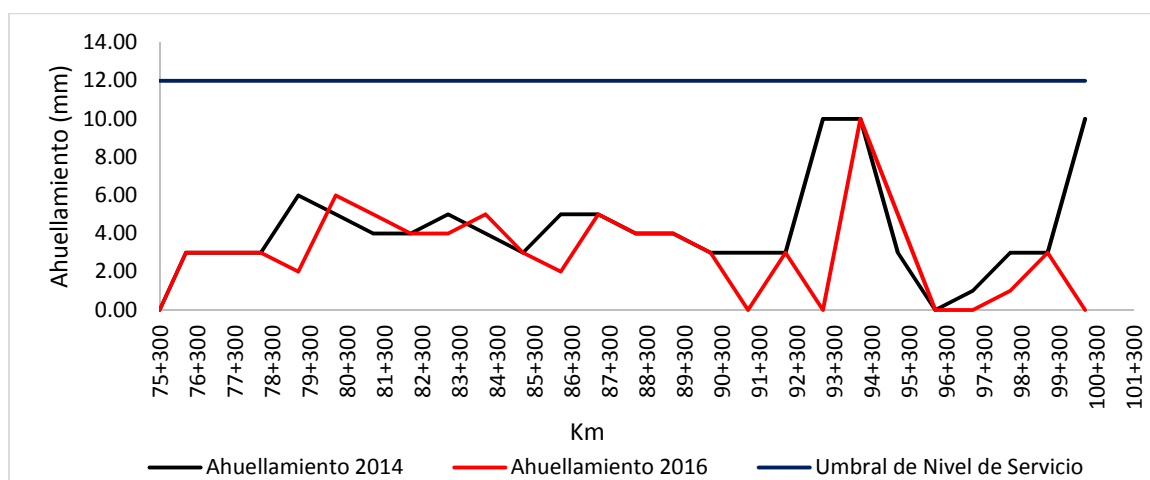


Figura 3-17 Progresión de ahuellamiento en el tiempo.

En la figura anterior se muestra como varía el ahuellamiento antes y después de los trabajos de mantenimiento, alcanzando similares profundidades máximas por kilómetro. Sin embargo, en ninguno de los casos el ahuellamiento alcanza el umbral establecido en el Contrato de Concesión.

Como conclusión, sobre los trabajos de mantenimiento periódico, sello de fisuras, grietas y tratamiento superficial con micropavimento, hemos podido controlar la presencia y frenar el crecimiento de fisuras en el pavimento. Asimismo, mejorar la fricción del pavimento y rejuvenecimiento del mismo; brindando un adecuado nivel de servicio a los usuarios de la vía.

3.4. Consideraciones contractuales

Los Parámetros de condición insuficiente del pavimento se establecieron en el Contrato de Concesión, los que corresponden a mantenimiento periódico se definieron en el apéndice 3 de la adenda 7 del contrato de concesión (resaltados en negrita de la siguiente Tabla 3-16). A continuación, presentamos con parámetros contractuales que se consideraron, los que se consideran actualmente y los que se deben considerarse en un futuro:

Tabla 3-16 Parámetros de niveles de servicio.

Considerados en el Contrato de Concesión (Antes)	Considerados en Contratos Actuales (Ahora)	A considerar en el futuro (Después)
Reducción del ancho de la superficie de rodadura	Reducción del ancho de la superficie de rodadura	Reducción del ancho de la superficie de rodadura
Reducción del paquete estructural existente a la toma de posesión del contrato	Reducción del paquete estructural existente a la toma de posesión del contrato	Reducción del paquete estructural existente a la toma de posesión del contrato
Huecos	Huecos	Huecos
Fisuras	Fisuras	Fisuras
Parches	Parches	Parches
Ahuellamiento	Ahuellamiento	Ahuellamiento
Hundimiento	Hundimiento	Hundimiento
Exudación	Exudación	Exudación
Existencia de material suelto	Existencia de material suelto	Existencia de material suelto
Existencia de obstáculos arrojados en la vía y basura	Existencia de obstáculos arrojados en la vía y basura	Existencia de obstáculos arrojados en la vía y basura
Rugosidad (IRI)	Rugosidad (IRI)	Rugosidad (IRI)
	Peladuras	Peladuras
	Desprendimientos de borde	Desprendimientos de borde
	Deflexiones	Deflexiones
		Desprendimientos
		Fricción superficial
		Ruido
		Apariencia
		Producción de spray

Fuente: Elaboración propia

Se debe desarrollar el informe técnico de mantenimiento periódico, 06 meses antes de que se alcance el umbral de nivel de servicio.

El regulador emite opinión técnica sobre la necesidad de ejecutar actividades de mantenimiento periódico.

El concedente, a través de la subgerencia de estudios en concesiones de Provias Nacional, revisa y valida el sustento técnico y presupuesto a Suma Alzada. Mediante una Resolución Directoral se aprueba el ITMP, y mediante un Acta de Acuerdo se establecen los lineamientos para la ejecución del ITMP.

La ejecución y validación de metrados del ITMP a Suma Alzada es inspeccionada por el supervisor insitu o quién designe el regulador.

El regulador es el encargado de validar e informar al concedente sobre el pago de las valorizaciones mensuales presentadas por el Concesionario.

Capítulo 4.

Mantenimiento de emergencia

4.1. Generalidades

Definición.- Según el Contrato de Concesión del tramo en estudio, el mantenimiento de emergencia se define como:

Tareas de ejecución ocasional, de carácter extraordinario, efectuadas con el propósito de recuperar niveles de servicio del área de la concesión que se haya deteriorado por efecto de la acción extraordinaria de factores climáticos, factores geológicos, factores inherentes a fenómenos naturales u otros factores externos como casos fortuitos o fuerza mayor, diferentes del normal uso de la infraestructura vial; así como la estabilización de taludes y control de la erosión de los mismos, siempre que el CONCESIONARIO haya cumplido con un adecuado mantenimiento de acuerdo a lo previsto en el Contrato de Concesión. (Contrato de Concesión IIRSA SUR Tramo 4, 2005, p.18)

Según el Contrato de Concesión IIRSA SUR Tramo 4 (2005), en caso que sucediera una situación que requiera mantenimiento de emergencia, conforme a lo definido en el párrafo anterior, el procedimiento para la ejecución de mantenimiento de emergencia, es el siguiente:

El Concesionario realizará las labores que sean necesarias para que dado las condiciones geográficas, geológicas, y/o climatológicas lo permitan, en el más breve plazo posible, se recupere la transitabilidad de la vía y eventuales daños causados a la infraestructura en el subtramo afectado, en la medida que hubiese recibido de parte del Concedente los recursos necesarios para ello. Los trabajos de mantenimiento de emergencia serán aprobados y valorizados por el Organismo Regulador previa presentación de los informes sustentatorios correspondientes por parte del Concesionario.

El Concesionario deberá utilizar prioritariamente los bienes y equipos que a la fecha de la ocurrencia tenga utilizado en otros sectores próximos a la zona de la emergencia. Asimismo, deberá dar cuenta al Concedente, con copia al Regulador, de las medidas tomadas o de su imposibilidad para implementar medidas de emergencia por las condiciones geográficas, geológicas y/o climatológicas presentadas en un plazo no mayor de dos (02) días calendario de verificada la emergencia.

(Adenda 7 al Contrato de Concesión IIRSA SUR Tramo 4, 2011, p.6)

4.2. Actividades de mantenimiento de emergencia

4.2.1. Intervenciones de mantenimiento de emergencia destinadas a limpieza de material suelto

Son las actividades necesarias para limpiar el material suelto como mantenimiento de emergencia: remoción de derrumbes, transporte de material a eliminar y acondicionamiento de material en DME.

Los trabajos de limpieza de derrumbes se realizan en plazos establecidos en el Contrato de Concesión. No pudiendo restringir el tránsito más de seis horas, lo cual resulta conveniente para los usuarios de la vía.

4.2.2. Intervenciones de mantenimiento de emergencia destinadas a recuperar la infraestructura vial

Como intervenciones de mantenimiento de emergencia destinadas a recuperar la infraestructura vial, el Concesionario ha ejecutado los siguientes servicios:

-) Trabajos de descarga de talud
-) Trabajos de enrocado de talud inferior
-) Trabajos de encausamiento
-) Estabilidad de talud superior
-) Trabajos de voladura de roca
-) Trabajos de reconformación de plataforma
-) Limpieza de alcantarillas
-) Trabajos de protección de puentes
-) Conformación de vía provisional

Las intervenciones iniciales de mantenimiento de emergencia son trabajos adecuados, ya que estos se realizan en el menor tiempo posible y sin un proceso dilatado de aprobación; solucionando situaciones de riesgo o evitando el crecimiento de afectaciones a la infraestructura vial, recuperando la transitabilidad segura por la vía.

4.2.3. Informe técnico de mantenimiento de emergencia

Como Informes Técnicos de Mantenimiento de emergencia (ITM), el Concesionario ha ejecutado los siguientes servicios:

-) Reparación de pavimento dañado por caída de rocas en eventos de emergencia.
-) Reparación de cunetas y alcantarillas.
-) Sosténimiento de refuerzo en el Túnel.
-) Reparación y Protección de Puentes.
-) Protección de talud inferior con muros de contención.
-) Estabilidad de talud Superior.
-) Reposición de señalización.

Los informes técnicos de mantenimiento de emergencia son estudios que llevan a la ejecución de trabajos de ingeniería, que complementan de manera adecuada las intervenciones iniciales y son para recuperar el estándar técnico de la infraestructura vial.

4.3. Análisis de actividades por mantenimiento de emergencia

4.3.1. Análisis y evaluación de niveles de servicio

Los distintos eventos al normal uso de la carretera como derrumbes, huaycos y crecidas de río, son originados por precipitaciones pluviales y otros factores climáticos, y afectan a los elementos de la vía, como calzada, berma, obras de drenaje, señalización y derecho de vía.

Mediante la Adenda 7 se establece el apéndice 3 del anexo I del Contrato de Concesión, sobre la modalidad mediante la cual el Concesionario cumplirá los niveles de servicio y se detalla en las siguientes tablas:

Tabla 4-1 Niveles de servicio en calzada y berma

Parámetro	Medida	Nivel de Servicio	Plazo máximo de corrección (días)	El cumplimiento del nivel de servicio se dará por Mantenimiento de Emergencia
Reducción del ancho de la superficie de rodadura	Porcentaje máximo de reducción del ancho	0%	acordados entre las partes	SI
Existencia de material suelto u obstáculos	Porcentaje máximo de área con material suelto	0%	acordados entre las partes	SI

Fuente: Contrato de Concesión IIRSA Sur Tramo 4

La reducción del ancho de superficie de rodadura puede ser ocasionado por crecidas de río, que a su vez generan erosión en el talud inferior de la plataforma de la vía, por deslizamientos de material suelto, caída de rocas o huaycos que afecten el pavimento. La existencia de material suelto u obstáculos en calzada es ocasionada por deslizamientos de material suelto, caída de rocas o huaycos.

Tabla 4-2 Niveles de servicio en derecho de vía

Parámetro	Medida	Nivel de Servicio	Plazo máximo de corrección (días)	El cumplimiento del nivel de servicio se dará por Mantenimiento de Emergencia
Obstáculos	Obstáculos en los primeros 6 m medidos desde el borde de la berma	No se admitirá	acordados entre las partes	SI
Erosiones y sedimentos	Erosiones en taludes, contra taludes en el derecho de vía en general	No se admitirán	acordados entre las partes	SI
Aguas empozadas	Aguas empozadas en el derecho de vía	No se admitirán	acordados entre las partes	SI

Fuente: Contrato de Concesión IIRSA Sur Tramo 4

Los obstáculos en derecho de vía son ocasionados por deslizamientos de material suelto, caída de rocas o huaycos. Las erosiones y sedimentos son ocasionados por crecida de ríos o deslizamientos de material suelto, caída de rocas o huaycos. Y las aguas empozadas son ocasionadas por crecida de ríos.

Sin embargo, los eventos de emergencia pueden generar defectos en el resto de elementos viales, afectando de esta manera la mayoría de los parámetros para medir el nivel de servicio.

Ahora, se explicará cómo afecta en el nivel de servicio de 1 Km la erosión y pérdida de calzada, ocurrida en el sector Km 263+815 al Km 264+060. El cálculo de nivel de servicio medido entre el sector Km 263+500 al Km 264+500, se realizó en los siguientes periodos:

-) Una vez ocurrido el evento.
-) Al terminar la ejecución de las intervenciones iniciales.
-) Al terminar la ejecución del ITM.

El cálculo y resultados obtenidos en cada periodo se detallan en las siguientes tablas:

Tabla 4-3 Nivel de servicio producido el evento.

Ítem	N° de hectómetros con defectos en el Km	Coeficiente de Ponderación	Porcentaje de Incumplimiento por Aspecto
	(a)	(b)	(c) = (a)*(b)/10*Long. Tramo en km
Calzada	3	100	30.00
Bermas	3	40	12.00
Drenajes, Puentes y Viaductos	3	80	24.00
Derecho de Vía	3	40	12.00
Seguridad Vial	3	80	24.00
GRADO DE INCUMPLIMIENTO DEL KM		(d) = promedio (c)	20.40
NIVEL DE SERVICIO GLOBAL DEL KM		(e) = 100 - (d)	79.60

Fuente: Elaboración propia

Los hectómetros afectados por la erosión de talud y pérdida de plataforma son 3, el grado de incumplimiento del Km es 20.40% y el nivel de servicio en el km evaluado es 79.60%, inferior al nivel de servicio mínimo exigido en el Contrato de Concesión de 95% los primeros 4 años.

Tabla 4-4 Nivel de servicio culminadas las intervenciones iniciales.

Ítem	N° de hectómetros con defectos en el Km	Coefficiente de Ponderación	Porcentaje de Incumplimiento por Aspecto
	(a)	(b)	(c) = (a)*(b)/10*Long. Tramo en km
Calzada	3	100	30.00
Bermas	3	40	12.00
Drenajes, Puentes y Viaductos	0	80	0.00
Derecho de Vía	0	40	0.00
Seguridad Vial	3	80	24.00
GRADO DE INCUMPLIMIENTO DEL KM		(d) = promedio (c)	13.20
NIVEL DE SERVICIO GLOBAL DEL KM		(e) = 100 - (d)	86.80

Fuente: Elaboración Propia

Las intervenciones iniciales han restablecido la transitabilidad y corregido los defectos en las estructuras de drenaje y derecho de vía, obteniendo el grado de incumplimiento del Km igual 13.20% y el nivel de servicio en el km evaluado es 86.80%, inferior al nivel de servicio mínimo exigido en el Contrato de Concesión, por lo que las intervenciones fueron complementadas con un ITM

Tabla 4-5 Nivel de servicio culminado el ITM.

Ítem	N° de hectómetros con defectos en el Km	Coefficiente de Ponderación	Porcentaje de Incumplimiento por Aspecto
	(a)	(b)	(c) = (a)*(b)/10*Long. Tramo en km
Calzada	0	100	0.00
Bermas	0	40	0.00
Drenajes, Puentes y Viaductos	0	80	0.00
Derecho de Vía	0	40	0.00
Seguridad Vial	0	80	0.00
GRADO DE INCUMPLIMIENTO DEL KM		(d) = promedio (c)	0.00
NIVEL DE SERVICIO GLOBAL DEL KM		(e) = 100 - (d)	100.00

Fuente: Elaboración propia

El ITM ejecutado ha corregido los defectos en la calzada, berma y seguridad vial, obteniendo el grado de incumplimiento del Km igual 00.00% y el nivel de servicio alcanzado es 100.00%, superior al nivel de servicio mínimo exigido en el Contrato de Concesión.

4.3.2. Análisis intervenciones de mantenimiento de emergencia destinadas a limpieza de material suelto.

El Concesionario debe limpiar los derrumbes, caída de piedras y huaycos en plazos establecidos en el Contrato de Concesión, además en la siguiente tabla se presentan las características de cada sector y el volumen de material limpiado en diferentes etapas.

Tabla 4-6 Registro de datos durante la limpieza de material suelto.

Descripción	Frente 1	Frente 2	Frente 3A	Frente 3B	Frente 4A	Frente 4B
Progresiva. Inicial	51+000	165+000	233+000	260+000	290+000	325+000
Progresiva. Final	165+000	233+000	260+000	290+000	325+000	356+060
Longitud (Km)	114.00	68.00	27.00	30.00	35.00	31.00
Condiciones Geográficas:						
Región	Sierra	Sierra	Sierra	Selva	Selva	Selva
Alt. Máxima (m.s.n.m.)	4,872	4,872	2,690	1,500	621	415
Alt Mínima (m.s.n.m.)	3,859	2,690	1,500	621	415	371
T° media anual (°C)	6.2	11	14.7	23.3	24.4	24.4
Precipitación anual (mm)	652	726	1360	5224	4747	4270
Periodo de Lluvia	nov - mar	nov - mar	nov - mar	nov - mar	nov - mar	nov - mar
Periodo de Estiaje	abr - oct	abr - oct	abr - oct	abr - oct	abr - oct	abr - oct
Limpieza de material (m3)						
noviembre 2012 – marzo 2013	2,310	14,653	1,039	15,361	5,686	7,084
abril 2013 – octubre 2013	260	2,799		799	5,444	4,470
noviembre 2013 – marzo 2014	409	9,089	428	1,529	6,460	96,642
abril 2014 – octubre 2014	34	755	15	216	1,352	21,371
noviembre 2014 – marzo 2015	438	1,322	814	836	9,362	6,975
abril 2015 – octubre 2015		529	20	246	45,080	15,141
noviembre 2015 – marzo 2016	328	373	185	24	6,164	57,406
abril 2016 – octubre 2016		67			1,986	54,251
noviembre 2016 – marzo 2017		455	1,308	420	1,279	10,732
No incluye limpieza en:		Km 232			Km 295	Km 344

Fuente: Elaboración propia

La cantidad de volumen removido y registrado en la Tabla 4-6 Registro de datos durante la limpieza de material suelto. no incluye la limpieza de los sectores Km 232, Km 295 y Km 344; categorizados como sectores críticos. Actualmente, el Concesionario viene ejecutando las soluciones a los sectores críticos Km 295 y Km 344, asimismo elaborando el PID para la solución del sector crítico Km 232.

En los siguientes gráficos 4.3 y 4.4, se muestra las cantidades de material removido en zona selva y sierra, en periodos de estiaje y de lluvia respectivamente.

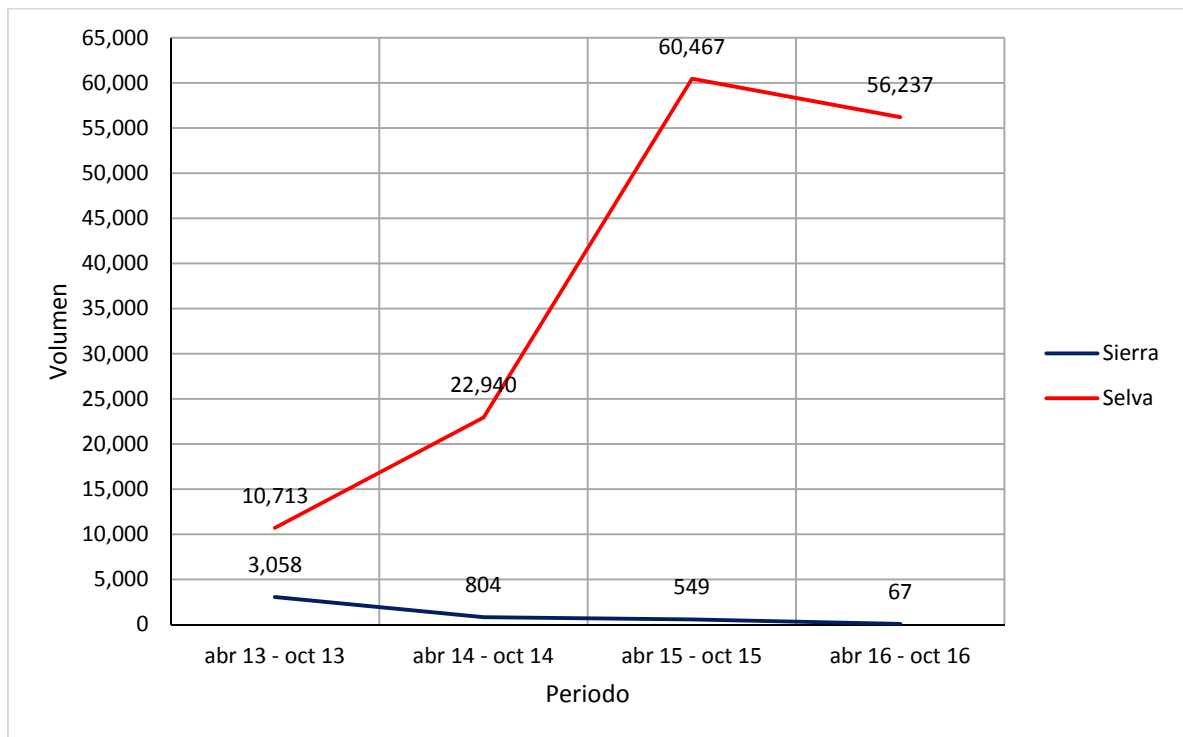


Figura 4-1 Limpieza de material suelto en periodo de estiaje

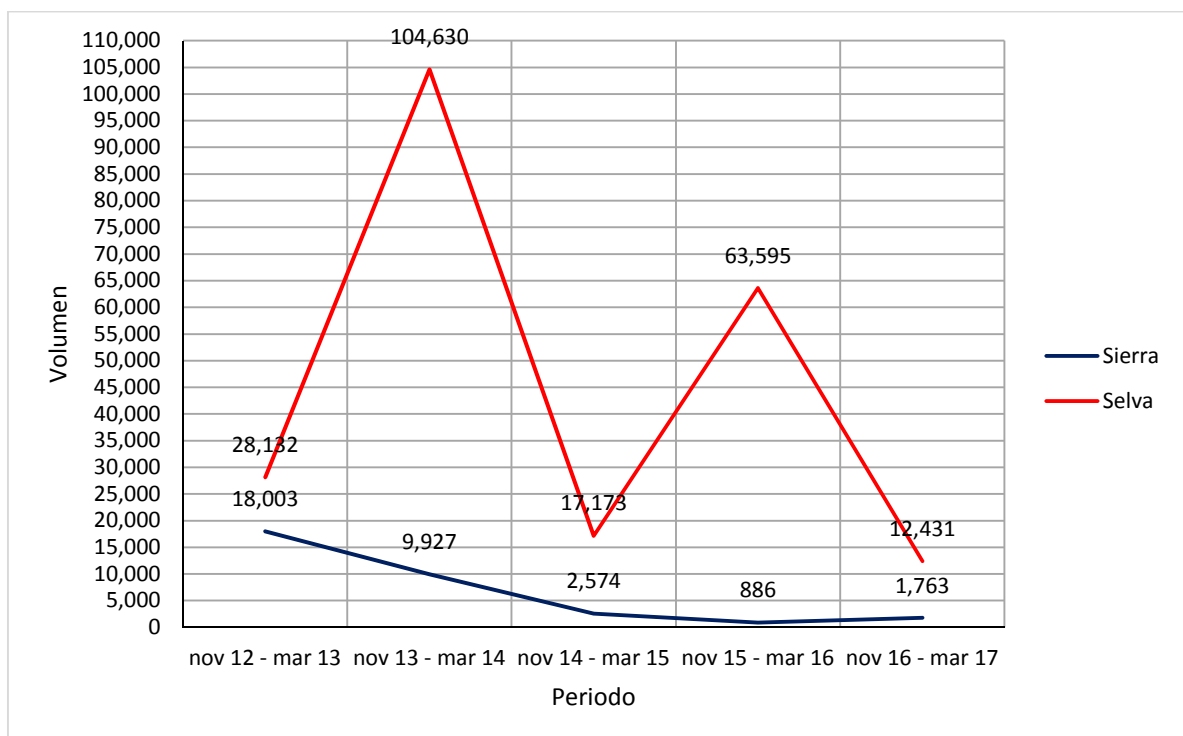


Figura 4-2 Limpieza de material suelto en periodo de lluvia

Como se observa en los dos gráficos anteriores, la cantidad de material suelto, derrumbes, caída de piedras y huaycos en la zona sierra de la vía, con el paso del tiempo

han disminuido por lo que podríamos interpretar que los taludes de esta zona se han ido estabilizando.

La cantidad de material limpiado, en la zona selva de la vía, es variable, no pudiendo predecir un comportamiento en algún periodo o con el paso del tiempo; ya que estas estarían asociadas a la presencia y cantidad de precipitación pluvial.

Cabe indicar que por factores geológicos, en la zona selva, se ha experimentado la activación de sectores inestables que ameritan otro tipo de intervención para su estabilización, tal como es el caso del Km 344.

Producto de la evaluación realizada se propone que para garantizar la transitabilidad en los plazos establecidos en el Contrato de Concesión, el Concesionario disponga como mínimo de los siguientes recursos:

Tabla 4-7 Recursos para atención de derrumbes y huaycos.

Descripción	Frente 1	Frente 2	Frente 3A	Frente 3B	Frente 4A	Frente 4B
Progresiva. Inicial	51+000	165+000	233+000	260+000	290+000	325+000
Progresiva. Final	165+000	233+000	260+000	290+000	325+000	356+060
Longitud (Km)	114.00	68.00	27.00	30.00	35.00	31.00
Condiciones Geográficas:						
Periodo de lluvia	nov - mar	nov - mar	nov - mar	nov - mar	nov - mar	nov - mar
Periodo de estiaje	abr - oct	abr - oct	abr - oct	abr - oct	abr - oct	abr - oct
Equipo mínimo (periodo de estiaje):						
1	Retroexcavadora	01		01		
2	Cargador Frontal			01		
3	Volquete	01		03		
4	Cisterna	01				
Equipo mínimo (periodo de lluvia):						
1	Retroexcavadora	01		01		
2	Cargador Frontal			01		01
3	Excavadora			01		
4	Tractor sobre Orugas	01				
5	Cama baja	01				
4	Volquete	02		05		03
4	Cisterna	01				

Fuente: Elaboración propia

4.4. Consideraciones contractuales

El Concesionario remite al Concedente y Regulador documentos y reportes que son obligaciones contractuales para sustentar una adecuada atención de los eventos de emergencia. Estos documentos son:

Reporte de mantenimiento de emergencia

Cada vez que ocurre un evento de emergencia como deslizamiento de material suelto, huayco u otro que afecte la transitabilidad, el Concesionario debe informar al Concedente y al Regulador dentro de las siguientes 48 horas. Para ello, se han creado fichas para los reportes basadas en concesiones anteriores y adecuadas al proyecto, que contienen:

-) El tipo de evento ocurrido.
-) La hora de interrupción de tránsito.
-) La hora de recuperación de transitabilidad.
-) La hora de liberación o término de limpieza.
-) Estado de la infraestructura vial.
-) Acciones y recursos empleados

Información: Intervenciones iniciales de emergencia

El Concesionario debe informar al Concedente y Regulador dentro de un plazo de 48 horas sobre eventos ocurridos e intervenciones iniciales de mantenimiento de emergencia a realizar, mediante un documento formal (carta) en la que se detalle los daños a la infraestructura y las medidas correctivas propuestas. Todo esto para el posterior reconocimiento y pago por parte del Concedente.

Informe Técnico de Mantenimiento de Emergencia (ITM)

El Concesionario, mediante un documento formal (carta), al finalizar las intervenciones iniciales de emergencia o al verse imposibilitado de realizar alguna acción, informa al Concedente y Regulador la necesidad de elaborar un ITM para recuperar el estándar técnico y nivel de servicio de la infraestructura vial.

Una vez comunicada la necesidad de elaborar un ITM, el Concesionario cuenta con veinte días hábiles para remitir el referido ITM, el mismo que será revisado y aprobado por el Regulador y Concedente.

En caso de cumplirse el plazo y de existir la necesidad de proponer una solución de mayor envergadura (puentes, túneles, etc.), el Concesionario informará que no podrá cumplir el plazo establecido debido a la magnitud del proyecto, pudiendo proponer la ejecución de una obra accesoria.

Valorizaciones por mantenimiento de emergencia

El Concesionario remite mensualmente al Concedente y Regulador un expediente de valorización por trabajos de limpieza de material suelto, transporte y acondicionamiento de material en un DME, a precios unitarios aprobados por el Concedente; a su vez la ejecución de todos estos servicios son supervisados por el Regulador a través del coordinador insitu.

El Concesionario remite al Concedente y Regulador valorizaciones mensuales por cada intervención inicial de mantenimiento de emergencia ejecutada, por partidas o recursos realmente empleados. Estos servicios son supervisados por el Regulador a través del coordinador insitu.

El Concesionario remite al Concedente y Regulador valorizaciones mensuales por la ejecución de cada informe técnico de mantenimiento de emergencia, por partidas realmente ejecutadas, estos servicios son supervisados por el Regulador a través del coordinador insitu.

Todos los expedientes de valorización descritos, deberán ser revisados por el Regulador, quien en un plazo de 15 días hábiles deberá emitir una opinión favorable u observaciones sobre el servicio realizado. De emitirse opinión favorable, el Concedente cuenta con 15 días para abonar el monto del servicio valorizado.

Plan de contingencias

Se remite en ocasiones extraordinarias, como días festivos o ante la posibilidad de que ocurran eventos climatológicos de gran magnitud, e incluye la descripción de los recursos con los que cuenta el Concesionario ante posibles eventualidades.

Otras consideraciones contractuales:

El Concesionario además debe cumplir con las siguientes obligaciones contractuales:

-) Limpieza parcial de derrumbes para brindar transitabilidad en un plazo de hasta 6 horas de haber ocurrido el evento, y limpieza total del evento en un plazo máximo de 24 horas.
-) Reporte e informe sobre evento de emergencias y acciones empleadas en un plazo máximo de 48 horas.
-) En caso que el Concesionario se vea imposibilitado de limpiar todos los derrumbes en un plazo de 48 horas, se deberá comunicar al Concedente y regulador mediante un documento formal (carta), la magnitud extraordinaria de los eventos, los mismos que normalmente coincide con fenómenos sobrenaturales en parte o todo el país.
-) Los plazos para recuperar el nivel de servicio de los elementos de la infraestructura vial afectados por eventos de emergencia, serán acordados por las partes.
-) Todos los servicios realizados en sectores críticos que no cuentan con solución definitiva son considerados como actividades de mantenimiento de emergencia

Capítulo 5.

Mantenimiento de túneles

5.1. Actividades de conservación en túneles

En los túneles de la Concesión Vial del IIRSA Sur Tramo 4, con el objeto de brindar una vía segura y al confort de los usuarios, se han desarrollado las siguientes actividades de conservación:

5.1.1. Mantenimiento rutinario en túneles

Según lo establecido en el Anexo I del Contrato de Concesión, el Concesionario debe cumplir con los niveles de servicio de calzada, berma, elementos de drenaje y elementos de señalización y seguridad vial que forman parte de un túnel. En ese sentido, el Concesionario realiza los siguientes trabajos en el túnel:

-) Limpieza de calzada y berma con cisterna.
-) Limpieza de elementos de drenaje y señalización.
-) Reparación de huecos en calzada y berma.
-) Limpieza de estructura de túnel con cisterna.

5.1.2. Reparación de señalización en túnel

Con el objeto de cumplir con los niveles de servicio establecidos en el Contrato de Concesión, y debido a accidentes vehiculares que dañan la señalización vertical y elementos de encarrilamiento, el concesionario realiza actividades de reparación y reposición de estos elementos. Para ello, el concesionario dispone de equipos como: camión grúa para el desplazamiento de insumos, luminarias para mejorar la visibilidad en el túnel, y dispositivos de control de tránsito. Las actividades que se desarrollan son:

-) Repintado de guardavías.
-) Reposición de guardavías.
-) Reposición de captafaros.
-) Reposición de señales verticales.

Debido al normal deterioro de los elementos de señalización horizontal, por el normal uso de la vía sumado a la cantidad de agua que filtra y escurre a través del túnel, el Concesionario mediante el uso de luminarias y un adecuado control de tránsito realiza las siguientes actividades:

-) Reposición de tachas reflectivas.
-) Repintado de marcas en el pavimento.

) Repintado de pórticos de entrada y salida de túnel.

5.1.3. Refuerzo estructural de túnel

Los trabajos de refuerzo estructural de túnel se realizan con el objeto de corregir deformación u otros defectos que se pueden observar o medir en los hastiales y bóveda del túnel.

A continuación detallo los trabajos que se desarrollaron para realizar el refuerzo estructural del túnel:

- a) Sumado a las inspecciones visuales de identificación de daños en el túnel, se realizó mediciones de convergencia para identificar las zonas afectadas con deformación.
- b) Mediante un equipo Jumbo de 02 brazos se realizó los trabajos de excavación y desquinche de roca en túnel. Asimismo, mediante un retroexcavador y camión volquete se efectuó la limpieza de residuos.
- c) Se aplicó la primera capa de concreto lanzado Shotcrete en la zona afectada.
- d) Se instalaron los pernos de anclaje Full Grouting, de longitud igual a 2.40 m, seguidamente se realizaron inyecciones de cemento en los pernos.
- e) Mediante el empleo de una plataforma de trabajos en altura, se instaló la malla electrosoldada de reforzamiento para túnel.
- f) Culminado los trabajos anteriores, se aplicó la segunda capa de concreto lanzado Shotcrete en la zona afectada.



Fotografía 5-1 Trabajos de desquinche.



Fotografía 5-2 Limpieza de residuos.



Fotografía 5-3 Aplicación de Shotcrete primera capa.



Fotografía 5-4 Instalación de pernos



Fotografía 5-5 Instalación de malla electrosoldada.



Fotografía 5-6 Aplicación de Shotcrete segunda capa

Terminados todos los trabajos se tomaron medidas de convergencia para verificar la calidad de los trabajos ejecutados.

Cabe indicar que para la ejecución de los trabajos en el túnel fue necesario tomar las medidas de seguridad tanto para el personal encargado de ejecutar los trabajos y los usuarios de la vía. Estas medidas contemplaron: el uso de luminarias en la zona de trabajo, adecuación de desvíos, control vehicular y de tránsito.

5.2. Propuesta de manual de inspección y relevamiento de defectos superficiales en túneles

El Concesionario tiene por obligación contractual realizar inspecciones anuales de los túneles, por lo que existió la necesidad de contar con un manual de inspección y relevamiento de daños superficiales.

En ese sentido, el Concesionario mediante la Empresa Lombardi, en enero de 2016, elaboró un informe técnico de inspección de los túneles viales.

Mi propuesta de manual de inspección y relevamiento de fallas superficiales, en la estructura (portales, hastiales y bóveda), de túneles revestidos con concreto lanzado shotcrete, está basada según el Informe Técnico de Inspección de los Túneles Viales (2016), desarrollada por las empresas Intersur y Lombardi; está compuesta por las siguientes etapas:

5.2.1. Estudio de la documentación disponible

Previo a la inspección del túnel, se deben considerar las principales características constructivas de los túneles a evaluar como:

-) Progresiva inicial, final y longitud del túnel.
-) Ancho de la calzada, bermas y/o veredas.
-) Altura y forma de la sección.
-) Características geométricas de los portales.
-) Revestimiento y sostenimiento (si existen).
-) Demás elementos viales existentes en el túnel.

Se deberá contar y revisar la documentación disponible sobre las condiciones geológicas locales, como:

-) Características de las formaciones existentes en el túnel.
-) Presencia importante de aguas subterráneas.
-) Presencia de quebradas en superficie.
-) Presencia de huaycos o deslizamientos en superficie.
-) Presencia de otros fenómenos de potencial inestabilidad.

Además, se deberá revisar inspecciones anteriores, con el fin de identificar sectores críticos y registros de defectos anteriores.

5.2.2. Planificación de los recursos Necesarios

Para la inspección de las condiciones superficiales del túnel, se deberá contar con un equipo de personal capacitado. Se recomienda un equipo conformado por un jefe de equipo y tres o cuatro inspectores, todos ellos deben contar con la capacidad para interpretar los documentos empleados durante el diseño y construcción de los túneles. Asimismo, conocer sobre obras subterráneas para familiarizarse con las características propias de cada túnel.

Durante la inspección, será necesario el uso de los siguientes equipos de inspección:

-) Cinta métrica.
-) Distanciómetro laser.
-) Martillos.
-) Lámparas manuales.
-) Pintura spray marcadora.
-) Cámara fotográfica digital y/o videocámara.
-) Equipo de plataforma elevadora con canastilla.
-) Luminaria móvil.
-) Camionetas.
-) Radios.
-) Examen médico de personal.
-) Charlas de inducción de seguridad y medio ambiente.
-) Equipos de protección personal.

Puede ser necesaria la limpieza de algunos sectores o elementos viales, por lo cual se deberá disponer de personal obrero y sus herramientas.

Se deberán tomar en cuenta medidas de seguridad, como restricción y control de tránsito mediante vigías y elementos de señalización; además, de un equipo de primeros auxilios conformado por ambulancias, personal de salud y otros.

5.2.3. Identificación, clasificación y severidad de daños

En este ítem identificaremos los daños o anomalías que se pueden presentar en los hastiales, bóveda o pórtales del túnel. Asimismo, su clasificación, severidad y causas del defecto.

5.2.3.1 Alteraciones superficiales localizadas

Son daños localizados en el revestimiento (Shotcrete) del túnel como: acumulaciones de concreto, descamaciones, discontinuidades o alteraciones de la consistencia del concreto debido a la humedad.

Causas

Las posibles causas de la presencia del defecto son:

-) Inadecuada aplicación de shotcrete en la fase de construcción.
-) Infiltraciones.
-) Fenómenos de corrosión.
-) Inestabilidades geológicas externamente al revestimiento.
-) Eventos extraordinarios (accidentes vehiculares, incendios, etc.).

Niveles de severidad

Los niveles de severidad asociados a las alteraciones superficiales se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 5-1 Niveles de severidad asociados a alteraciones superficiales.

Severidad	Parámetro
Baja	< 20 cm de dimensión sin asociación a fragmentación y/o alteraciones de otro tipo
Media	< 10 cm de dimensión con asociación a fragmentación y/o alteraciones de otro tipo
	20-30 cm de dimensión sin asociación a fragmentación y/o alteraciones de otro tipo
Alta	> 10 cm de dimensión con asociación a fragmentación y/o alteraciones de otro tipo
	> 30 cm de dimensión sin asociación a fragmentación y/o alteraciones de otro tipo

Fuente: Informe Técnico de Inspección de los Túneles Viales (Lombardi 2016)

5.2.3.2 Rocas expuestas

Las rocas expuestas son la falta de revestimiento en un punto localizado con porción de roca visible del túnel.

Causas

Las posibles causas de la presencia del defecto son:

-) Inadecuada aplicación de shotcrete en la fase de construcción.
-) Infiltraciones.
-) Desprendimiento de fragmentos sin posterior reparación.
-) Inestabilidades geológicas externamente al revestimiento.

Niveles de severidad

Los niveles de severidad asociados a las rocas expuestas se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 5-2 Niveles de severidad asociados a rocas expuestas.

Severidad	Parámetro
Baja	< 20 cm de dimensión sin asociación a fragmentación y/o alteraciones de otro tipo
Media	< 10 cm de dimensión con asociación a fragmentación y/o alteraciones de otro tipo
	20-30 cm de dimensión sin asociación a fragmentación y/o alteraciones de otro tipo
Alta	> 10 cm de dimensión con asociación a fragmentación y/o alteraciones de otro tipo
	> 30 cm de dimensión sin asociación a fragmentación y/o alteraciones de otro tipo

Fuente: Informe Técnico de Inspección de los Túneles Viales (Lombardi 2016)

5.2.3.3 Cavidades

Este defecto se refiere a la presencia de cavidades en el revestimiento.

Causas

Las posibles causas de la presencia del defecto son:

-) Evolución descontrolada de otros defectos como fisuras e infiltración.
-) Infiltraciones.
-) Desprendimiento de fragmentos sin posterior reparación.

Niveles de severidad

Los niveles de severidad asociados a las cavidades se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 5-3 Niveles de severidad asociados a cavidades.

Severidad	Parámetro
Baja	< 5 cm de diámetro.
Media	5-10 cm de diámetro.
Alta	5-10 cm de diámetro, asociados a alteraciones de otro tipo (infiltraciones o alteraciones localizadas).
	> 10 cm de diámetro.

Fuente: Informe Técnico de Inspección de los Túneles Viales (Lombardi 2016)

5.2.3.4 Fisuras

Este defecto se refiere a las fisuras existentes en el revestimiento de concreto lanzado.

Causas

Las posibles causas de la presencia del defecto son:

-) Deformaciones asociadas a una progresiva estabilización.
-) Infiltraciones.
-) Defectos durante el lanzado de algunas de las capas de Shotcrete.

Niveles de severidad

Los niveles de severidad asociados a las fisuras se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 5-4 Niveles de severidad asociados a fisuras.

Severidad	Parámetro
Baja	Con espesor menor a 2 mm y longitud menor a 10 cm
Media	Con espesor mayor a 2 mm o longitud menor a 10 cm
Alta	Con espesor mayor a 2 mm o longitud menor a 10 cm y asociadas a otro tipo de alteración

Fuente: Informe Técnico de Inspección de los Túneles Viales (Lombardi 2016)

5.2.3.5 Infiltración de agua

Este defecto se refiere a la presencia de agua en la superficie del revestimiento: humedad, goteos, chorros de agua e infiltraciones en presión.

Cabe indicar que la presencia de agua en un túnel sin presencia de un revestimiento definitivo se debe considerar normal, a menos que las infiltraciones se asocien a otras alteraciones o pongan en riesgo la seguridad del usuario.

Causas

Las posibles causas de la presencia del defecto son:

-) Daños asociados a presencia de agua exterior al revestimiento.
-) Daños y/u obstrucciones de los sistemas de recolección de agua y/o de drenaje.

Niveles de severidad

Los niveles de severidad asociados a las infiltraciones de agua se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 5-5 Niveles de severidad asociados a infiltraciones de agua.

Severidad	Parámetro
Baja	Áreas con manchas de humedad, goteos
Media	Áreas con manchas de humedad constante en tramos de hasta 10 m. Goteos de elevada frecuencia, chorros con presiones >0.5 l/min y < 1.00 l/min.
Alta	Áreas con humedad y chorros constantes en tramos mayores a 10 m. Filtraciones con caudales > 1.00 l/min asociadas a sectores con deterioro del revestimiento.

Fuente: Informe Técnico de Inspección de los Túneles Viales (Lombardi 2016)

5.2.3.6 Sonido hueco

Este defecto se refiere al sonido hueco que se puede percibir al golpear el revestimiento de concreto con un martillo de geólogo.

Causas

Las posibles causas de la presencia del defecto son:

-) Presencia de redes de drenajes u otras cavidades.
-) Alteraciones localizadas del revestimiento (desprendimientos).

Niveles de severidad

Los niveles de severidad asociados al sonido hueco se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 5-6 Niveles de severidad asociados a sonido hueco.

Severidad	Parámetro
Baja	Menor a 4 m de extensión en alguna de sus dimensiones (largo o ancho), o sonido hueco asociado a drenajes u otros elementos por debajo del revestimiento.
Media	Mayor a 4 m de extensión en alguna de sus dimensiones (largo o ancho).
Alta	Mayor a 4 m de extensión en alguna de sus dimensiones (largo o ancho), asociado a alteraciones de otro tipo.
	Mayor a 10 m de extensión en alguna de sus dimensiones (largo o ancho).

Fuente: Informe Técnico de Inspección de los Túneles Viales (Lombardi 2016)

5.2.3.7 Alteraciones armadura

Este defecto se refiere a los elementos de acero como mallas, barras de armadura, cerchas y otros, que se encuentren expuestos y/o con presencia de fenómenos de corrosión y riesgo de caída.

Causas

Las posibles causas de la presencia del defecto son:

-) Inadecuada aplicación de shotcrete en la fase de construcción.
-) Defectos en la instalación de elementos de armadura.
-) Corrosión, debido a la presencia de humedad.

Niveles de severidad

Los niveles de severidad asociados a las alteraciones en la armadura se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 5-7 Niveles de severidad asociados a alteraciones de armadura.

Severidad	Parámetro
Baja	Menor a 10 cm en cualquiera de sus dimensiones.
Media	Mayor a 10 cm en cualquiera de sus dimensiones.
Alta	Mayor a 10 cm en cualquiera de sus dimensiones. Asociado con otra alteración
	En cada caso en que haya riesgo de caída de un elemento de cualquier dimensión sobre la calzada

Fuente: Informe Técnico de Inspección de los Túneles Viales (Lombardi 2016)

5.2.4. Alternativas de corrección

Las alternativas de corrección para cada uno de los siete defectos detallados en el ítem anterior, se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 5-8 Alternativas de corrección.

Defecto	Alternativa de Intervención
Alteraciones superficiales localizadas	Remoción y reposición de concreto en sector afectado.
	Aplicación de una nueva capa de concreto.
Rocas expuestas	Remoción de roca excedente y reposición de concreto en sector afectado.
	Aplicación de una nueva capa de concreto.
Cavidades	Relleno de cavidades con concreto.
	Aplicación de concreto lanzado shotcrete en zona afectada.
Fisuras	Sello de fisuras con concreto fluido
	Aplicación de concreto lanzado shotcrete en zona afectada.
Infiltración de agua	Intervenciones localizadas de impermeabilización
	Rehabilitación o reconstrucción de sistemas de drenaje
	Instalación de sistemas de evacuación de aguas como drenes, canales y otros
Sonido hueco	Revisión de diseño, en relación a los elementos de drenaje existentes en la zona afectada.
	Remoción y reposición de concreto en sector afectado.
	Aplicación de una nueva capa de concreto.
Alteraciones armadura	Remoción y reemplazo del elemento dañado.
	Aplicación de concreto lanzado shotcrete en zona afectada.

Fuente: Informe Técnico de Inspección de los Túneles Viales (Lombardi 2016)

5.2.5. Informe de inspección

Una vez realizada la inspección de campo, de acuerdo a lo indicado en los ítems anteriores, se deberá elaborar un informe sobre la inspección de túneles y los resultados obtenidos, este informe contendrá como mínimo:

-) Características del túnel
-) Recursos usados
-) Defectos identificados
-) Resultados de la inspección

5.2.5.1 Características del túnel

Dentro de las características del túnel, se detallan las características de diseño, constructivas y geomecánicas del sector en el que se ubica el túnel. Además, se incluye las características de todos los elementos próximos o que puedan afectar las condiciones del túnel como quebradas, huaycos u otros.

5.2.5.2 Recursos usados

En el informe se debe detallar también los recursos usados tanto personal, materiales y equipos que se emplearon para identificar los defectos del túnel.

5.2.5.3 Defectos identificados

Se deben detallar los defectos identificados en el túnel mediante las planillas de campo esquema y ficha de relevamiento de daños. Para ello, cada uno de los defectos lleva una codificación que se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 5-9 Código de defectos.

Código	Defecto
1	Alteraciones superficiales localizadas
2	Rocas expuestas
3	Cavidades
4	Fisuras
5	Infiltración de agua
6	Sonido hueco
7	Alteraciones armadura

Fuente: Elaboración propia

Asimismo, las fichas de evaluación e identificación de daños usadas en trabajos de campo son las siguientes:

Corredor Vial Interoceánico Sur Perú - Brasil Tramo 4: Azángaro - Inambari										
DAÑOS TUNEL										
Ruta: PE - 34B Tramo: SUB TRAMO 1 Lado: Derecho Fecha: 18/01/2018				Nombre: Túnel Wayrasenca Progresiva de inicio: 237+827 Progresiva Final: 237+852 Responsable: Ing. Manuel Ramos						
Daños en bóveda y hastiales de Túnel										
N°	Daño			N°	Daño					
1	Alteraciones superficiales localizadas			5	Infiltración de agua					
2	Rocas expuestas			6	Sonido hueco					
3	Cavidades			7	Alteraciones en armadura					
4	Fisuras									
L	Severidad Baja	M	Severidad Media	H	Severidad Alta					
Elemento: A) Hastial Derecho B) Boveda C) Hastial Izquierdo D) Portal										
Ruta	Elemento	Prog. Inicial	Prog. Final	Tipo de daño	Coordenada X	Longitud	Ancho	Gravedad	Profundidad (mm)	Observaciones
34-B	B	237+828	237+828	7	2.30	0.30	0.05	L		
34-B	B	237+830	237+834	5	4.11	4.00	2.00	M		
34-B	C	237+830	237+834	5	4.11	4.00	1.00	M		

Figura 5-1 Ficha 1: Relevamiento de daños.

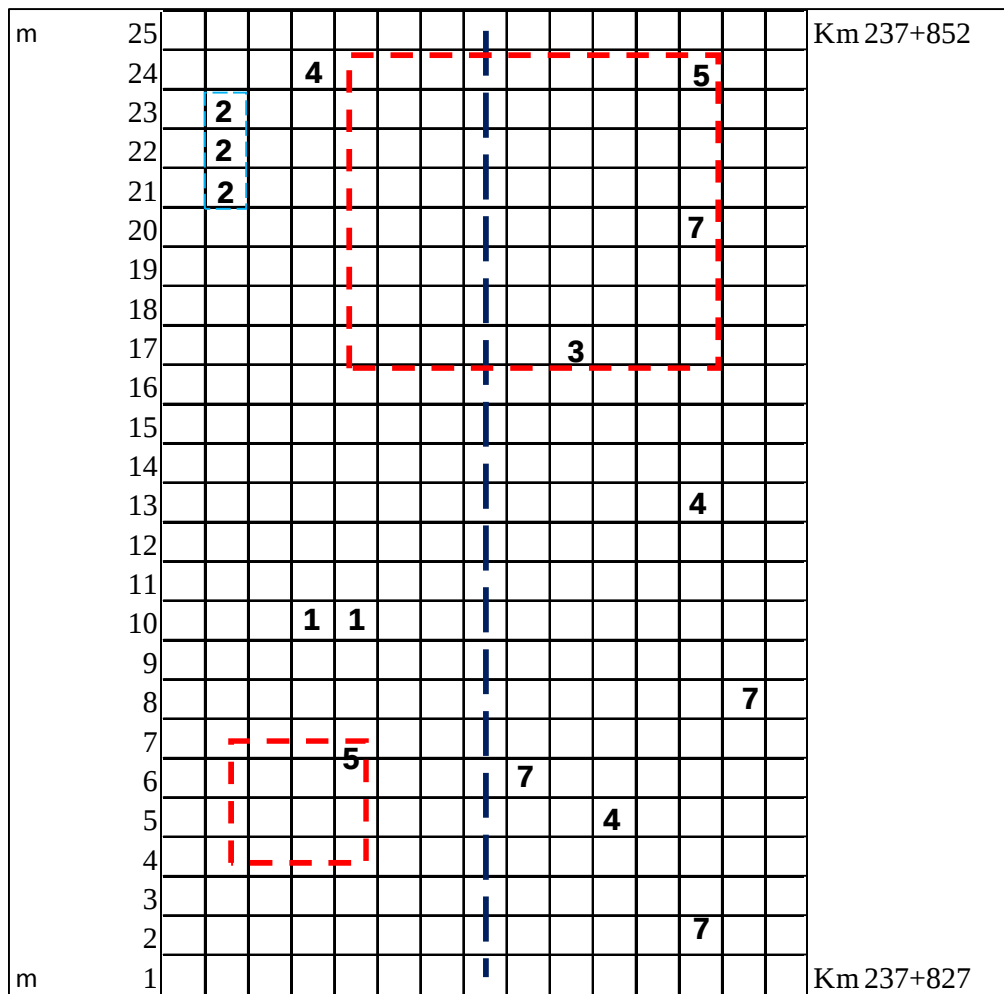


Figura 5-2 Ficha 2: Esquema de relevamiento de daños.

5.2.5.4 Resultados de la inspección

Finalmente, en el informe se debe de presentar los resultados obtenidos como el área total por cada tipo de defecto, la identificación de defectos con severidad alta que necesiten atención por ser de riesgo ante el usuario; asimismo, se debe informar sobre las posibles medidas correctivas que oriente a la elaboración de un ITM con las soluciones definitivas.

5.3. Propuesta de niveles de servicio

En la actualidad, no se cuenta con indicadores que cuantifican y califican los defectos en los hastiales, bóveda o portales de un túnel. En el Manual de Mantenimiento o Conservación Vial del MTC, existen niveles de servicio para la calzada, berma, revestimiento y elementos de drenaje en túneles.

Consecuencia de los defectos considerados en el manual de inspección de túneles propuesto y en similitud a los tipos de defectos que normalmente pueden presentarse en otras estructuras de concreto como puentes, muros, pavimentos rígidos y otros; se propone los siguientes parámetros para niveles de servicio de hastiales, bóveda y portales de un túnel:

Tabla 5-10 Niveles de servicio para hastiales, bóveda y portales de túnel

Parámetro	Medida	Nivel de Servicio Admisible
Alteraciones superficiales localizadas	Porcentaje de área con alteraciones mayores a 10 cm de dimensión.	0%
	Porcentaje de área con alteraciones mayores a 10 cm de dimensión asociados a otra alteración.	0%
Rocas expuestas	Porcentaje de área con alteraciones mayores a 10 cm de dimensión.	0%
	Porcentaje de área con alteraciones mayores a 10 cm de dimensión asociados a fragmentación u otra alteración.	0%
Cavidades	Porcentaje de área con cavidades de diámetros mayor a 5 cm	0%
Fisuras	Área con fisuras de espesor mayor a 2 mm o de longitud mayor a 10 cm	0%
Infiltración de agua	Áreas con manchas de humedad constante, con dimensión mayor a 10 m.	0%
	Áreas con goteos de elevada frecuencia y con chorros con presiones >0.5 l/min.	0%
Sonido hueco	Áreas con dimensión mayor a 4 m.	0%
Alteraciones armadura	Áreas con alteraciones de armadura, en dimensiones mayores a 10 cm.	0%

Fuente: Elaboración propia

Conclusiones

- J En el tercer capítulo del presente documento, se evaluó los beneficios de la aplicación de micropavimento en un pavimento flexible a más de 3900 msnm, concluyendo:
- Luego de realizadas las mediciones de Índice de Rugosidad Internacional (IRI) en los años 2014, 2015 y 2016, antes y después del mantenimiento periódico, se pudo verificar que este incrementa a razón de 0.15 m/km por año, indistintamente de haberse realizado o no el mantenimiento.
 - El mantenimiento periódico no ha mejorado el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) debido al espesor de su aplicación (aproximadamente igual a 10 mm), ya que al ser esta aplicada sobre una superficie de mezcla asfáltica en caliente, se adecua a las condiciones e irregularidades existentes. Sin embargo, es importante indicar que el micropavimento ha contribuido a mejorar y corregir las fallas superficiales, de esta manera frenar un deterioro acelerado en la condición funcional.
 - Después de la ejecución de mantenimiento periódico, se ha conseguido mejorar el Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento, alcanzando valores que cumplen con lo requerido en las normas peruanas. Lo cual contribuye a mejorar la seguridad de los usuarios de la vía.
 - El coeficiente de resistencia al deslizamiento no es un parámetro contractual. Sin embargo, en el tramo en estudio antes de la ejecución de los trabajos de mantenimiento periódico, el CRD del sub tramo en estudio estaba por debajo del valor mínimo indicado en el Manual de Especificaciones Técnicas Generales (EG-2013) y Manual de Mantenimiento o Conservación Vial del MTC.
 - Después de la ejecución del mantenimiento periódico se ha logrado rejuvenecer el pavimento, controlando la presencia y progresión del área con fisuras. Sin embargo, en los sectores con presencia de fisuras superior a 15% (límite contractual) antes de los trabajos de mantenimiento como por ejemplo: en el Km 93 se han manifestado tempranamente la presencia de fisuras.

- Los resultados de número estructural efectivo obtenidos antes y después de la ejecución de mantenimiento periódico son similares, es decir se ha mantenido su condición estructural.
 - El mantenimiento no ha mejorado la condición estructural del pavimento (evaluado en este documento mediante el número estructural efectivo), debido al espesor de su aplicación (aproximadamente igual a 10 mm), por contar con agregado de tamaño máximo nominal de 3/8" y al no tener características similares a la mezcla asfáltica en caliente, no cuenta con un aporte estructural. Sin embargo, la aplicación del pavimento sumado a la baja densidad del tránsito vehicular que existe en la vía, ha contribuido a mantener la condición estructural.
-) En el ítem 5.2 del presente documento, se desarrolló un manual para la inspección y relevamiento de defectos superficiales en los hastiales, bóveda y portadas de un túnel, en el cual se detalla los tipos de defectos, sus causas y nivel de severidad. Asimismo, se detallan los recursos y fichas necesarias para la inspección.
-) En el ítem 5.3 del presente documento, se proponen los niveles de servicio de hastiales, bóveda y portadas de un túnel; considerando como parámetros las alteraciones superficiales, rocas expuestas, cavidades, fisuras, infiltraciones de agua, sonido hueco y alteraciones en armadura.
-) Las cláusulas de la Sección 7 y del Anexo I del Contrato de Concesión, orientan al Concesionario sobre el cumplimiento de los niveles de servicio exigidos para cada uno de los elementos de la infraestructura vial; brindando de esta forma una vía segura y con buen performance ante las solicitudes de los usuarios.
-) Se identificó que las zonas en selva y las temporadas con precipitación pluvial demandan mayor cantidad de recursos. Asimismo, en la Tabla 2-1 y Figura 2-1, se explica la gestión que realiza el Concesionario para realizar actividades de mantenimiento rutinario y cumplimiento de niveles de servicio.
-) Se identificó que los beneficios de realizar actividades de mantenimiento de emergencia que se realizan en una Concesión son:
- Los trabajos de limpieza de derrumbes, se realizan en plazos establecidos en el Contrato de Concesión, no pudiendo restringir el tránsito más de seis horas, lo cual resulta conveniente para los usuarios de la vía.
 - Las intervenciones iniciales de mantenimiento de emergencia son trabajos adecuados, ya que estos se realizan en el menor tiempo posible y sin un proceso dilatado de aprobación; solucionando situaciones de riesgo o evitando el crecimiento de afectaciones a la Infraestructura Vial, recuperando la transitabilidad segura por la vía.
 - Los Informes Técnicos de Mantenimiento de Emergencia, son estudios que llevan a la ejecución de trabajos de ingeniería que complementan de manera adecuada las intervenciones iniciales y restablecen la calidad inicial de la

infraestructura vial con los niveles de servicio que exige el contrato de concesión.

) Del registro y análisis de limpieza de derrumbes expuesta en la Tabla 4-6, se concluye que:

- La cantidad de material suelto, derrumbes, caída de piedras y huaycos en la zona sierra de la vía, con el paso del tiempo han disminuido; por lo que podríamos interpretar que los taludes de esta zona se han ido estabilizando.
- La cantidad de material limpiado, en la zona selva de la vía, es variable, no pudiendo predecir un comportamiento en algún periodo o con el paso del tiempo; ya que estas estarían asociadas a la presencia y cantidad de precipitación pluvial.

Recomendaciones

-) Se recomienda seguir realizando estudios sobre los impactos que generan en las condiciones de un pavimento, los trabajos de sello de fisuras y grietas más aplicación de micropavimento, en zonas con características geografías y climatológicas diferentes a las del presente estudio.
-) Es recomendable realizar estudios sobre el crecimiento de fisuras en pavimentos sometidos a diferentes condiciones geográficas y climatológicas.
-) Se recomienda efectuar estudios sobre la aplicación del micropavimento en diferentes edades del pavimento, y los beneficios que se generan.
-) Se recomienda realizar una evaluación económica sobre los beneficios y costos que generan la aplicación del micropavimento, a lo largo del tiempo de vida del pavimento.
-) Es recomendable ejecutar los trabajos de sello de fisuras y grietas más aplicación de micropavimento, antes de alcanzar un umbral de 5%, como indica el Manual de Conservación o Mantenimiento Vial del MTC, o hasta 8% con área de fisuras, en pavimentos con similares características y condiciones al subtramo en estudio.
-) Se recomienda que las actividades de sello de fisuras y grietas sean actividades de conservación rutinaria, de esta manera mitigar un deterioro acelerado del pavimento.
-) Se recomienda realizar los trabajos de sello de fisuras y grietas más aplicación de micropavimento, en los demás sectores del Tramo Concesionado, para mantener las condiciones estructurales, funcionales y superficiales adecuadas de la vía.
-) Se recomienda seguir realizando estudios sobre los defectos y el umbral de niveles de servicio en túneles con revestimiento de concreto lanzado Shotcrete.
-) La propuesta de manual de relevamiento de fallas en túneles es para la estructura revestida con concreto lanzado shotcrete, por lo que se recomienda realizar estudios sobre niveles de servicio en estructuras de túneles con material superficial diferente al concreto lanzado shotcrete.

-) Se recomienda complementar los niveles de servicio propuestos para la superficie de la estructura del túnel, con parámetros que evalúen sistemas de ventilación, iluminación y contra incendios.
-) Se recomienda modificar los procesos de aprobación de informes de mantenimiento periódico para realizar las actividades de manera oportuna y no generar sobre costos por el paso del tiempo.
-) Se recomienda seguir realizando estudios sobre las actividades de mantenimiento rutinario y su influencia en el cumplimiento de nivel de servicio, de esta manera lograr optimizar recursos brindando la serviciabilidad y seguridad adecuada.
-) Se recomienda seguir ejecutando las actividades de mantenimiento de emergencia para mantener una transitabilidad adecuada en el tramo de concesión.
-) Se propone realizar las siguientes mejoras en el Contratos de Concesión:
 - Modificar los plazos establecidos en el contrato para la atención de afectaciones de niveles de servicio, de acuerdo a los plazos establecidos en los últimos Contratos de Concesión.
 - Incluir los parámetros de coeficiente de fricción y deflexión como niveles de servicio en el Contrato de Concesión.
-) Se recomienda realizar una inspección de seguridad vial en el tramo en estudio, de acuerdo a lo dispuesto en el Manual de Seguridad Vial del MTC (2017).

Bibliografía

-) Intersur Concesiones S.A. y MTC (2004). *Contrato de Concesión para la Construcción, Conservación y Explotación de la Infraestructura de servicio público del Tramo Vial del Proyecto Corredor Vial Interoceánico Sur, Perú – Brasil, Tramo 4: Azángaro – Puente Inambari*. Lima, Perú. Recuperado de <https://www.ositran.gob.pe/carreteras/iirsa-sur-tramo-4-inambari-aznangaro.html>
-) Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2014). *Manual de Carreteras: “Mantenimiento o Conservación de Vial”*. Lima, Perú. Recuperado de http://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/manuales.html
-) AIPCR/PIARC (1982). *Manual Internacional de Conservación de Carreteras*. Alemania: Editorial BMZ.
-) Intersur Concesiones S.A. (2016). *Informe Técnico de Mantenimiento Periódico N° 13*. Intersur Concesiones. Lima, Perú.
-) Intersur Concesiones S.A. (2016) *Atestado de Obra del IIRSA SUR Tramo 4*. Intersur Concesiones. Lima, Perú.
-) Intersur Concesiones S.A. (2016) *Plan Anual de Conservación del IIRSA SUR Tramo 4*. Intersur Concesiones. Lima, Perú.
-) Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2013). *Manual de Carreteras: “Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG 2013”*. Lima, Perú. Recuperado de http://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/manuales.html
-) Justo, M. (2013). *Experiencia en medición de niveles de servicio en carreteras asfaltadas en zona de selva*. Tesis de Master en Ingeniería Civil con Mención en Ingeniería Vial. Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Lima, Perú. <https://hdl.handle.net/11042/1966>
-) Ferreyra, J. (2012). *Actividades de mantenimiento rutinario y periódico en una carretera del Perú*. Tesis de Master en Ingeniería Civil con Mención en Ingeniería Vial. Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Lima, Perú. <https://hdl.handle.net/11042/1996>
-) Ramos, M. (2014). *Experiencias y actividades en los servicios de gestión y conservación por niveles de servicio de una carretera en el Perú*. Tesis de Master

en Ingeniería Civil con Mención en Ingeniería Vial. Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Lima, Perú. <https://hdl.handle.net/11042/2017>

-) Montoya, J. (2013). Análisis del IRI para un proyecto de carretera sinuosa concesionada en el Perú. Tesis de Master en Ingeniería Civil con Mención en Ingeniería Vial. Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Lima, Perú. <https://hdl.handle.net/11042/1967>
-) Lombardi e Intersur Concesiones S.A. (2016). *Informe Técnico de Inspección de los Túneles Viales*. Lombardi. Lima, Perú.