5. DESARROLLO DEL CASO DE ESTUDIO. CARRETERA CUMBE – OÑA TRAMO I LONGITUD 20,1 Km.

Con apoyo de la empresa INEXTEC CIA. LTDA., se ha realizado una campaña de auscultación en la carretera Cumbe – Oña tramo I, ubicada en la provincia del Azuay, vía a cargo del Ministerio de Transporte y Obras Públicas, con el propósito de evaluar varios aspectos tanto funcionales como estructurales, a fin de conocer la condición actual del pavimento; mediante equipos de alta tecnología facilitados por la empresa INEXTEC.

5.1 INFORMACION PRELIMINAR.

La carretera esta constituida por 2 carriles bidireccionales, los mismos que al evaluarlos se encontraban con una reconstrucción reciente.

Las Características Geométricas de la carretera se muestran en la Tabla No. 5.1.

TABLA No. 5.1.- Características Geométricas de la Carretera Cumbe - Oña

Longitud de la Vía	20.1 Km
Ancho de Vía	11.0 m
Carriles por Calzada	2
Espaldón	Sí

Esta vía es utilizada a diario por vehículos pesados, los mismos que se dirigen de zonas del Sur hacia al Norte o Viceversa.

5.2 INVESTIGACION APLICADA.

Las características actuales del pavimento existente se determinan con base a la evaluación funcional y estructural del pavimento mediante la captura de datos de campo con equipos de tecnología de punta y alto rendimiento. Estos resultados nos permitirán emitir un diagnóstico del comportamiento del pavimento. Sobre la base del diagnostico se emitirán las recomendaciones pertinentes.

Los ensayos que se realizaron en la carretera fueron los siguientes:

- Ensayo de Deflectometría. Equipo utilizado: Deflectómetro de Impacto (FWD)
- Ensayo de Regularidad Longitudinal. Equipo utilizado: Perfilómetro Laser

- Ensayo de Perfil Transversal. Equipo utilizado: Transversal Profiler Logger
- Ensayo de Fisuración Unificado. Equipo utilizado: Digital Monochrome Scan
- Ensayo de hidrodeslizamiento. Equipo utilizado: Péndulo Británico
- Inspección Visual Digital. Equipo utilizado: Video Filmadora
- Inspección Visual Manual

Los resultados de los ensayos se muestran en los anexos correspondientes, a continuación daremos una explicación de los mismos.

5.2.1 ENSAYOS ESTRUCTURALES.

La evaluación estructural tiene por objeto determinar la capacidad del pavimento existente y las características del suelo de subrasante, a fin de obtener parámetros que nos permita diagnosticar y diseñar la rehabilitación del pavimento, en concordancia con la evaluación funcional y de conformidad con el tráfico previsto para el período de diseño.

DEFLEXIONES Y MODULOS ELASTICOS

Mediante este ensayo se determina la capacidad estructural de pavimento. Los datos que se obtienen son:

- cuenco de deflexiones,
- carga en KN, y
- Temperatura en º C

Mediante el deflectómetro de impacto (Falling Weight Deflectometer, FWD) de la Casa Carl Bro, debidamente calibrado, se realizaron los ensayos de deflexiones a lo largo del Proyecto con una frecuencia de 50 m. en tres bolillo para los dos carriles en los dos sentidos de circulación.

Parámetros de Captura de Datos

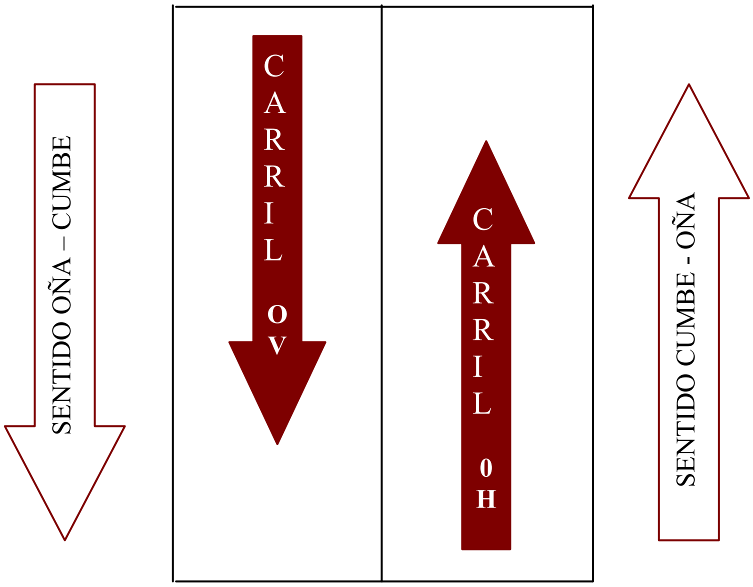
- Altura de caída: 120 mm
- Tipo de Pavimento: Concreto Asfáltico
- Distancia recorrida por carril: 100 m
- Rango de Temperatura: 5º - 38º
- Golpes de Ensayo: 2

La colecta de datos se registró directamente desde el FWD hasta el programa ROSY DATA COLLETION, mientras que el procesamiento de datos y determinación de las curvas de deflexiones y los correspondientes módulos elásticos se ejecutaron mediante retrocálculo utilizando el programa ROSY DESIGN.

Como insumos de entrada del programa se utilizaron los datos de espesores, tráfico y número acumulado de ejes equivalentes proyectados hasta el año 2015, del estudio de IAD Cia. Ltda. realizado en el año 2001.

En la Figura No.5.1 se indica la distribución de los carriles con su respectiva identificación.

FIGURA No. 5.1.- Distribución de Carriles



Los reportes respectivos se muestran en el Anexo No. 1, en el cual se presenta:

- El informe de los valores de curvas de deflexión para cada abscisa en los dos sentidos de circulación.

- Se han calculado las deflexiones representativas de cada sección con el percentil 85. Se muestran también histogramas de deflexiones y cálculo de secciones homogéneas mediante el procedimiento de las diferencias acumuladas AASHTO 93.

- Para cada sección se presentan también los módulos elásticos resultantes de las capas de pavimento, habiendo considerado un modelo de 4 capas: Carpeta asfáltica, capa granular (base+subbase), mejoramiento y subrasante.

- Finalmente se muestran los reportes gráficos del ROSY DESIGN, en los cuales se consignan los espesores de refuerzo y la vida remanente del pavimento. existente actualmente.

La Intensidad Media Diaria de Vehículos Pesados (IMDp) para todo el tramo es de 360 vehículos pesados, valor obtenido del estudio de IAD Cía. Ltda. del año 2001.

En el siguiente Tabla No. 5.2, se consignan los valores representativos de deflexiones de cada sección con el percentil 85:

Tabla No. 5.2 DEFLEXIONES MAXIMAS (umm)

	CARRIL DERECHO	CARRIL IZQUIERDO
0+000 – 5+500	857	802
5+500 – 8+800	940	986
8+800 – 13+050	785	907
13+050 – 16+300	776	744
16+300 – 20+100	937	863

Las deflexiones son similares para los dos sentidos de circulación y no existe mucha variación entre secciones. Sus valores son menores a las registradas en el estudio del año 2001 (sin base asfáltica), cuyos valores se encontraban en el rango de 880 a 1300.

En la Norma Española, Orden Circular 9/2002 Sobre Rehabilitación de Firmes, se definen los valores límite de deflexiones sobre los cuales no existe vida remanente, en atención al tráfico de vehículos pesados. El umbral para la carretera Cumbe – Oña es de 1000 umm; con este concepto, se puede determina que la vía se encuentra cerca del umbral del agotamiento estructural.

En el Anexo 1, se presentan los reportes correspondientes de las corridas del programa Rosy Design, en los que se muestran los módulos elásticos de las capas de pavimento y la subrasante, la capa crítica estructuralmente, los espesores de recrecimiento para cada sección homogénea y la vida remanente del pavimento. En los Tablas No. 5.3 y No. 5.4 a continuación, se resumen los módulos por carril y por secciones.

Tabla No. 5.3 MODULOS ELASTICOS CARRIL DERECHO (MPa)

	CARPETA ASFALTICA	BASE GRAN. + SUBBASE	SUBRASANTE
0+000 – 5+500	3107	67	88

5+500 – 8+800	2254	69	64
8+800 – 13+050	2274	87	69
13+050 – 16+300	1971	95	67
16+300 – 20+100	1334	118	76

Tabla No. 5.4 MODULOS ELASTICOS, CARRIL IZQUIERDO (MPa)

	CARPETA ASFALTICA	BASE GRAN. + SUBBASE	SUBRASANTE
0+000 – 5+500	2880	79	91
5+500 – 8+800	2271	68	79
8+800 – 13+050	2231	65	69
13+050 – 16+300	2288	103	76
16+300 – 20+100	1432	151	69

Como puede observarse en los Tablas 5.3 y 5.4, los valores de módulos de la capa granular (base + subbase), son muy bajos, indicando su falta de capacidad de soporte debida a su alta humedad evidenciada por el afloramiento de agua en la calzada (Ver anexo fotográfico). Los valores de la subrasante determinan un suelo homogéneo a lo largo de los dos tramos, para efectos estructurales, su condición es regular.

Esta circunstancia se confirma, con los resultados obtenidos de los ensayos destructivos realizados en el año 2001, los mismos que indican lo siguiente:

Material granular de Base

El rango de humedad del material de base se encuentra en 9 a 14 %.

El Índice de Plasticidad del sector 0+000-5+500 es NP; del 5+500-20+100 tiene una plasticidad entre 8 y 10

La capacidad de soporte CBR se halla entre 9 y 30 %, siendo el sector del Km 5 al Km. 9 el de menor capacidad de soporte con 10 %.

Como puede apreciarse el material de base no cumple especificaciones.

Material granular de Subbase

El rango de humedad del material de subbase se encuentra en 8 a 18 %

El Índice de Plasticidad del sector del Km. 4 al Km. 8 tiene índices de 3-10; el resto es NP.

Los valores CBR se hallan entre 20 y 30 %.

Como puede apreciarse el material de subbase tiene ligeramente mejores características que la base, sin embargo tampoco cumple especificaciones.

A continuación un resumen de los espesores por secciones homogéneas en el Tabla No. 5.5:

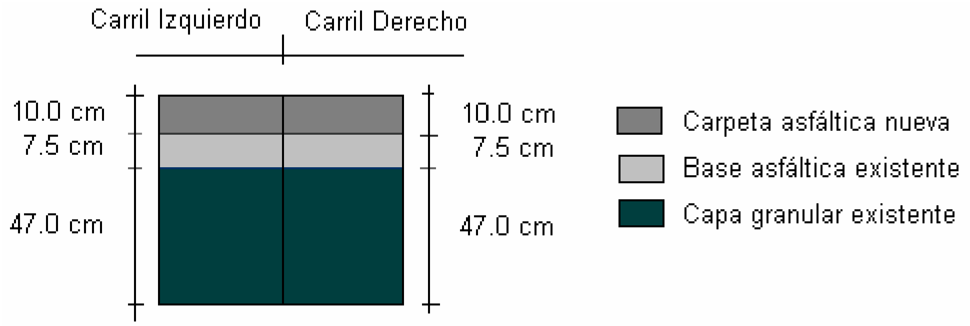
Tabla No. 5.5. ESPESORES

Abscisa		Capa Asfáltica (cm)	Capa Granular (cm)	Mejoramiento (cm)	Total Granular (cm)
Desde	Hasta				
0+000	5+500	7,50	47	258	305
5+500	16+300	7,50		34	81
16+300	20+100	9,00	53	26	79

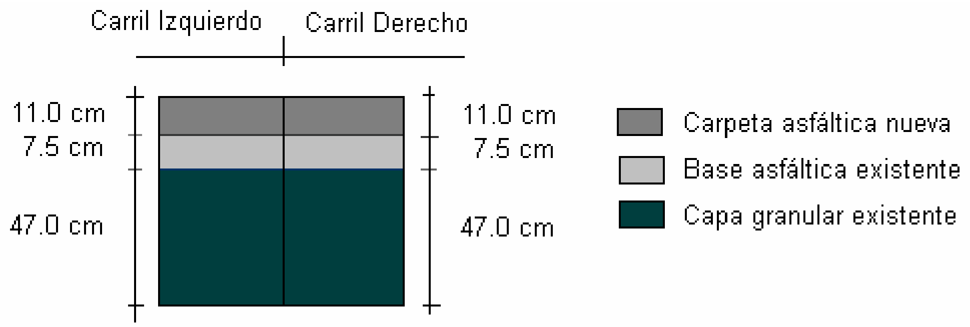
Se ingresaron los datos de secciones por espesores en el programa Rosy Design (tráfico, deflexiones, espesores y ancho de calzada), cuyas corridas fueron efectuadas para un período de 10 años. Los reportes del programa contienen: módulos de elasticidad de cada capa, vida remanente y refuerzo requerido por secciones homogéneas, todos estos valores se incluyen de manera detallada en el Anexo 1

Los espesores de recrecimiento obtenidos del Programa Rosy Design, no hacen diferenciación de capas de pavimento, sino que recomienda un espesor total de refuerzo, por lo que este análisis se ha complementado con el Método AASHTO-93, a fin de poder realizar un adecuado tanteo de posibilidades de diseño. Con información bibliográfica proporcionada por el MTOP se obtuvieron los datos de tráfico, se ha determinado una confiabilidad de 95 %, tomando en cuenta la incertidumbre existente en cuanto al tráfico y un valor del error estándar combinado de 0.49 y una pérdida de serviciabilidad de 2. El proceso de diseño del pavimento por el método ASSHTO, se muestra en el Anexo 1 y un grafico de sus resultados por sección a continuación.

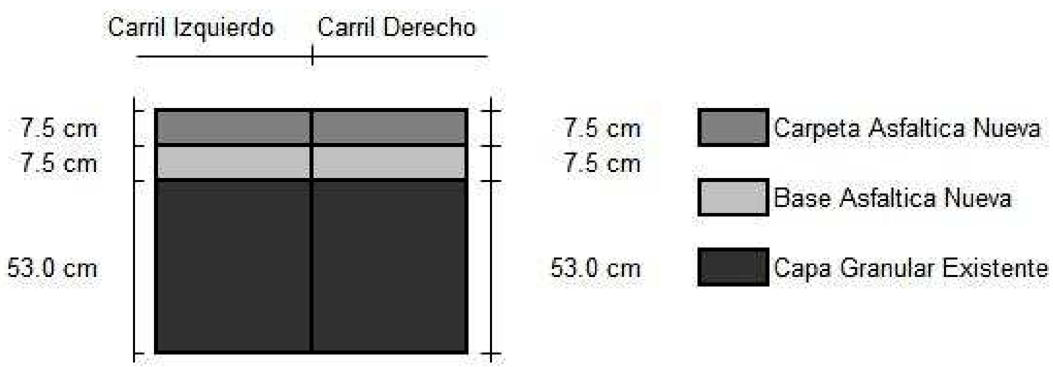
Sección 0+000 – 5+500



Sección 5+500 – 16+500



Sección 16+500 – 20+100



5.2.2 ENSAYOS FUNCIONALES.

- Índice de Regularidad Internacional (IRI)
- Surco de Huella (TPL)
- Resistencia al Hidrodeslizamiento (SRV)
- Índice Unificado de Fisuramiento (UCI)

- Video Georeferenciado

INDICE DE REGULARIDAD LONGITUDINAL (IRI en m/Km.)

Para determinar el Índice de Regularidad Internacional (IRI), se utilizó el Perfilómetro Laser. Para la ejecución del ensayo se recorrió la vía en los dos sentidos de circulación.

El IRI nos da una medida de la calidad de rodadura del pavimento, influyendo en el confort y seguridad de circulación de los usuarios, a más de que es un parámetro importante para el análisis de rentabilidad económica de una vía.

Las medidas fueron tomadas cada 10 m a lo largo del proyecto, luego se estableció un promedio por Hectómetro.

Parámetros de Captura de Datos

- Variación de la Velocidad: 10 y 70 Km/h
- Peso del Vehículo: 450 Kg
- Puntos por Kilómetro: 100

El reporte de los ensayos realizados y su procesamiento se muestra en el Anexo No. 2.

Un resumen de resultados por secciones se muestra en el siguiente Tabla No. 5.6:

Tabla No 5.6. INDICE DE REGULARIDAD INTERNACIONAL

IRI (m/Km)

	CARRIL DERECHO	CARRIL IZQUIERDO
0+000 – 5+500	3,00	3,12
5+500 – 8+800	4,36	3,97
8+800 – 13+050	4,06	3,99
13+050 – 16+300	3,95	4,28
16+300 – 20+100	6,56	7,78

Los resultados mostrados en el Tabla 5.6, indican que, en general, los valores de irregularidad longitudinal para los 2 carriles son muy similares, siendo el carril izquierdo ligeramente superior al derecho.

Entre el 0+000 y el 16+300, sector en el cual se halla colocada la base asfáltica, el IRI varía de 3,0 a 4,28. Los valores de IRI en la sección 0+000 – 5+500, se hallan dentro de lo aceptable para este tipo de vías, mientras que del 5+500 al 16+300 son altos para una pavimento recientemente rehabilitado.

La última sección, entre el Km. 16+300-20+100, tiene los valores superiores, debido a que en esta sección no se ha realizado aún la colocación de la base asfáltica.

En el gráfico de IRI se observan también los sitios en los que el pavimento presenta deterioros excepcionales debido a hundimientos, baches, etc. o drenaje insuficiente.

SURCO DE HUELLA (Rut Dep.)

La falla del pavimento denominada surco de huella, es causada por las cargas de tráfico. En gran escala y alta severidad, indica deterioro estructural del pavimento por fatiga de las capas y/o la subrasante.

La información sobre el surco de huella, fue recopilada mediante el equipo denominado Transversa Pro file Coger (TPL). El equipo es enganchado en un asta, diseñada y colocada en la parte delantera del vehículo, desde la cual se captura los datos del perfil a través de los sensores.

Las medidas fueron tomadas cada 10 m a lo largo del proyecto, luego se determino un promedio por Hectómetro

Parámetros de Captura de Datos

- Variación de la Velocidad: 10 y 70 Km/h
- Sensores Utilizados: 20 (Alas recogidas)
- Puntos por Kilómetro: 100

Los datos registrados, así como su procesamiento y reportes correspondientes, y los gráficos ilustrativos, se consignan en el Anexo No.3 y un resumen en el Tabla No. 5.7.

Se puede observar que los valores representativos de surco de huella en los 2 carriles son similares y se encuentran en magnitudes de baja y mediana severidad, a excepción de ciertos sectores en los cuales el deterioro es singular, con altas deformaciones, piel de cocodrilo y baches de alta severidad.

Lo anteriormente expresado indica que el pavimento, a pesar de que ha sido parcialmente rehabilitado con una capa asfáltica de 7,5 cm. de espesor, ya presenta deformaciones plásticas evidenciadas por los valores de surco de huella y fisuras piel de cocodrilo (Ver Anexo fotográfico).

A continuación, en el Tabla No. 5.7, se presenta un resumen de los valores de surco de huella promedio para cada sección y carril.

Tabla No. 5.7. SURCO DE HUELLA (mm)

	CARRIL DERECHO	CARRIL IZQUIERDO
0+000 – 5+500	13,67	13,89
5+500 – 8+800	16,45	16,77
8+800 – 13+050	16,12	15,59
13+050 – 16+300	14,43	16,65
16+300 – 20+100	14,22	15,55

RESISTENCIA AL HIDRODESLIZAMIENTO (SRV)

La resistencia al patinaje o hidrodeslizamiento de la superficie de una vía es la medida de la habilidad del pavimento para prevenir el patinaje y simplemente es el coeficiente de fricción entre la llanta y la superficie de la vía ante la presencia de agua.

Este parámetro ha sido medido mediante el Péndulo Portable de Comprobación Portátil (Portable Skid Resistance Tester PSRT), desarrollado por el TRRL. El equipo es de tipo manual.

Las medidas fueron tomadas cada 500 metros, cada uno de los carriles, en las curvas, pendientes altas y en los sitios de mayor incidencia de frenado.

Con este ensayo se obtiene el Coeficiente de Fricción Longitudinal (CFL) y el Coeficiente de Fricción Transversal (CFT), que determinan si la fricción del pavimento es aceptable o no.

Los reportes se muestran en el Anexo No.4, y un resumen de los valores resultantes para cada tramo y carril se presenta a continuación:

Tabla No. 5.8. RESISTENCIA AL HIDRODESLIZAMIENO SRV

	CARRIL DERECHO	CARRIL IZQUIERDO
0+000 – 5+500	65	62
5+500 – 8+800	62	64
8+800 – 13+050	69	67
13+050 – 16+300	70	68
16+300 – 20+100	58	57

El valor admisible para el de tráfico y características geométricas y de operación de esta vía, es SRV> 55. Por lo tanto la superficie de rodadura en este caso, tiene suficiente resistencia al patinaje en presencia de lluvia, a todo lo largo del estudio.

INDICE UNIFICADO DE FISURACION (UCI)

El Índice Unificado de Fisuración (UCI en %), desarrollado por la AASHTO, da una medida del grado de fisuración del pavimento, siendo que un UCI de 100 indica que no existen fisuras, mientras que el valor de 0 representa un fisuramiento total.

El equipo utilizado para este ensayo fue el Scanner Láser, consiste de una cámara de alta resolución montada en un pedestal de tal manera que registra imágenes del pavimento mientras avanza el vehículo. Dichas imágenes son procesadas mediante un programa computacional para determinar el porcentaje de fisuración correspondiente.

Las medidas fueron tomadas a lo largo del proyecto en forma continua, luego se obtuvo un promedio por Hectómetro.

Parámetros de Captura de Datos

- Variación de la Velocidad: 10 y 60 Km/h
- Altura de Asta: 3.65 m
- Intensidad de Luz: 0.001 milisegundo – 0.1 segundo

En el Anexo V se muestran los reportes y gráficos de los ensayos y a continuación, en el Tabla No. 5.9 se presenta un resumen de los valores obtenidos.

Si bien los valores reportados expresan que el pavimento está en condiciones generales buenas, es necesario tomar en cuenta que estos reportes son un ponderación de toda la sección, siendo necesario observar en los gráficos y las tablas de valores de UCI por abscisas (Anexo No. 5) para darnos cuenta que existen sectores con fisuras piel de cocodrilo, deformaciones y baches más del afloramientos de agua en la calzada, acompañada de inicios de fisuramientos.

Tabla No. 5.9. INDICE UNIFICADO DE FISURACION (UCI)

	CARRIL DERECHO	CARRIL IZQUIERDO
0+000 – 5+500	99,56	98,90
5+500 – 8+800	99,34	98,97
8+800 – 13+050	99,20	99.26
13+050 – 16+300	99,18	99,47
16+300 – 20+100	99.80	99,86

REGISTRO EN VIDEO

El equipo de video consiste de una cámara que registra las imágenes al mismo tiempo que se realiza la captura de datos de Irregularidad longitudinal, transversal y GPS.

El video digitalizado sincroniza todos los datos recolectados y muestra información con las características de la carretera de acuerdo con las imágenes de la vía, tales como: velocidad, distancias, información del GPS, etc. El documental de video se anexa en archivo magnético.

Parámetros de Captura de Datos

La captura de datos a través de este equipo dependerá del nivel de ensayo. Los datos a obtener están entre otros:

- Puntos Referenciales (pueblos, puentes, etc.)
- Baches

- Parches
- Etc.

Se ha realizado un registro de eventos georeferenciados mediante el GPS, habiendo obtenido un catálogo actualizado de Baches y Parches, cuyos reportes se encuentran en el Anexo No. VI. Estos datos son de mucho valor para la determinación y localización de los tratamientos adecuados para corregir fallas existentes de los pavimentos previos a eventuales refuerzos posteriores.

5.3 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

5.3.1 CONDICIÓN ACTUAL.

En este tramo la intervención de rehabilitación efectuada es la Alternativa 2, recomendada en el estudio del año 2001, es decir la colocación sobre el pavimento existente de 7,5 cm. de base asfáltica y 7,5 cm. de capa de rodadura de hormigón asfáltico. Actualmente se tiene colocada la capa de base asfáltica, sin que se haya realizado bacheo y sellado de fisuras.

Los reportes del RoSy Design de INEXTEC (Anexo 1), obtenidos en base al estudio deflectométrico indica refuerzos sobre la base asfáltica actual de 10,0 cm. para la sección 0+000 a 9+500 y 8,0 cm. entre las abscisas 9+500 a 16+100, lo cual es un poco superior a los 7,5 cm. del diseño original y para el tramo del 16+100 al 20+100 una capa de 7,5 de rodadura y otra de 7,5 cm de base asfáltica nueva.

De las evaluaciones estructurales aplicadas se revela que la solución de pavimentos, es deficitaria, puesto que acusa insuficiencia en el espesor de pavimento, sumado al hecho de que se contrato un recapeo de hormigón asfáltico sobre una base granular a la vista de los propios diseños con una capacidad resistente totalmente disminuida, CBR entre 10 y 15 sobre 100; lo cual debió inducir a una intervención de estabilización previa de la base granular.

Otra característica gravitante de esta rehabilitación esta marcada por el hecho de que no se ejecutaron las actividades previas de mantenimiento como son el bacheo y sellado de fisuras, antes de la colocación de la base asfáltica, lo cual ha dado lugar al aparecimiento de fallas prematuras evidenciadas por los fisuramientos, surcos de huella y baches que se observan en la calzada, localizados especialmente en las secciones estructuralmente deficitarias. Esto se explica además en el hecho de que estas capas granulares han trabajado como capas de carga directa (solamente con DTSB) prácticamente desde su construcción, evidenciado por la pérdida de compacidad, capacidad portante y elevada condición de humedad.

Es evidente en la situación actual que los alcances de las intervenciones de mantenimiento y construcción de las obras de drenaje vial, es muy limitada, lo cual contribuye al rápido deterioro de la base asfáltica, en un entorno más lluvioso y matizado por elevada humedad en el terreno.

Por estos motivos es necesario que para el tramo que aún no está rehabilitado, se estudie la posibilidad de realizar actividades de mejoramiento del drenaje y/o subdrenaje y ejecutar un tratamiento de la base granular a fin de dotarle de la capacidad estructural adecuada mediante la inclusión de cemento o alternativamente densificación de las capas granulares de base y sub-base, para incrementar su resistencia a las tensiones horizontales.

5.3.2 CONDICIÓN FUTURA.

Disponer la ejecución de los trabajos suficientes de mantenimiento, construcción complementaria y correctiva del drenaje longitudinal, así como el subdrenaje en la zona lateral del camino, a fin de contribuir al drenaje interno del pavimento.

Ejecutar con los trabajos de bacheo mayor y menor, incluyendo según el caso la estabilización de la base granular, ya mediante recompactación o recompactación más estabilización con cemento, para controlar su contaminación y exceso de humedad, antes de la reposición de la base asfáltica. Para el efecto, en el Anexo VI, bajo el título de Catálogo de Baches y Parches, se tiene un registro completo georefenciado con abscisados en los sitios de bacheo mayor y menor y sello de fisuras.

Evitar el bacheo superficial cuando es evidente la necesidad de intervenir en la base granular, proporcionándole todo el atributo técnico a las tareas de mantenimiento, mediante un estricto seguimiento de normas.

Concluidos los trabajos a nivel de base asfáltica se recomienda la colocación de un sello simple de impermeabilización como actividad previa a la colocación del refuerzo estructural.

5.3.3 RECOMENDACIONES

En la capa asfáltica existente, que se encuentra a nivel de base asfáltica, se recomienda la colocación de un sello simple de impermeabilización como actividad previa a la colocación del refuerzo estructural resultante en las secciones 1 y 2 es decir 10, 11 cm respectivamente y para la sección 3 un refuerzo de 7.5 cm de base asfáltica y luego una capa de rodadura de 7,5 cm, de hormigón asfáltico mezclado en planta, de acuerdo a la metodología AASHTO-93.,