

Estudios Técnicos del Programa

**PROGRAMA DE INTEGRACIÓN VIAL REGIONAL Y PROPUESTA DE REFORMULACIÓN
DEL PRÉSTAMO 2470/BL-HO
(HO-L1104)**

1. Introducción y Resumen ejecutivo
2. Descripción de Proyecto
3. Informe de Pavimentos Júcaro Galán – Amatillo
4. Informe de pavimentos Júcaro Galán – Choluteca
5. Informe Final Hidrológico Júcaro Galán – Amatillo
6. Informe Final Hidrológico Júcaro Galán – Choluteca
7. Estudio Estructural

1. INTRODUCCIÓN Y RESUMEN EJECUTIVO

El Corredor Sur de Honduras forma parte de la histórica Carretera Panamericana, que es un sistema de carreteras de aproximadamente 25,800 km de longitud, que enlaza casi a todos los países del continente americano. Esta Ruta Panamericana fue concebida en la V Conferencia Internacional de los Estados Americanos en 1923, celebrándose el Primer Congreso Panamericano de Carreteras en Buenos Aires en 1925, al que siguieron los de 1929 y 1939.

En Honduras el tramo de la Carretera Panamericana comenzó a construirse, a nivel de terracería, con la asistencia del Bureau of Public Roads (BPR), de los Estados Unidos de América, en los años entre 1945 a 1950 y después se pavimentó con doble tratamiento superficial asfáltico en la década de los años 50, siendo el primer trabajo de pavimentación en Honduras.

En los años 80 se efectuaron trabajos de rehabilitación con concreto asfáltico, ya que el volumen de tráfico se había incrementado notablemente.

Actualmente, El Corredor Sur de Honduras comprende 138.11 km de longitud, distribuidos de la siguiente forma: El Amatillo –Jicaro Galán (40.96 km, CA-1), Jicaro Galán- Choluteca (56.84 km, CA-1) incluyendo el Libramiento de Choluteca, y Choluteca – Guasaule (40.58 km, CA-3).

Este tramo pavimentado con concreto asfáltico, en regular y mal estado, es necesario que sea rehabilitado y mejorado por su importancia nacional e internacional, ya que forma parte de:

1. La red vial principal de Honduras, cruza los departamentos de Valle y Choluteca, contribuyendo al crecimiento productivo, turístico e intercambio comercial de la zona sur del país.
2. El Corredor Pacífico (CP), perteneciente a la Red Internacional de Carreteras Mesoamericanas (RICAM), que es el principal corredor logístico de integración de transporte y comercio de la región mesoamericana.

Al desarrollarse la rehabilitación y mejoramiento del Corredor Sur se cumplirán objetivos específicos del proyecto Mesoamérica:

-Ajustar los tramos del CP a las condiciones de infraestructura propuesta para la RICAM en el Memorándum de Entendimiento de Mérida (junio 2002).

- Lograr la circulación de los vehículos de pasajeros y carga en condiciones seguras, desde el punto de vista vial y personal.
- Definir los límites de pesos y dimensiones de vehículos.

Se considera que el Corredor del Pacífico es la alternativa más eficiente para modernizar el sistema de carreteras mesoamericanas, une a México con Panamá por medio de 3,210 km, cruza 7 países, transporta el 95% de los bienes comerciados en la región y es la ruta más corta y de menos altitud promedio sobre el nivel del mar.

Características y Estado actual de los tramos carreteros:

1. Jicaro Galán-El Amatillo. (CA-1)

Este tramo carretero, pavimentado con concreto asfáltico, de dos vías y 40.96 kilómetros de longitud, corresponde a la Ruta CA-1, según la clasificación de la Red Vial Pavimentada Nacional de la Secretaría de Infraestructura y Servicios Públicos (INSEP). Enlaza las comunidades de El Amatillo, Nacaome y Jicaro Galán, es ruta de acceso a las comunidades de Goascorán, Langue y Alianza, y parte importante del Corredor Pacífico (CP)de la Red Internacional de Carreteras Mesoamericanas, y de la Carretera Panamericana, además de ruta de intercambio comercial con la República de El Salvador.

Actualmente el pavimento de este tramo presenta baches aislados, deterioro en los hombros, el drenaje tiene un 42% de tubería metálica que debe ser reemplazada. En general este tramo es el que presenta menos deterioros de los tres tramos del CP.



2. Jicaro Galán-Choluteca

Es un tramo Carretero pavimentado con concreto asfáltico de dos vías y 56.84 kilómetros de longitud, incluyendo el libramiento de la ciudad de Choluteca, enlaza Jicaro Galán con las comunidades de San Lorenzo, La Criba, Marcovia, Santa Elena, Orocuina y la ciudad de Choluteca, recorriendo los departamentos de Valle y Choluteca. Forma parte de los Ramales y Conexiones Complementarias de la Red Internacional de Carreteras Mesoamericanas (RICAM), y de la Carretera Panamericana, además de ruta de acceso con la República de Nicaragua.

Actualmente este tramo presenta una superficie de rodadura deteriorada con baches abiertos, fallas en pavimento del tipo piel de cocodrilo, hombros que requieren su reconstrucción, tiene un 75% de tuberías metálicas en mal estado que hay que restituir La tubería de concreto reforzado se encuentra en buen estado, pero muchos de los cabezales de entrada y salida están dañados.

Ruta CA-1 Oriente, Jicaro Galán - San Lorenzo



Ruta CA-1 Oriente, Santa Elena - Choluteca



3. Choluteca-Guasaule

Tramo carretero pavimentado con concreto asfáltico de dos vías y 40.6 kilómetros de longitud, enlaza las comunidades de El Triunfo, San Jerónimo, Namasigue y Choluteca, parte importante del Corredor Pacífico de la Red Internacional de Carreteras Mesoamericanas, y de la Carretera Panamericana, además de ruta de intercambio comercial con la República de Nicaragua.

De los tres tramos del CP este es el que presenta un mayor grado de deterioro, pavimento con deterioro tipo piel de cocodrilo de alta severidad, baches, hombros destruidos, drenajes obstruidos, el 80% de las tuberías son metálicas y necesitan ser reemplazadas. La tubería de concreto reforzado está en buen estado, pero muchos de sus cabezales de entrada y salida están dañados, las entradas y salidas de las alcantarillas tienen acumulación de maleza y sedimentos, requiriendo limpieza y/o obras complementarias para su correcto funcionamiento.



2. DESCRIPCION DEL PROYECTO

El proyecto consiste en el mejoramiento y rehabilitación de la carretera CA-1 y CA-3, mismas que son parte del Corredor Sur de Honduras que inicia en la frontera con El Salvador en El Amatillo y llega al empalme con la carretera CA-5 Sur en Jicaro Galán (Tramo: 1 de la CA-1), el Tramo 2 entre Jicaro Galán y Choluteca (CA-1) incluye el Libramiento de la ciudad de Choluteca (Ruta 17), y el Tramo 3, parte de la CA-3 entre Choluteca-Guasaule.

Para todos los tramos se realizaron los estudios solicitados en los Términos de referencia: Geológicos-Geotécnicos, Estructurales, Hidrológicos e Hidráulicos, de tráfico, Ambientales, etc...

En relación a la estructura de pavimento, con el fin de optimizar al máximo la estructura y la inversión existente, de acuerdo a lo estipulado en los Términos de Referencia, se analizaron dos alternativas de rehabilitación.

Jicaro Galán-El Amatillo

De los tres tramos objeto de este Estudio este es el que se encuentra en mejor estado, fue rehabilitado hace aproximadamente 10 años y su vida útil residual, todavía es suficiente para afrontar la demanda de tráfico de los siguientes 10 años colocándole un espesor mínimo de capa asfáltica de 4 cm, con la cual restablecerá su serviciabilidad.

De igual forma se ha estudiado la alternativa de pavimentación con Concreto Hidráulico, la cual después de los estudios realizados ha sido descartada por el Contratante, ya que la misma aunque es técnicamente viable, económicamente es menos factible que la alternativa de pavimento flexible.

Jicaro Galán-Choluteca

Este tramo presenta más deformaciones y deterioros, ya que parte de su longitud tiene más de 20 años de haber sido rehabilitada, en él también se analizaron alternativas de pavimentación con Concreto Asfáltico y con Concreto Hidráulico, después de los estudios realizados, se ha recomendado un fresado de entre 1 y 3 cm de la superficie existente, que corregirá las deformaciones acumuladas a lo largo de la vía, reparar los daños que presenta la estructura, mediante bacheo asfáltico, sello de grietas, etc... y la colocación de una carpeta asfáltica variable entre 8 y 11 cm.

Se analizó la alternativa de concreto hidráulico resultando de igual forma viable técnicamente, pero económicamente menos factible.

Adicionalmente, con el fin de proporcionar seguridad a los usuarios de la carretera, se diseñaron intersecciones, paradas de buses, ciclovías, paradas de mototaxis, entre otras

CONTENIDO

| | |
|--|----|
| CONTENIDO | 1 |
| 1. Información general..... | 4 |
| 1.1 Introducción | 4 |
| 1.2 Localización..... | 4 |
| 1.3 Alcance | 5 |
| 2. Metodología..... | 5 |
| 2.1 Proyección de tráfico y equivalencia de ejes | 5 |
| 2.2 Deflectometría..... | 6 |
| 2.2.1 Descripción del equipo..... | 6 |
| 2.2.2 Revisión del Equipo | 7 |
| 2.2.3 Inspección Visual..... | 7 |
| 2.2.4 Recolección de Datos..... | 8 |
| 2.2.5 Revisión de Datos..... | 8 |
| 2.3 Definición de unidades de diseño mediante diferencias acumuladas | 9 |
| 2.4 Metodología para la medición de rugosidades | 11 |
| 2.4.1 Equipo Utilizado | 11 |
| 2.4.2 Elección de Pistas de Calibración | 11 |
| 2.4.3 Calibración con rugosímetro merlin | 12 |
| 2.4.4 Calibración ROMDAS..... | 13 |
| 2.4.5 Obtención final de valor IRI..... | 14 |
| 2.5 Metodología AASHTO 93 pavimento flexible..... | 15 |
| 2.5.1 Variables generales AASHTO 93..... | 15 |
| 2.5.2 Módulo resiliente..... | 16 |
| 2.5.3 Módulo equivalente..... | 16 |
| 2.5.4 Número estructural efectivo..... | 17 |
| 2.6 Metodología AASHTO 93 pavimento rígido | 17 |
| 2.6.1 Variables Generales AASHTO 93 | 17 |
| 2.6.2 Módulo De Elasticidad Del Concreto Asfáltico | 17 |
| 2.6.3 Módulo de Rotura del Concreto | 17 |
| 2.6.4 Coeficiente de Transmisión de Carga | 17 |

| | | |
|-------|---|-------------------------------------|
| 2.6.5 | Coeficiente de Drenaje | 18 |
| 3. | Resultados..... | 19 |
| 3.1 | Proyección de Tráfico y Equivalencia de Ejes..... | 19 |
| 3.1.1 | Ejes de Diseño Tramo Jícara Galán – Nacaome (Pavimento Flexible) | 19 |
| 3.1.2 | Ejes de Diseño Sub Tramo Nacaome – El Carreto (Pavimento Flexible)..... | 21 |
| 3.1.3 | Ejes de Diseño Sub Tramo El Carreto – Amatillo (Pavimento Flexible) | 23 |
| 3.1.4 | Ejes de Diseño Tramo Jícara Galán – Nacaome (Pavimento Rígido) | 25 |
| 3.1.5 | Ejes de Diseño Tramo Nacaome – El Carreto (Pavimento Rígido) | 27 |
| 3.1.6 | Ejes de Diseño Tramo El Carreto - Amatillo (Pavimento Rígido) | 29 |
| 3.2 | Exploración geotécnica..... | 31 |
| 3.2.1 | Espesores de La Estructura de Pavimento | 31 |
| 3.2.2 | Análisis de Materiales | 31 |
| 3.3 | Inspección visual..... | 33 |
| 3.4 | Resultados de rugosidad | 37 |
| 3.5 | Unidades homogéneas | 38 |
| 3.5.1 | Deflectometría | 38 |
| 3.5.2 | Condiciones climáticas y de tránsito..... | 38 |
| 3.5.3 | Auscultación visual de fallas | 38 |
| 3.5.4 | Estratigrafía..... | Error! Bookmark not defined. |
| 3.5.5 | Unidades de Diseño Finales | 39 |
| 3.6 | Evaluación deflectométrica | 39 |
| 3.6.1 | Análisis del Bulbo De Esfuerzos. | 39 |
| 3.6.2 | Resultado de Las Mediciones de deflexiones | 40 |
| 3.6.3 | Normalización de Las Deflexiones por Carga..... | 41 |
| 3.6.4 | Normalización de Las Deflexiones por Temperatura..... | 42 |
| 3.7 | Módulo resiliente | 43 |
| 3.7.1 | Coeficiente C Utilizando Relación de CBR Y Módulos Retrocalculados. | 44 |
| 3.8 | Módulo Equivalente de La Estructura | 46 |
| 3.9 | Número Estructural Efectivo | 47 |
| 3.10 | Retrocálculo de Módulos con Análisis Mecánico..... | 48 |
| 3.11 | Bases del cálculo y ejemplo tipo para pavimento flexible | 49 |

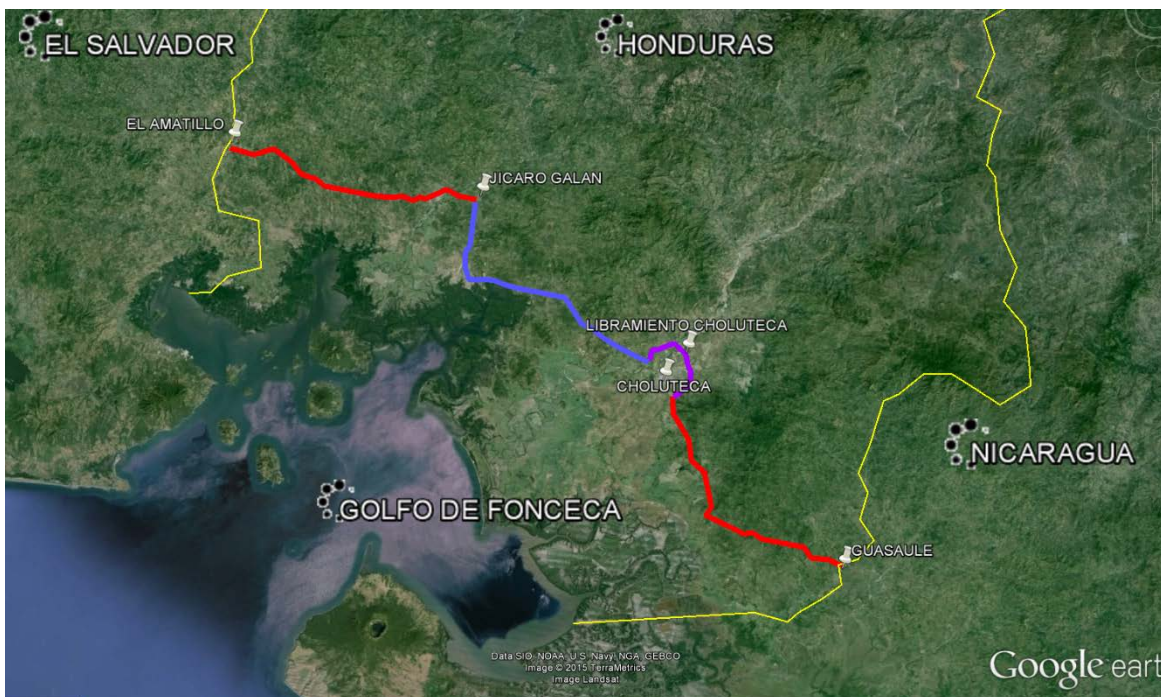
| | | |
|--------|--|----|
| 3.11.1 | Cálculo del Número Estructural Futuro Para Los Primeros 10 Años..... | 49 |
| 3.11.2 | Cálculo del Sn Agregado Para Los Primeros 10 Años..... | 50 |
| 3.11.3 | Cálculo de Espesores de Capa Asfáltica Para Los Primeros 10 Años. | 51 |
| 3.11.4 | Cálculo de Espesores de Capa Asfáltica Para Los Ultimos 10 Años. | 52 |
| 3.12 | Propuesta esquematica de rehabilitacion con pavimento flexible | 54 |
| 3.13 | Bases del cálculo y ejemplo tipo para pavimento rigido | 54 |
| 3.13.1 | Calculo del Módulo De Reacción de La Sub Rasante. | 54 |
| 3.13.2 | Calculo del espesor de losa de concreto hidraulico..... | 55 |
| 3.13.3 | Dimencionamiento de losas y dovelas..... | 57 |
| 6.1 | Bases del cálculo y ejemplo tipo para pavimento rigido | 58 |
| 4. | Conclusion..... | 59 |

1. INFORMACION GENERAL

1.1 INTRODUCCION

Este informe es complemento del estudio de reinversión contratado por INSEP, en el cual se presenta la evaluación deflectometría, análisis de la estructura de pavimento existente y dos propuesta para el diseño de pavimento; la primera utilizando pavimento flexible y una segunda utilizando pavimento rígido.

1.2 LOCALIZACION



El proyecto total se localiza en las carreteras CA-1 tramo Amatillo – Jícara Galán – Choluteca y CA-3 Tramo Choluteca – Guasaule, ambas localizadas en la zona sur de Honduras entre los departamentos de Valle y Choluteca.

1.3 ALCANCE

Este informe presenta únicamente la evaluación deflectometría, Análisis de pavimento existente y diseño de pavimento para el tramo de la carretera CA-1 Jícara Galán – Amatillo, el cual tiene una longitud de 40.3 km

2. METODOLOGIA

2.1 PROYECCION DE TRÁFICO Y EQUIVALENCIA DE EJES

Es el número y peso de todos los ejes esperados durante la vida de diseño del pavimento, expresados en ejes de 18,000 lb (8.2 ton) para cada tipo de vehículo, calculado mediante las siguientes ecuaciones:

$$W_{18} = TPDA_{acum} \times F_{eq} \times F_d \times F_c$$

$$TPDA_{acum} = TPDA \times F_p \times 365$$

$$F_p = ((1 + (i/100))^n) - 1 / (i/100).$$

Donde;

$TPDA_{acum}$, es el Tráfico promedio anual acumulado hasta el periodo de diseño.

F_{eq} o F_d es el factor de equivalencia de carga o factor de daño, para cada tipo de vehículo.

$TPDA$, es el Tráfico promedio anual (Ver cuadro inciso 2.1.1).

F_p , es el factor de proyección del $TPDA$ al periodo de diseño.

i , es la tasa de crecimiento por tipo de vehículo.

n , es el periodo de diseño.

El análisis ejes equivalentes de diseño, se efectuó tomando en consideración el estudio de tráfico y los factores de daño tanto para concreto hidráulico como para concreto asfáltico y la tasa de crecimiento para el período de análisis.

2.2 DEFLECTOMETRIA

2.2.1 Descripción del equipo

El Deflectómetro utilizado fue el modelo 8000 FWD producido por Dynatest®, el cual es un dispositivo de última generación que simula una carga dinámica y recolecta in-situ las deflexiones de las diferentes capas y subrasante.

Este equipo de Dynatest®, cumple y excede las normas estandarizadas ASTM D-4694 Y D-4695.



Deflectómetro de impacto 8000 FWD DYNATEST

Entre algunas de las principales características del equipo tenemos las siguientes:

Rango de carga Dinámica entre 7 y 120 KN (1,500 a 27,000 Lb-f)

7 Geófonos SDT (Seismic Deflection Transducer) colocados en unidades movibles hasta 2.45 m. para obtener una configuración de espaciamiento que se adapte mejor a las condiciones de la estructura que se desea analizar. Los geófonos poseen una precisión de ± 1 micrón.

Plato de carga segmentado el cual nos asegura una distribución uniforme de la presión sobre el pavimento.

Accesorios: cámara digital y GPS

Registro automático de temperatura superficial del pavimento y del aire.

En cuanto a la carga aplicada, el Deflectómetro se configuró para que realizara 2 golpes de asentamiento a diferentes alturas y 2 golpes de carga a 40KN; los golpes de asentamiento son primordiales para obtener un ensayo más preciso y representativo ya que de esta manera el plato segmentado obtiene un contacto más directo sobre el pavimento. Por otra parte, los geófonos se colocaron con la siguiente configuración de distancias:

| Geófono | D1 | D2 | D3 | D4 | D5 | D6 | D7 |
|---|----|------|------|------|------|------|-----|
| Distancia medida desde el centro del plato(m) | 0 | 0.20 | 0.30 | 0.45 | 0.60 | 0.90 | 1.5 |

Este espaciamiento nos permite tener un cuenco de deflexiones completo con el cual determinaremos la linealidad o no linealidad de la estructura de pavimento.

2.2.2 Revisión del Equipo

Para esta labor, se utiliza una lista normalizada de chequeo del equipo tanto para el inicio del día de trabajo como para el final del mismo y un control de mantenimiento conforme a las especificaciones del fabricante, el cual nos brinda un control de calidad sobre el equipo, de esta manera aumentamos la confiabilidad en las mediciones realizadas.

| | |
|--|--|
| <p>CARTA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVA</p> <p>SEMANA COMO VECEMOS MANTENIMIENTO (EN MESES) (ENERO, FEBRERO, MARZO, ABRIL, MAYO, JUNIO, JULIO, AGOSTO, SEPTIEMBRE, OCTUBRE, NOVIEMBRE, DICIEMBRE)</p> <p>SEMANA COMO VECEMOS MANTENIMIENTO CORRECTIVO (EN MESES) (ENERO, FEBRERO, MARZO, ABRIL, MAYO, JUNIO, JULIO, AGOSTO, SEPTIEMBRE, OCTUBRE, NOVIEMBRE, DICIEMBRE)</p> | <p>REGISTRO DE CONTROL DE EQUIPO DIARIO</p> <p>ANTES EN EL SITIO DE PRUEBA</p> <p>COMIENZO INICIO DURANTE FINAL</p> <p>INSPECCIONAR NEUMÁTICOS</p> <p>PLATO ABRIDA</p> <p>SEGUROS DE TRANSPORTE AFUERA EN SITIO DE PRUEBA</p> <p>SEGUROS DE TRANSPORTE ADEPTO EN SITIO DE PRUEBA</p> <p>PIR DE BIL - SACARLO AL INICIO DE LA PRUEBA</p> <p>PIR DE BIL - REEMPLAZAR AL FIN DE LA PRUEBA</p> <p>PIVOTE (SWAY) SE MUEVE LIBREMENTE</p> <p>COLOCACIÓN DE GEODINOS & CANALES CORRECTOS</p> <p>CABLES ELECTRICOS CORRECTAMENTE</p> <p>E VIDEO CAMARAS INSTALADO PARA LA PRUEBA</p> <p>M VIDEO CAMARAS RETIRADO PARA LA PRUEBA</p> <p>O COMPRESOR DE LUGAR DE BOMBAJE</p> <p>L HERRERA MANO DE FUERZA</p> <p>U CADENAS DE SEGURIDAD Y CABLE DE FRENO EMERGENCIA</p> <p>E TIRÓN ASEGURADO</p> <p>CABLES DE SENSORES GUARDO CORRECTAMENTE</p> <p>PUERTAS ENCHANCADAS EN SU LUGAR</p> <p>PUERTAS DESOLICUADAS</p> <p>PUERTAS BLOQUEADAS</p> <p>INSPECCIONAR HOJA DE VITON</p> <p>INSPECCIONAR SENSORES POR SUJECCIÓN MAGNÉTICA</p> <p>INSPECCIONAR FUGAS HIDRAULICAS</p> <p>ALICE - REMOLQUE CON FRENO HIDRAULICO</p> <p>VERIFICAR EQUIPO CON FRENO HIDRAULICO</p> <p>INSPECCIONAR TIRÓN</p> <p>INSPECCIONAR NEUMÁTICOS</p> <p>CABLES ELECTRICOS GUARDO CORRECTAMENTE</p> <p>CABLES AC SEPARADO DE CABLES DE DATA</p> <p>COMPUTADORA MONTADA</p> <p>E IMPRESORA MONTADA CON PAPEL</p> <p>H ORO MONTADO</p> <p>I NO MATERIALES EXTRANJEROS EN AREA ELECTRICA</p> <p>C INSPECCIONAR CONTRIBUCION DE ALTERNADOR</p> <p>U OBSERVAR VOLTAJE EN AMPERAJE</p> <p>L OBSERVAR IMPRESORA</p> <p>O EQUIPO ALMACENADO CORRECTAMENTE ANTES DE PRUEBA</p> <p>FUNCIONAMIENTO DE BARRA DE LUCES</p> |
| <p>Lista de chequeo Diario</p> | <p>Lista de Mantenimiento</p> |

2.2.3 Inspección Visual

Previo a la realización de los ensayos con Deflectómetro se realizó un recorrido con el objetivo de planificar de manera eficiente los ensayos y conocer las características generales del tramo; adicionalmente al momento de realizar las mediciones de deflexión, simultáneamente se registraron fotografías ligadas al estacionamiento y GPS en intervalos de 20 m a lo largo de todo el tramo. Esto se realizó con el fin de tener una memoria gráfica del proyecto y así posteriormente al momento de efectuar la revisión de datos y retrocálculo de módulos, poder verificar cualquier resultado atípico que se encuentre en el análisis de información. Esta información es valiosa no solamente para el diseño de pavimentos, sino para el personal técnico involucrado en el proyecto, ya que cada especialista podrá visualizar en detalle el tramo de estudio y prever factores que incidan en el desarrollo de sus actividades.

2.2.4 Recolección de Datos.

Los Ensayos con el Deflectómetro de Impacto para los tramos se realizaron del 11 al 22 de abril 2015, con una frecuencia de muestreo 100 metros por carril con un desfase 50 metros entre los dos carriles, obteniendo una densidad total 20 ensayos/km.

Se utilizó el software Dynatest Control Center con el Módulo FwdWin para la adquisición y registro de los datos arrojados por el Deflectómetro; el ensayo se configuró en el software mediante un perfil que hemos definido como "C. Asfáltico TEPESA", el cual define la configuración para ensayos sobre pavimento de concreto Asfáltico, controlando datos como ser el diámetro de placa, control de cadenamiento o estaciones, almacenamiento automático de temperaturas, posición de geófonos, verificación y validez de los ensayos mediante el análisis de disminución, recuperación y sobre flujo de las deflexiones leídas en los geófonos y finalmente los pasos a seguir en la secuencia del ensayo con 2 caídas de asentamiento y 2 de carga con 40 KN.

2.2.5 Revisión de Datos

Se analizó la secuencia, la consistencia y la coherencia de los datos recolectados en campo (deflexiones, temperatura, posición de geófonos, diámetro de plato, entre otras) y consolidados en la base de datos del proyecto generada por el software ELMOD (Evaluation of Layer Moduli and Overlay Design).

Adicional a esta revisión de datos obtenidos con el FWD se analizó los módulos superficiales o también llamada rigidez aparente, la cual nos ayuda a determinar las condiciones estructurales del pavimento brindándonos información como es la presencia de capas rocosas a nivel superficial o de estructura, la linealidad o no linealidad de la subrasante, agrietamientos en las capas y otras características que nos permiten efectuar un mejor retrocálculo tomando en consideración esta información brindada de este análisis.

Vista y edición de datos

archivo: 11041SLD
Base de datos: C:\Users\gerardo\Dropbox\Deflectometria\Proyecto Corredor Pacifico\Jicaro-Amatillo\Datos Procesados\Base de Datos Elnod\Jicaro-Amatillo

Número de puntos con datos: 718
Número de caídas: 2
Estación de inicio: 0
Estación final: 40300.1992
Fecha: Sábado, 11 de abril de 2015
Info del archivo

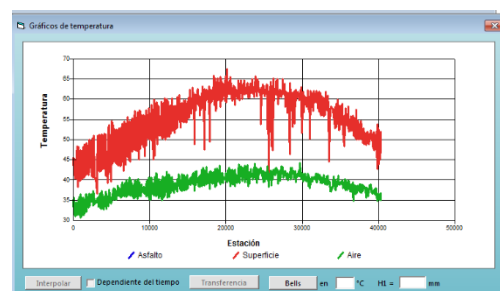
Número de geófonos activos: 6
Radio del: 150.
Ver posiciones de geófonos

Distancia de los geófonos:
1: 0 2: 200 3: 300 4: 450 5: 600 6: 900 7: 1500

| Metraje | Punto | Calid | Tensión | Carga (kN) | D1 | D2 | D3 | D4 | D5 | D6 | D7 | T.air | T.surf | T.air | Tempo | JointID | PostID |
|---------|-------|-------|---------|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|---------|--------|
| | | | KPa | KN | Micr. | Micr. | Micr. | Micr. | Micr. | Micr. | Micr. | °C | °C | °C | | | |
| 0 | 1 | 1 | 564 | 39.87 | 324.8 | 230.5 | 162.4 | 97.7 | 64.3 | 39.0 | 21.3 | | 45.6 | 35.1 | 09:00 | 0 | 0 |
| | 2 | 2 | 571 | 40.36 | 326.5 | 230.9 | 163.5 | 98.3 | 65.5 | 40.4 | 21.8 | | | | | | |
| 50 | 2 | 1 | 556 | 39.30 | 518.0 | 360.5 | 284.4 | 193.5 | 130.0 | 66.8 | 30.1 | | 41.5 | 31.6 | 18:47 | 0 | 0 |
| | 2 | 2 | 571 | 40.36 | 525.2 | 368.4 | 289.1 | 199.7 | 134.1 | 70.8 | 35.4 | | | | | | |
| 100 | 3 | 1 | 568 | 40.15 | 646.4 | 459.1 | 329.7 | 210.0 | 143.8 | 82.7 | 35.7 | | 45.4 | 35.7 | 09:03 | 0 | 0 |
| | 2 | 2 | 572 | 40.43 | 644.9 | 460.6 | 331.1 | 211.7 | 145.5 | 83.3 | 36.1 | | | | | | |
| 150 | 4 | 1 | 567 | 40.08 | 346.6 | 251.7 | 194.4 | 133.6 | 100.8 | 64.7 | 33.4 | | 41.5 | 31.3 | 18:45 | 0 | 0 |
| | 2 | 2 | 571 | 40.36 | 345.9 | 249.7 | 192.7 | 135.4 | 98.1 | 62.6 | 30.3 | | | | | | |
| 200 | 5 | 1 | 574 | 40.57 | 354.5 | 260.1 | 194.6 | 126.1 | 89.9 | 51.6 | 24.4 | | 41.9 | 34.2 | 09:04 | 0 | 0 |
| | 2 | 2 | 575 | 40.64 | 351.6 | 257.8 | 192.7 | 125.6 | 88.0 | 51.4 | 24.1 | | | | | | |
| 250.1 | 6 | 1 | 570 | 40.29 | 548.7 | 407.3 | 306.5 | 196.5 | 134.8 | 75.3 | 33.7 | | 40.3 | 31.0 | 18:44 | 0 | 0 |
| | 2 | 2 | 574 | 40.57 | 549.6 | 407.6 | 307.6 | 198.3 | 135.8 | 75.9 | 33.8 | | | | | | |
| 300 | 7 | 1 | 573 | 40.50 | 570.7 | 405.9 | 299.7 | 198.0 | 144.8 | 97.3 | 30.8 | | 45.2 | 34.5 | 09:05 | 0 | 0 |
| | 2 | 2 | 571 | 40.36 | 561.0 | 400.9 | 296.9 | 196.9 | 144.1 | 96.2 | 30.7 | | | | | | |

<Alt> + click Metraje para remover el ensayo
Botón derecho en Metraje o punto a marcar/desmarcar.

Dividir archivo Gráficos de temperatura Insertar temperaturas del asfalto Guardar nuevos datos



2.3 DEFINICION DE UNIDADES DE DISEÑO MEDIANTE DIFERENCIAS ACUMULADAS

Para establecer Secciones Homogéneas se utilizó el método de las diferencias acumuladas sobre las deflexiones en el software ELMOD y se verificó mediante el método estadístico que se basa en los siguientes pasos:

- Se realiza una hoja de cálculo en donde la primera columna denotará la abscisa del ensayo correspondiente.

$$X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, \dots, X_n$$

Siendo:

X_1 : La abscisa en el punto 1

X_n : La Abscisa en el enésimo punto.

- La segunda columna indica la respuesta (r_n) del pavimento, en nuestro caso la deflexión máxima de los 7 geófonos (D0).
- La tercera columna denominada Distancia de Intervalo mostrara la diferencia entre las Abscisas de la columna 1, longitud expresada en kilómetros.

$$\Delta X_1 = 0$$

$$\Delta X_1 = X_1 - X_0$$

$$\Delta X_2 = X_2 - X_1$$

$$\Delta X_n = X_n - X_{n-1}$$

- La cuarta columna denominada Distancia Acumulada.

$$\Sigma \Delta X_1 = 0$$

$$\Sigma \Delta X_2 = \Delta X_1 + \Delta X_2$$

$$\Sigma \Delta X_3 = \Delta X_1 + \Delta X_2 + \Delta X_3$$

$$\Sigma \Delta X_n = \Delta X_1 + \Delta X_2 + \dots + \Delta X_{n-1} + \Delta X_n$$

- La quinta columna expresa el promedio entre las deflexiones.

$$\check{r}_1 = r_1$$

$$\check{r}_2 = \frac{r_1 + r_2}{2}$$

$$\check{r}_n = \frac{r_{n-1} + r_n}{2}$$

- La columna sexta denominada el Área de Intervalo Real se determina mediante la expresión siguiente:

$$\begin{aligned} a_1 &= 0 \\ a_2 &= \Delta x_2 \times \check{r}_2 \\ a_n &= \Delta x_n \times \check{r}_n \end{aligned}$$

- La columna séptima denominada el Área Acumulada se determina mediante la expresión siguiente:

$$\begin{aligned} \sum a_1 &= 0 \\ \sum a_2 &= a_1 + a_2 \\ \sum a_3 &= a_1 + a_2 + a_3 \\ \sum a_n &= a_1 + a_2 + a_3 + \dots + a_{n-1} + a_n \end{aligned}$$

- Se determina el factor F mediante la siguiente fórmula:

$$F = \frac{\text{Area Acumulada}}{\text{Distancia Acumulada}} = \frac{\sum a_n}{\sum \Delta x_n}$$

- La columna octava determina la Diferencia Acumulada a través de la siguiente expresión:

$$\begin{aligned} Zx_1 &= 0 \\ Zx_1 &= \sum a_2 - (F \times \sum \Delta x_2) \\ Zx_n &= \sum a_n - (F \times \sum \Delta x_n) \end{aligned}$$

- Finalmente se realiza un gráfico **Abscisa vs Zx_n** , el cual nos ayudará a la visualización de las secciones homogéneas. En teoría cada vez que el gráfico cambie de pendiente, esta determinará una nueva sección. Se deberá tener en cuenta que secciones muy pequeñas son antieconómicas para un tratamiento de rehabilitación.

2.4 METODOLOGIA PARA LA MEDICION DE RUGOSIDADES

2.4.1 Equipo Utilizado

El equipo utilizado para medir la rugosidad del pavimento es el Bump Integrator (BI) DE Romdas®, el cual consiste en la medición del desplazamiento relativo de la suspensión para luego ser procesada mediante una ecuación calibrada y determinar el IRI.

Estas son algunas de las características del equipo:

- Equipo de lectura de gran confiabilidad y precisión.
- Permite evaluar pavimentos con alto nivel de rugosidad.
- Permite operar con una velocidad mínima de 10km/h.



Imagen 2.1.2-1 Rugosímetro Bump Integrator (BI)
ROMDAS

El Rugosímetro se configuró para obtener la rugosidad del pavimento en intervalos continuos de 100 metros, realizando el ensayo a una velocidad promedio de 30 km/h ya que la ecuación de calibración nos permite procesar la rugosidad para un rango de 30 a 50 km/h.

Para la obtención de un valor correcto de IRI en el proyecto de corredor pacifico se hizo uso de un equipo antes descrito para la recolección de información, el cual se correlacionó con un equipo de primer orden (Rugosímetro Merlín) en la obtención de rugosidades, después de haber realizado una serie de pasos para su adecuada calibración.

2.4.2 Elección de Pistas de Calibración

Para la selección de pistas, se hizo una visita previa al proyecto, recorriendo los 3 tramos del proyecto del corredor pacifico, visualizando tramos donde posiblemente se obtuviesen valores de IRI buenos, regulares, malos. Que oscilaran entre 1.00 y 6.00. Para utilizarlos como pistas de calibración. Ver tabla 1.

Una vez concluido el recorrido se eligieron 8 sitios que poseen una longitud aproximada de 400 metros, a los que posteriormente se les realizó la medición del IRI con equipo MERLIN y posteriormente con el equipo ROMDAS (Roughness Bump Integrator).

| NO. | COORDENADAS | | TRAMO | EST INICIAL | EST FINAL |
|-----|--------------------|--------------------|--------------------|-------------|-----------|
| 1 | 13° 14' 50.5384" N | 87° 10' 23.8135" W | CHOLUTECA-GUASAULE | 3+430.00 | 3+830.00 |
| 2 | 13° 19' 50.6540" N | 87° 09' 40.2966" W | LIBRAMIENTO | 49+410.00 | 49+810.00 |
| 3 | 13° 20' 8.8535" N | 87° 09' 48.8013" W | LIBRAMIENTO | 48+770.00 | 48+370.00 |
| 4 | 13° 31' 54.4456" N | 87° 26' 34.8179" W | JICARO-AMATILLO | 0+560.00 | 0+960.00 |
| 5 | 13° 31' 59.5627" N | 87° 33' 23.1049" W | JICARO-AMATILLO | 14+170.00 | 14+570.00 |
| 6 | 13° 15' 4.5453" N | 87° 10' 33.9485" W | CHOLUTECA-GUASAULE | 2+900.00 | 3+300.00 |
| 7 | 13° 14' 4.6201" N | 87° 09' 50.7868" W | CHOLUTECA-GUASAULE | 5+150.00 | 5+550.00 |
| 8 | 13° 08' 54.8805" N | 87° 07' 52.1815" W | CHOLUTECA-GUASAULE | 16+070.00 | 16+470.00 |

Tabla 1: Ubicación de pistas de calibración.

2.4.3 Calibración con Rugosímetro merlín

Para la realización de la calibración se hace uso del MERLIN, realizando la medición con los histogramas a una distancia de 2.16 metros por punto o vuelta de la rueda.

Esta medición se realizó 2 veces en cada pista de calibración justamente donde se presenta el ahuellamiento de las ruedas de los vehículos, obteniendo así un valor de IRI promedio en la pista de calibración. Ver tabla 2.

| SEGMENTO | EQUIPO UTILIZADO | TIPO DE RODADURA | Extremo superior | intervalos | Extremo inferior | (D) (mm) | Factor de Corrección | D Corregido (mm) | IRI (Corregido) | IRI Prom |
|----------|------------------|------------------|------------------|------------|------------------|----------|----------------------|------------------|-----------------|----------|
| Pista 1 | MERLIN | Flexible | 0.36 | 7 | 0.00 | 36.80 | 0.770 | 28.3 | 1.37 | 2.01 |
| Pista 1 | MERLIN | Flexible | 0.55 | 10 | 0.00 | 52.75 | 0.830 | 43.8 | 2.66 | |
| Pista 2 | MERLIN | Flexible | 0.33 | 16 | 0.33 | 83.30 | 0.770 | 64.1 | 3.61 | 3.80 |
| Pista 2 | MERLIN | Flexible | 0.75 | 16 | 0.60 | 86.75 | 0.830 | 72.0 | 3.98 | |
| Pista 3 | MERLIN | Flexible | 0.60 | 5 | 0.94 | 32.69 | 0.770 | 25.2 | 1.22 | 1.21 |
| Pista 3 | MERLIN | Flexible | 0.00 | 6 | 0.00 | 30.00 | 0.830 | 24.9 | 1.21 | |
| Pista 4 | MERLIN | Flexible | 0.67 | 6 | 0.20 | 34.33 | 0.770 | 26.4 | 1.28 | 1.23 |
| Pista 4 | MERLIN | Flexible | 0.00 | 5 | 0.82 | 29.09 | 0.830 | 24.1 | 1.17 | |
| Pista 5 | MERLIN | Flexible | 0.67 | 5 | 0.00 | 28.33 | 0.770 | 21.8 | 1.06 | 1.02 |
| Pista 5 | MERLIN | Flexible | 0.91 | 3 | 0.92 | 24.15 | 0.83 | 20.0 | 0.97 | |
| Pista 6 | MERLIN | Flexible | 0.00 | 19 | 0.00 | 95.00 | 0.83 | 78.9 | 4.31 | 4.37 |
| Pista 6 | MERLIN | Flexible | 0.67 | 19 | 0.00 | 98.33 | 0.83 | 81.6 | 4.44 | |
| Pista 7 | MERLIN | Flexible | 0.67 | 25 | 0.50 | 130.83 | 0.83 | 108.6 | 5.71 | 5.98 |
| Pista 7 | MERLIN | Flexible | 0.00 | 29 | 0.00 | 145.00 | 0.83 | 120.4 | 6.26 | |
| Pista 8 | MERLIN | Flexible | 0.23 | 31 | 0.00 | 156.15 | 0.83 | 129.6 | 6.70 | 5.89 |
| Pista 8 | MERLIN | Flexible | 0.00 | 23 | 0.00 | 115.00 | 0.83 | 95.5 | 5.09 | |

Tabla 2: Cálculo del IRI con el equipo Merlín.

La Tabla 2 muestra el resumen de los cálculos para la medición del IRI con el merlín, a partir de histogramas y formulas preestablecidas para el procedimiento de cálculo de IRI, el valor determinante en este procedimiento es el valor "D", el cual decide que formula utilizar al momento de realizar los cálculos.

2.4.4 Calibración ROMDAS

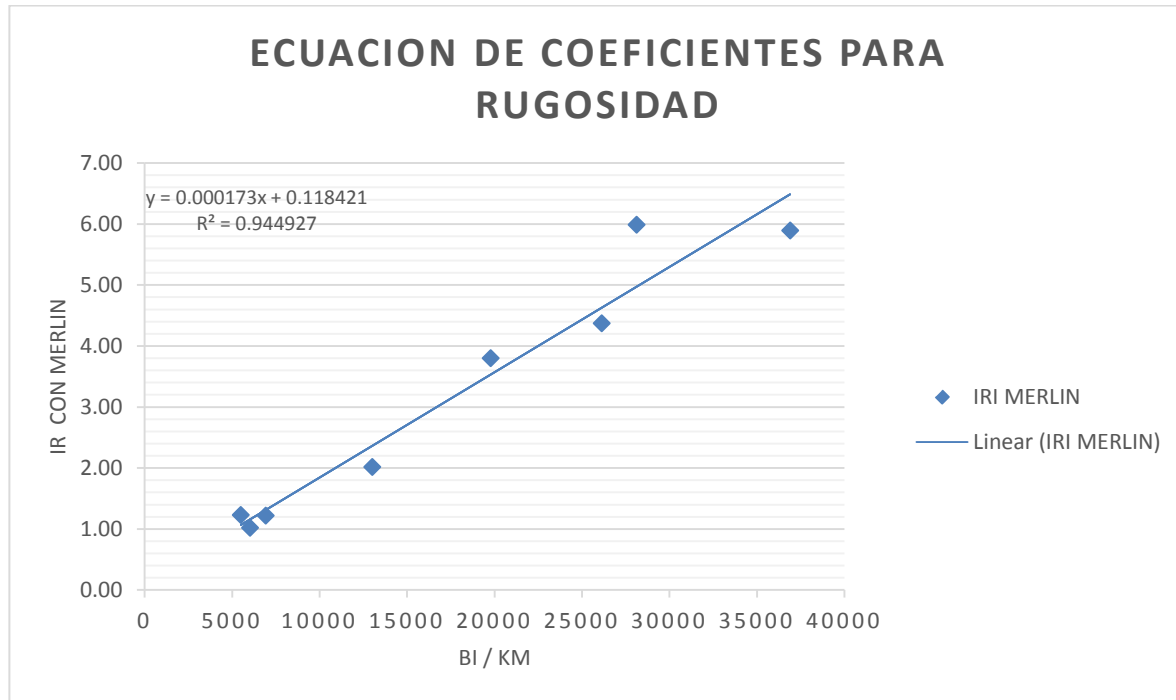
Una vez concluidas las lecturas con el Merlín se procedió a realizar la medición con el equipo ROMDAS el cual está instalado en un vehículo tipo Panel, marca VW.

Previo a la realización de medición de pulsaciones se realizó la calibración de Odómetro, tomando una pista en tangente con una longitud promedio de 500 metros, para obtener el factor de calibración del odómetro del equipo ROMDAS.

El recorrido de pistas de calibración con el equipo Romdas se realizó 3 veces en cada una, a una velocidad promedio de 30 km/h manteniendo una variación promedio de ± 3 km/h, adicionalmente se realizó 3 veces en cada pista a una velocidad promedio de 50 km/h manteniendo una variación promedio de ± 3 km/h, haciendo un total de 6 pasadas por pista. Donde se obtienen valores de pulsaciones por cada distancia recorrida en pista, que posteriormente se utilizaran para correlacionar el valor IRI. Ver tabla 3.

| PISTAS | DISTANCIA | BI | | | BI promedio | BI/KM | IRI MERLIN |
|---------|-----------|------|------|------|-------------|-------|------------|
| | | 1 | 2 | 3 | | | |
| PISTA 1 | 400 | 1298 | 1304 | 1301 | 1301 | 13008 | 2.01 |
| PISTA 2 | 400 | 1961 | 2011 | 1963 | 1978 | 19781 | 3.80 |
| PISTA 3 | 400 | 674 | 688 | 716 | 693 | 6928 | 1.21 |
| PISTA 4 | 400 | 512 | 567 | 570 | 549 | 5493 | 1.23 |
| PISTA 5 | 400 | 604 | 601 | 603 | 603 | 6026 | 1.02 |
| PISTA 6 | 400 | 2535 | 2632 | 2670 | 2612 | 26123 | 4.37 |
| PISTA 7 | 400 | 2639 | 2914 | 2882 | 2812 | 28116 | 5.98 |
| PISTA 8 | 400 | 3662 | 3751 | 3658 | 3690 | 36898 | 5.89 |

Tabla 3: Resumen de BI (pulsaciones)



Ecuación de la recta de calibración de IRI.

Calculo de Ecuación de La recta, relación entre las mediciones con Merlín y equipo Romdas, al obtener la ecuación de la recta. Se debe verificar que el valor de la correlación sea mayor a un 90% para una mayor confiabilidad de los datos.

Una vez obtenida la ecuación de la recta donde relaciona los IRI medidos con el Merlín y las pulsaciones medidas por el equipo Romdas, los coeficientes de la ecuación se deben ingresar al programa de ROMDAS-Road Measurement Data Acquisition System para la realización de lecturas de IRI de forma directa con equipo Romdas.

2.4.5 Obtención final de valor IRI

Con la obtención de la ecuación de la recta ya calibrada e ingresado los coeficientes al programa de ROMDAS, se realizó el levantamiento de BI/km a lo largo de cada tramo, para obtener el IRI en cada tramo a una distancia de 100 metros promedio.

2.5 METODOLOGIA AASHTO 93 PAVIMENTO FLEXIBLE

2.5.1 Variables generales AASHTO 93

La metodología de diseño establece que las variables Confiabilidad, desviación estándar y serviciabilidad, deben ser seleccionadas en función del tipo de carretera:

Confiabilidad y desviación estándar

| Clasificación funcional | Confiabilidad sugerida (R %) | |
|---------------------------------|------------------------------|-----------|
| | Urbano | Rural |
| Interestatal y otras autopistas | 85 – 99.9 | 80 – 99.9 |
| Arterias principales | 80 – 99 | 75 – 95 |
| Colectoras | 80 – 95 | 75 – 95 |
| Locales | 50 – 80 | 50 – 80 |

| Caso de análisis | Desviación estándar total (So) | |
|--|--------------------------------|------------------|
| | Pavimento flexible | Pavimento rígido |
| Rango | 0.40 – 0.50 | 0.30 – 0.40 |
| Considerando la varianza del tránsito futuro | 0.49 | 0.39 |
| Sin considerar la varianza del tránsito futuro | 0.44 | 0.34 |

Serviciabilidad de diseño

$$\Delta PSI = PSI_{inicial} - PSI_{final}$$

| Tipo de carretera | Índice de Serviciabilidad Presente (PSI) | | | |
|------------------------|--|-----------|------------------|-----------|
| | Pavimento flexible | | Pavimento rígido | |
| | PSI INICIAL | PSI FINAL | PSI INICIAL | PSI FINAL |
| Carreteras principales | | 2.5 | | 2.5 |
| Carreteras secundarias | 4.2 | 2.0 | 4.5 | 2.0 |
| Condición de falla | | 1.5 | | 1.5 |

2.5.2 Módulo resiliente

De acuerdo con el método de diseño, el cálculo del módulo resiliente de la subrasante puede determinarse a partir de las deflexiones obtenidas con un deflectómetro de impacto (FWD), de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$Mr = \frac{0.24 \times P}{d_r \times r}$$

Dónde:

P- Carga aplicada en libras

r- Distancia en pulgadas desde el centro del plato

dr - Deflexión medida en pulgadas a una distancia r del centro del plato de carga.

2.5.3 Modulo equivalente

El modulo equivalente se determina empleando la metodología AASHTO para mediciones deflectometricas utilizando la siguiente ecuación:

$$d_0 = 1.5 * p * a * \left\{ \frac{1}{M_r \sqrt{1 + \left(\frac{D}{a} \right)^3 \sqrt{\frac{E_p}{M_r}}}} + \frac{1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{D}{a} \right)^2}}}{E_p} \right\}$$

Dónde:

D0 – Deflexión central.

P – Presión del plato de carga en psi.

a – radio del plato de carga en pulgadas.

D – Espesor total de las capas de pavimento sobre la subrasante.

Mr – Modulo resiliente de la subrasante, en psi.

Ep – Modulo efectivo de todas las capas del pavimento, en psi.

2.5.4 Numero estructural efectivo

Representa la vida residual de la estructura de pavimento existente y de acuerdo al método de diseño, esta variable se encuentra utilizando la siguiente ecuación:

$$SN_{Efectivo} = 0.0045 \cdot D \cdot \sqrt[3]{E_P}$$

Dónde:

D es el espesor total de la estructura y

Ep es el modulo equivalente de la misma.

2.6 METODOLOGIA AASHTO 93 PAVIMENTO RIGIDO

2.6.1 Variables Generales AASHTO 93

Al igual que el pavimento flexible, la Confiabilidad, desviación estándar y serviciabilidad, deben ser seleccionadas en función del tipo de carretera.

2.6.2 Módulo De Elasticidad Del Concreto Asfaltico

El módulo de elasticidad del concreto Ec representa su grado de rigidez y se calcula siguiendo la recomendación del Instituto Americano del Concreto (A.C.I) mediante la ecuación:

$$E_c = 57,000 (F^1_c)^{0.5}$$

E_c = Modulo de Elasticidad (psi)

F¹_c = Resistencia a la compresión del concreto a los 28 días en psi de acuerdo a los ensayos AASHTO T-22 o ASTM C-39.

2.6.3 Módulo de Rotura del Concreto

Es la resistencia Media del Concreto a Flexo tracción a los 28 días, de acuerdo a los ensayos AASHTO T-97, ASTM C-78.

2.6.4 Coeficiente de Transmisión de Carga

Este factor se utiliza para tomar en cuenta la capacidad del pavimento de hormigón de transmitir las cargas a través de los extremos de las losas (Juntas o grietas); de acuerdo al método de diseño este valor depende del tipo de pavimento a utilizar en el hombro de la carretera.

Coeficiente de transferencia de carga (I)

| Berma | Asfáltica | | Anclada y de concreto de cemento Pórtland | |
|---|-----------|-----------|---|-----------|
| Dispositivos de transmisión de carga | Sí | No | Sí | No |
| Pavimento con juntas Concreto simple o concreto reforzado | 3.2 | 3.8 – 4.4 | 2.5 – 3.1 | 3.6 – 4.2 |
| Pavimento de concreto continuamente reforzado | 2.9 – 3.2 | N/A | 2.3 – 2.9 | N/A |

Copiar en la estructura Cancelar

2.6.5 Coeficiente de Drenaje

El coeficiente de drenaje está en función de dos variables; una es la calidad del drenaje, la cual viene determinada por el tiempo que el agua tarda en ser evacuada de la estructura de pavimento y la segunda es la exposición a la saturación de la estructura de pavimento a niveles cercanos a la saturación.

Coeficiente de drenaje (Cd)

| Calidad del drenaje | El agua libre se remueve en... |
|---------------------|--------------------------------|
| Excelente | 2 horas |
| Bueno | 1 día |
| Aceptable | 1 semana |
| Pobre | 1 mes |
| Muy pobre | El agua no drenará |

Copiar en la estructura Cancelar

Calidad
Coeficiente (Cd)

| Calidad del drenaje | % del tiempo en que la estructura del pavimento está expuesta a humedades cercanas a la saturación | | | |
|---------------------|--|-------------|-------------|-------------|
| | Menos del 1% | 1 - 5% | 5 – 25% | Más del 25% |
| Excelente | 1.25 – 1.20 | 1.20 – 1.15 | 1.15 – 1.10 | 1.10 |
| Bueno | 1.20 – 1.15 | 1.15 – 1.10 | 1.10 – 1.00 | 1.00 |
| Aceptable | 1.15 – 1.10 | 1.10 – 1.00 | 1.00 – 0.90 | 0.90 |
| Pobre | 1.10 – 1.00 | 1.00 – 0.90 | 0.90 – 0.80 | 0.80 |
| Muy pobre | 1.00 – 0.90 | 0.90 – 0.80 | 0.80 – 0.70 | 0.70 |

3. RESULTADOS

3.1 PROYECCIÓN DE TRÁFICO Y EQUIVALENCIA DE EJES

De acuerdo a la proyección realizada en el estudio de tráfico, este tramo carretero se divide en tres sub tramos, siendo estos Jícara – Galán – Nacaome, Nacaome – El Carreto y El Carreto Amatillo; en ese sentido se calcularon los ejes de diseño para cada sub tramo, utilizando las tasas de crecimiento para cada tipo de vehículo proporcionadas en el estudio de tráfico, obteniendo los siguientes resultados:

3.1.1 Ejes de Diseño Tramo Jícara Galán – Nacaome (Pavimento Flexible)

| EJES EQUIVALENTES AÑO 1 al 10/2017 - 2026 | | | | | | | |
|---|-----------------|-------------|------------------------|--------------------------|--|--------------------|---------------------|
| Periodo | 10 | años | | | | | |
| Tipo de Vehiculo | TPDA (año 1) | % | Tasa de Crecimiento | Proyeccion de trafico | Total Vehiculos periodo de diseño | Factor de Carga | Ejes Equivalentes |
| Turismo | 904 | 13.67% | 4.5000% | 12.29 | 4056,680 | 0.00004 | 162.27 |
| Pick Up | 3,412 | 51.58% | 4.5000% | 12.29 | 15304,355 | 0.00280 | 42,852.19 |
| Buses | 693 | 10.47% | 4.5000% | 12.29 | 3107,466 | 1.56650 | 4867,844.90 |
| C2 | 510 | 7.71% | 4.5000% | 12.29 | 2289,028 | 2.26850 | 5192,659.50 |
| C3 | 46 | 0.69% | 4.5000% | 12.29 | 204,393 | 1.56650 | 320,181.55 |
| C4 | 2 | 0.04% | 4.5000% | 12.29 | 10,393 | 0.86150 | 8,953.45 |
| T2 -S1 | 2 | 0.04% | 4.5220% | 12.30 | 10,482 | 3.05650 | 32,036.72 |
| T2-S2 | 4 | 0.06% | 4.5220% | 12.30 | 19,216 | 2.86150 | 54,986.85 |
| T2-S3 | 0 | 0.00% | 4.5220% | 12.30 | 0 | 2.32050 | - |
| T3-S2 | 943 | 14.26% | 4.5220% | 12.30 | 4234,528 | 2.66650 | 11291,369.78 |
| T3-S3 | 98 | 1.48% | 4.5220% | 12.30 | 438,476 | 2.12550 | 931,981.43 |
| TOTAL | 6,615 | 100% | | | | | 22743,028.65 |
| FACTOR DE DISTRIBUCION POR DIRECCION | | | | | | | 0.50 |
| FACTOR DE DISTRIBUCION POR CARRIL | | | | | | | 1.00 |
| TOTAL EJES EQUIVALENTES 8.2 TON | | | | | | | 11371,514.32 |

| EJES EQUIVALENTES AÑO 11 al 20 /2019 - 2036 | | | | | | | |
|--|--------------------------|---------------|--------------------------------|----------------------------------|--|----------------------------|--------------------------|
| Periodo | 10 | años | | | | | |
| Tipo de Vehiculo | TPDA (año 11) | % | Tasa de Crecimiento | Proyeccion de trafico | Total Vehiculos periodo de diseño | Factor de Carga | Ejes Equivalentes |
| Turismo | 1,384 | 13.67% | 3.0000% | 11.46 | 5792,921 | 0.00004 | 231.72 |
| Pick Up | 5,223 | 51.56% | 3.0000% | 11.46 | 21854,550 | 0.00280 | 61,192.74 |
| Buses | 1,060 | 10.47% | 3.0000% | 11.46 | 4437,447 | 1.56650 | 6951,260.66 |
| C2 | 781 | 7.71% | 3.0000% | 11.46 | 3268,721 | 2.26850 | 7415,094.45 |
| C3 | 70 | 0.69% | 3.0000% | 11.46 | 291,872 | 1.56650 | 457,217.81 |
| C4 | 4 | 0.04% | 3.0000% | 11.46 | 14,841 | 0.86150 | 12,785.49 |
| T2 -S1 | 4 | 0.04% | 3.0881% | 11.51 | 15,054 | 3.05650 | 46,013.76 |
| T2-S2 | 7 | 0.06% | 3.0881% | 11.51 | 27,600 | 2.86150 | 78,976.62 |
| T2-S3 | 0 | 0.00% | 3.0881% | 11.51 | 0 | 2.32050 | - |
| T3-S2 | 1,448 | 14.29% | 3.0881% | 11.51 | 6081,976 | 2.66650 | 16217,588.87 |
| T3-S3 | 150 | 1.48% | 3.0881% | 11.51 | 629,776 | 2.12550 | 1338,587.96 |
| TOTAL | 10,130 | 100% | | | | | 32578,950.08 |
| FACTOR DE CARRIL | | | | | | | 0.50 |
| FACTOR DE CARRIL | | | | | | | 1.00 |
| TOTAL EJES EQUIVALENTES 8.2 TON | | | | | | | 16289,475.04 |

Para los 10 primeros años se estima que circularán por este sub tramo una cantidad de 11, 371,514.32 ejes equivalentes de 18,000 lb.

Para los 10 últimos años de la vida analizada, se estima circularán por este sub tramo una cantidad de 16, 289,475.04 ejes equivalentes de 18,000 lb.

3.1.2 Ejes de Diseño Sub Tramo Nacaome – El Carreto (Pavimento Flexible)

| EJES EQUIVALENTES AÑO 1 al 10/2017 - 2026 | | | | | | | |
|---|-----------------|-------------|------------------------|--------------------------|--|--------------------|---------------------|
| Periodo | 10 | años | | | | | |
| Tipo de Vehiculo | TPDA (año 1) | % | Tasa de Crecimiento | Proyeccion de trafico | Total Vehiculos periodo de diseño | Factor de Carga | Ejes Equivalentes |
| Turismo | 420 | 11.06% | 4.5000% | 12.29 | 1884,305 | 0.00004 | 75.37 |
| Pick Up | 1,786 | 47.02% | 4.5000% | 12.29 | 8008,506 | 0.00280 | 22,423.82 |
| Buses | 275 | 7.24% | 4.5000% | 12.29 | 1232,686 | 2.70400 | 3333,181.85 |
| C2 | 279 | 7.35% | 4.5000% | 12.29 | 1251,464 | 2.50800 | 3138,672.35 |
| C3 | 18 | 0.48% | 4.5000% | 12.29 | 81,552 | 2.70400 | 220,517.81 |
| C4 | 2 | 0.07% | 4.5000% | 12.29 | 11,124 | 1.89800 | 21,113.46 |
| T2 -S1 | 3 | 0.08% | 4.5220% | 12.30 | 14,142 | 3.17200 | 44,858.39 |
| T2-S2 | 3 | 0.09% | 4.5220% | 12.30 | 14,824 | 3.91800 | 58,078.53 |
| T2-S3 | 9 | 0.24% | 4.5220% | 12.30 | 40,997 | 3.42000 | 140,211.13 |
| T3-S2 | 914 | 24.07% | 4.5220% | 12.30 | 4103,483 | 4.66400 | 19138,644.91 |
| T3-S3 | 88 | 2.31% | 4.5220% | 12.30 | 393,818 | 4.16600 | 1640,647.60 |
| TOTAL | 3,797 | 100% | | | | | 27758,425.21 |
| FACTOR DE DISTRIBUCION POR DIRECCION | | | | | | | 0.50 |
| FACTOR DE DISTRIBUCION POR CARRIL | | | | | | | 1.00 |
| TOTAL EJES EQUIVALENTES 8.2 TON | | | | | | | 13879,212.60 |

| EJES EQUIVALENTES AÑO 11 al 20 /2019 - 2036 | | | | | | | |
|--|--------------------------|---------------|--------------------------------|----------------------------------|--|----------------------------|--------------------------|
| Periodo | 10 | años | | | | | |
| Tipo de Vehiculo | TPDA (año 11) | % | Tasa de Crecimiento | Proyeccion de trafico | Total Vehiculos periodo de diseño | Factor de Carga | Ejes Equivalentes |
| Turismo | 643 | 11.06% | 3.0000% | 11.46 | 2690,778 | 0.00004 | 107.63 |
| Pick Up | 2,733 | 46.99% | 3.0000% | 11.46 | 11436,111 | 0.00280 | 32,021.11 |
| Buses | 421 | 7.23% | 3.0000% | 11.46 | 1760,269 | 2.70400 | 4759,768.71 |
| C2 | 427 | 7.34% | 3.0000% | 11.46 | 1787,085 | 2.50800 | 4482,010.02 |
| C3 | 28 | 0.48% | 3.0000% | 11.46 | 116,457 | 2.70400 | 314,898.44 |
| C4 | 4 | 0.07% | 3.0000% | 11.46 | 15,885 | 1.89800 | 30,149.92 |
| T2 -S1 | 5 | 0.08% | 3.0881% | 11.51 | 20,312 | 3.17200 | 64,429.29 |
| T2-S2 | 5 | 0.09% | 3.0881% | 11.51 | 21,291 | 3.91800 | 83,417.14 |
| T2-S3 | 14 | 0.24% | 3.0881% | 11.51 | 58,884 | 3.42000 | 201,382.70 |
| T3-S2 | 1,403 | 24.12% | 3.0881% | 11.51 | 5893,758 | 4.66400 | 27488,487.29 |
| T3-S3 | 135 | 2.31% | 3.0881% | 11.51 | 565,634 | 4.16600 | 2356,432.28 |
| TOTAL | 5,817 | 100% | | | | | 39813,104.52 |
| FACTOR DE CARRIL | | | | | | | 0.50 |
| FACTOR DE CARRIL | | | | | | | 1.00 |
| TOTAL EJES EQUIVALENTES 8.2 TON | | | | | | | 19906,552.26 |

Para los 10 primeros años se estima que circularán por este sub tramo una cantidad de 13, 879,212.60 ejes equivalentes de 18,000 lb.

Para los 10 últimos años de la vida analizada, se estima circularán por este sub tramo una cantidad de 19, 906,552.26 ejes equivalentes de 18,000 lb.

3.1.3 Ejes de Diseño Sub Tramo El Carreto – Amatillo (Pavimento Flexible)

| EJES EQUIVALENTES AÑO 1 al 10/2017 - 2026 | | | | | | | |
|---|-----------------|-------------|------------------------|--------------------------|--|--------------------|---------------------|
| Periodo | 10 | años | | | | | |
| Tipo de Vehiculo | TPDA (año 1) | % | Tasa de Crecimiento | Proyeccion de trafico | Total Vehiculos periodo de diseño | Factor de Carga | Ejes Equivalentes |
| Turismo | 901 | 23.80% | 4.5000% | 12.29 | 4040,230 | 0.00004 | 161.61 |
| Pick Up | 1,747 | 46.14% | 4.5000% | 12.29 | 7833,707 | 0.00280 | 21,934.38 |
| Buses | 416 | 10.98% | 4.5000% | 12.29 | 1864,462 | 1.56650 | 2920,678.95 |
| C2 | 268 | 7.07% | 4.5000% | 12.29 | 1200,099 | 2.26850 | 2722,424.82 |
| C3 | 34 | 0.89% | 4.5000% | 12.29 | 150,763 | 1.56650 | 236,170.36 |
| C4 | 2 | 0.05% | 4.5000% | 12.29 | 9,065 | 0.86150 | 7,809.16 |
| T2 -S1 | 2 | 0.05% | 4.5220% | 12.30 | 7,665 | 3.05650 | 23,429.23 |
| T2-S2 | 2 | 0.06% | 4.5220% | 12.30 | 9,590 | 2.86150 | 27,443.08 |
| T2-S3 | 2 | 0.04% | 4.5220% | 12.30 | 6,885 | 2.32050 | 15,977.50 |
| T3-S2 | 374 | 9.88% | 4.5220% | 12.30 | 1678,427 | 2.66650 | 4475,524.90 |
| T3-S3 | 40 | 1.05% | 4.5220% | 12.30 | 179,263 | 2.12550 | 381,024.01 |
| TOTAL | 3,785 | 100% | | | | | 10832,578.00 |
| FACTOR DE DISTRIBUCION POR DIRECCION | | | | | | | 0.50 |
| FACTOR DE DISTRIBUCION POR CARRIL | | | | | | | 1.00 |
| TOTAL EJES EQUIVALENTES 8.2 TON | | | | | | | 5416,289.00 |

| EJES EQUIVALENTES AÑO 11 al 20 /2019 - 2036 | | | | | | | |
|--|--------------------------|---------------|--------------------------------|----------------------------------|--|----------------------------|--------------------------|
| Periodo | 10 | años | | | | | |
| Tipo de Vehiculo | TPDA (año 11) | % | Tasa de Crecimiento | Proyeccion de trafico | Total Vehiculos periodo de diseño | Factor de Carga | Ejes Equivalentes |
| Turismo | 1,379 | 23.79% | 3.0000% | 11.46 | 5769,430 | 0.00004 | 230.78 |
| Pick Up | 2,673 | 46.13% | 3.0000% | 11.46 | 11186,498 | 0.00280 | 31,322.19 |
| Buses | 636 | 10.98% | 3.0000% | 11.46 | 2662,443 | 1.56650 | 4170,716.42 |
| C2 | 410 | 7.07% | 3.0000% | 11.46 | 1713,736 | 2.26850 | 3887,610.42 |
| C3 | 51 | 0.89% | 3.0000% | 11.46 | 215,289 | 1.56650 | 337,250.22 |
| C4 | 3 | 0.05% | 3.0000% | 11.46 | 12,944 | 0.86150 | 11,151.44 |
| T2 -S1 | 3 | 0.05% | 3.0881% | 11.51 | 11,010 | 3.05650 | 33,650.97 |
| T2-S2 | 3 | 0.06% | 3.0881% | 11.51 | 13,775 | 2.86150 | 39,416.00 |
| T2-S3 | 2 | 0.04% | 3.0881% | 11.51 | 9,889 | 2.32050 | 22,948.19 |
| T3-S2 | 574 | 9.90% | 3.0881% | 11.51 | 2410,694 | 2.66650 | 6428,114.95 |
| T3-S3 | 61 | 1.06% | 3.0881% | 11.51 | 257,473 | 2.12550 | 547,257.85 |
| TOTAL | 5,796 | 100% | | | | | 15509,669.44 |
| FACTOR DE CARRIL | | | | | | | 0.50 |
| FACTOR DE CARRIL | | | | | | | 1.00 |
| TOTAL EJES EQUIVALENTES 8.2 TON | | | | | | | 7754,834.72 |

Para los 10 primeros años se estima que circularán por este sub tramo una cantidad de 5, 416,289.00 ejes equivalentes de 18,000 lb.

Para los 10 últimos años de la vida analizada, se estima circularán por este sub tramo una cantidad de 7, 754,834.72 ejes equivalentes de 18,000 lb.

Los factores de carga fueron determinados con las tablas anexas del manual de diseño AASHTO 93 y los resultados de dichos factores se muestran en el ANEXO 1

3.1.4 Ejes de Diseño Tramo Júcaro Galán – Nacaome (Pavimento Rígido)

| EJES EQUIVALENTES AÑO 1 al 10/2017 - 2026 | | | | | | | |
|---|-----------------|--------|------------------------|--------------------------|--|--------------------|-------------------|
| Periodo | 10 | años | | | | | |
| Tipo de Vehiculo | TPDA (año 1) | % | Tasa de Crecimiento | Proyeccion de trafico | Total Vehiculos periodo de diseño | Factor de Carga | Ejes Equivalentes |
| Turismo | 904 | 13.67% | 4.5000% | 12.29 | 4056,680 | 0.00004 | 162.27 |
| Pick Up | 3,412 | 51.58% | 4.5000% | 12.29 | 15304,355 | 0.00280 | 42,852.19 |
| Buses | 693 | 10.47% | 4.5000% | 12.29 | 3107,466 | 2.70400 | 8402,587.05 |
| C2 | 510 | 7.71% | 4.5000% | 12.29 | 2289,028 | 2.50800 | 5740,881.66 |
| C3 | 46 | 0.69% | 4.5000% | 12.29 | 204,393 | 2.70400 | 552,678.52 |
| C4 | 2 | 0.04% | 4.5000% | 12.29 | 10,393 | 1.89800 | 19,725.65 |
| T2-S1 | 2 | 0.04% | 4.5220% | 12.30 | 10,482 | 3.17200 | 33,247.34 |
| T2-S2 | 4 | 0.06% | 4.5220% | 12.30 | 19,216 | 3.91800 | 75,288.66 |
| T2-S3 | 0 | 0.00% | 4.5220% | 12.30 | 0 | 3.42000 | - |
| T3-S2 | 943 | 14.26% | 4.5220% | 12.30 | 4234,528 | 4.66400 | 19749,840.11 |
| T3-S3 | 98 | 1.48% | 4.5220% | 12.30 | 438,476 | 4.16600 | 1826,692.37 |
| TOTAL | 6,615 | 100% | | | | | 36443,955.81 |
| FACTOR DE DISTRIBUCION POR DIRECCION | | | | | | | 0.50 |
| FACTOR DE DISTRIBUCION POR CARRIL | | | | | | | 1.00 |
| TOTAL EJES EQUIVALENTES 8.2 TON | | | | | | | 18221,977.91 |

| EJES EQUIVALENTES AÑO 11 al 20 /2019 - 2036 | | | | | | | |
|--|------------------|-------------|------------------------|--------------------------|--|--------------------|---------------------|
| Periodo | 10 | años | | | | | |
| Tipo de Vehiculo | TPDA (año 11) | % | Tasa de Crecimiento | Proyeccion de trafico | Total Vehiculos periodo de diseño | Factor de Carga | Ejes Equivalentes |
| Turismo | 1,384 | 13.67% | 3.0000% | 11.46 | 5792,921 | 0.00004 | 231.72 |
| Pick Up | 5,223 | 51.56% | 3.0000% | 11.46 | 21854,550 | 0.00280 | 61,192.74 |
| Buses | 1,060 | 10.47% | 3.0000% | 11.46 | 4437,447 | 2.70400 | 11998,856.58 |
| C2 | 781 | 7.71% | 3.0000% | 11.46 | 3268,721 | 2.50800 | 8197,953.22 |
| C3 | 70 | 0.69% | 3.0000% | 11.46 | 291,872 | 2.70400 | 789,222.45 |
| C4 | 4 | 0.04% | 3.0000% | 11.46 | 14,841 | 1.89800 | 28,168.14 |
| T2 -S1 | 4 | 0.04% | 3.0881% | 11.51 | 15,054 | 3.17200 | 47,752.54 |
| T2-S2 | 7 | 0.06% | 3.0881% | 11.51 | 27,600 | 3.91800 | 108,135.73 |
| T2-S3 | 0 | 0.00% | 3.0881% | 11.51 | 0 | 3.42000 | - |
| T3-S2 | 1,448 | 14.29% | 3.0881% | 11.51 | 6081,976 | 4.66400 | 28366,335.84 |
| T3-S3 | 150 | 1.48% | 3.0881% | 11.51 | 629,776 | 4.16600 | 2623,644.99 |
| TOTAL | 10,130 | 100% | | | | | 52221,493.94 |
| FACTOR DE CARRIL | | | | | | | 0.50 |
| FACTOR DE CARRIL | | | | | | | 1.00 |
| TOTAL EJES EQUIVALENTES 8.2 TON | | | | | | | 26110,746.97 |

Para los 10 primeros años se estima que circularán por este sub tramo una cantidad de 18, 221,977.91 ejes equivalentes de 18,000 lb.

Para los 10 últimos años de la vida analizada, se estima circularán por este sub tramo una cantidad de 26, 110,746.97 ejes equivalentes de 18,000 lb.

3.1.5 Ejes de Diseño Tramo Nacaome – El Carreto (Pavimento Rígido)

| EJES EQUIVALENTES AÑO 1 al 10/2017 - 2026 | | | | | | | |
|---|-----------------|-------------|------------------------|--------------------------|--|--------------------|---------------------|
| Periodo | 10 | años | | | | | |
| Tipo de Vehiculo | TPDA (año 1) | % | Tasa de Crecimiento | Proyeccion de trafico | Total Vehiculos periodo de diseño | Factor de Carga | Ejes Equivalentes |
| Turismo | 420 | 11.06% | 4.5000% | 12.29 | 1884,305 | 0.00004 | 75.37 |
| Pick Up | 1,786 | 47.02% | 4.5000% | 12.29 | 8008,506 | 0.00280 | 22,423.82 |
| Buses | 275 | 7.24% | 4.5000% | 12.29 | 1232,686 | 2.70400 | 3333,181.85 |
| C2 | 279 | 7.35% | 4.5000% | 12.29 | 1251,464 | 2.50800 | 3138,672.35 |
| C3 | 18 | 0.48% | 4.5000% | 12.29 | 81,552 | 2.70400 | 220,517.81 |
| C4 | 2 | 0.07% | 4.5000% | 12.29 | 11,124 | 1.89800 | 21,113.46 |
| T2 -S1 | 3 | 0.08% | 4.5220% | 12.30 | 14,142 | 3.17200 | 44,858.39 |
| T2-S2 | 3 | 0.09% | 4.5220% | 12.30 | 14,824 | 3.91800 | 58,078.53 |
| T2-S3 | 9 | 0.24% | 4.5220% | 12.30 | 40,997 | 3.42000 | 140,211.13 |
| T3-S2 | 914 | 24.07% | 4.5220% | 12.30 | 4103,483 | 4.66400 | 19138,644.91 |
| T3-S3 | 88 | 2.31% | 4.5220% | 12.30 | 393,818 | 4.16600 | 1640,647.60 |
| TOTAL | 3,797 | 100% | | | | | 27758,425.21 |
| FACTOR DE DISTRIBUCION POR DIRECCION | | | | | | | 0.50 |
| FACTOR DE DISTRIBUCION POR CARRIL | | | | | | | 1.00 |
| TOTAL EJES EQUIVALENTES 8.2 TON | | | | | | | 13879,212.60 |

| EJES EQUIVALENTES AÑO 11 al 20 /2019 - 2036 | | | | | | | |
|--|--------------------------|---------------|--------------------------------|----------------------------------|--|----------------------------|--------------------------|
| Periodo | 10 | años | | | | | |
| Tipo de Vehiculo | TPDA (año 11) | % | Tasa de Crecimiento | Proyeccion de trafico | Total Vehiculos periodo de diseño | Factor de Carga | Ejes Equivalentes |
| Turismo | 643 | 11.06% | 3.0000% | 11.46 | 2690,778 | 0.00004 | 107.63 |
| Pick Up | 2,733 | 46.99% | 3.0000% | 11.46 | 11436,111 | 0.00280 | 32,021.11 |
| Buses | 421 | 7.23% | 3.0000% | 11.46 | 1760,269 | 2.70400 | 4759,768.71 |
| C2 | 427 | 7.34% | 3.0000% | 11.46 | 1787,085 | 2.50800 | 4482,010.02 |
| C3 | 28 | 0.48% | 3.0000% | 11.46 | 116,457 | 2.70400 | 314,898.44 |
| C4 | 4 | 0.07% | 3.0000% | 11.46 | 15,885 | 1.89800 | 30,149.92 |
| T2 -S1 | 5 | 0.08% | 3.0881% | 11.51 | 20,312 | 3.17200 | 64,429.29 |
| T2-S2 | 5 | 0.09% | 3.0881% | 11.51 | 21,291 | 3.91800 | 83,417.14 |
| T2-S3 | 14 | 0.24% | 3.0881% | 11.51 | 58,884 | 3.42000 | 201,382.70 |
| T3-S2 | 1,403 | 24.12% | 3.0881% | 11.51 | 5893,758 | 4.66400 | 27488,487.29 |
| T3-S3 | 135 | 2.31% | 3.0881% | 11.51 | 565,634 | 4.16600 | 2356,432.28 |
| TOTAL | 5,817 | 100% | | | | | 39813,104.52 |
| FACTOR DE CARRIL | | | | | | | 0.50 |
| FACTOR DE CARRIL | | | | | | | 1.00 |
| TOTAL EJES EQUIVALENTES 8.2 TON | | | | | | | 19906,552.26 |

Para los 10 primeros años se estima que circularán por este sub tramo una cantidad de 13, 879,212.60 ejes equivalentes de 18,000 lb.

Para los 10 últimos años de la vida analizada, se estima circularán por este sub tramo una cantidad de 19, 906,552.26 ejes equivalentes de 18,000 lb.

3.1.6 Ejes de Diseño Tramo El Carreto - Amatillo (Pavimento Rígido)

| EJES EQUIVALENTES AÑO 1 al 10/2017 - 2026 | | | | | | | |
|---|-----------------|-------------|------------------------|--------------------------|--|--------------------|---------------------|
| Periodo | 10 | años | | | | | |
| Tipo de Vehiculo | TPDA (año 1) | % | Tasa de Crecimiento | Proyeccion de trafico | Total Vehiculos periodo de diseño | Factor de Carga | Ejes Equivalentes |
| Turismo | 901 | 23.80% | 4.5000% | 12.29 | 4040,230 | 0.00004 | 161.61 |
| Pick Up | 1,747 | 46.14% | 4.5000% | 12.29 | 7833,707 | 0.00280 | 21,934.38 |
| Buses | 416 | 10.98% | 4.5000% | 12.29 | 1864,462 | 1.56650 | 2920,678.95 |
| C2 | 268 | 7.07% | 4.5000% | 12.29 | 1200,099 | 2.26850 | 2722,424.82 |
| C3 | 34 | 0.89% | 4.5000% | 12.29 | 150,763 | 1.56650 | 236,170.36 |
| C4 | 2 | 0.05% | 4.5000% | 12.29 | 9,065 | 0.86150 | 7,809.16 |
| T2 -S1 | 2 | 0.05% | 4.5220% | 12.30 | 7,665 | 3.05650 | 23,429.23 |
| T2-S2 | 2 | 0.06% | 4.5220% | 12.30 | 9,590 | 2.86150 | 27,443.08 |
| T2-S3 | 2 | 0.04% | 4.5220% | 12.30 | 6,885 | 2.32050 | 15,977.50 |
| T3-S2 | 374 | 9.88% | 4.5220% | 12.30 | 1678,427 | 2.66650 | 4475,524.90 |
| T3-S3 | 40 | 1.05% | 4.5220% | 12.30 | 179,263 | 2.12550 | 381,024.01 |
| TOTAL | 3,785 | 100% | | | | | 10832,578.00 |
| FACTOR DE DISTRIBUCION POR DIRECCION | | | | | | | 0.50 |
| FACTOR DE DISTRIBUCION POR CARRIL | | | | | | | 1.00 |
| TOTAL EJES EQUIVALENTES 8.2 TON | | | | | | | 5416,289.00 |

| EJES EQUIVALENTES AÑO 11 al 20 /2019 - 2036 | | | | | | | |
|--|--------------------------|---------------|--------------------------------|----------------------------------|--|----------------------------|--------------------------|
| Periodo | 10 | años | | | | | |
| Tipo de Vehiculo | TPDA (año 11) | % | Tasa de Crecimiento | Proyeccion de trafico | Total Vehiculos periodo de diseño | Factor de Carga | Ejes Equivalentes |
| Turismo | 1,379 | 23.79% | 3.0000% | 11.46 | 5769,430 | 0.00004 | 230.78 |
| Pick Up | 2,673 | 46.13% | 3.0000% | 11.46 | 11186,498 | 0.00280 | 31,322.19 |
| Buses | 636 | 10.98% | 3.0000% | 11.46 | 2662,443 | 1.56650 | 4170,716.42 |
| C2 | 410 | 7.07% | 3.0000% | 11.46 | 1713,736 | 2.26850 | 3887,610.42 |
| C3 | 51 | 0.89% | 3.0000% | 11.46 | 215,289 | 1.56650 | 337,250.22 |
| C4 | 3 | 0.05% | 3.0000% | 11.46 | 12,944 | 0.86150 | 11,151.44 |
| T2 -S1 | 3 | 0.05% | 3.0881% | 11.51 | 11,010 | 3.05650 | 33,650.97 |
| T2 -S2 | 3 | 0.06% | 3.0881% | 11.51 | 13,775 | 2.86150 | 39,416.00 |
| T2 -S3 | 2 | 0.04% | 3.0881% | 11.51 | 9,889 | 2.32050 | 22,948.19 |
| T3 -S2 | 574 | 9.90% | 3.0881% | 11.51 | 2410,694 | 2.66650 | 6428,114.95 |
| T3 -S3 | 61 | 1.06% | 3.0881% | 11.51 | 257,473 | 2.12550 | 547,257.85 |
| TOTAL | 5,796 | 100% | | | | | 15509,669.44 |
| FACTOR DE CARRIL | | | | | | | 0.50 |
| FACTOR DE CARRIL | | | | | | | 1.00 |
| TOTAL EJES EQUIVALENTES 8.2 TON | | | | | | | 7754,834.72 |

Para los 10 primeros años se estima que circularán por este sub tramo una cantidad de 5, 416,289.00 ejes equivalentes de 18,000 lb.

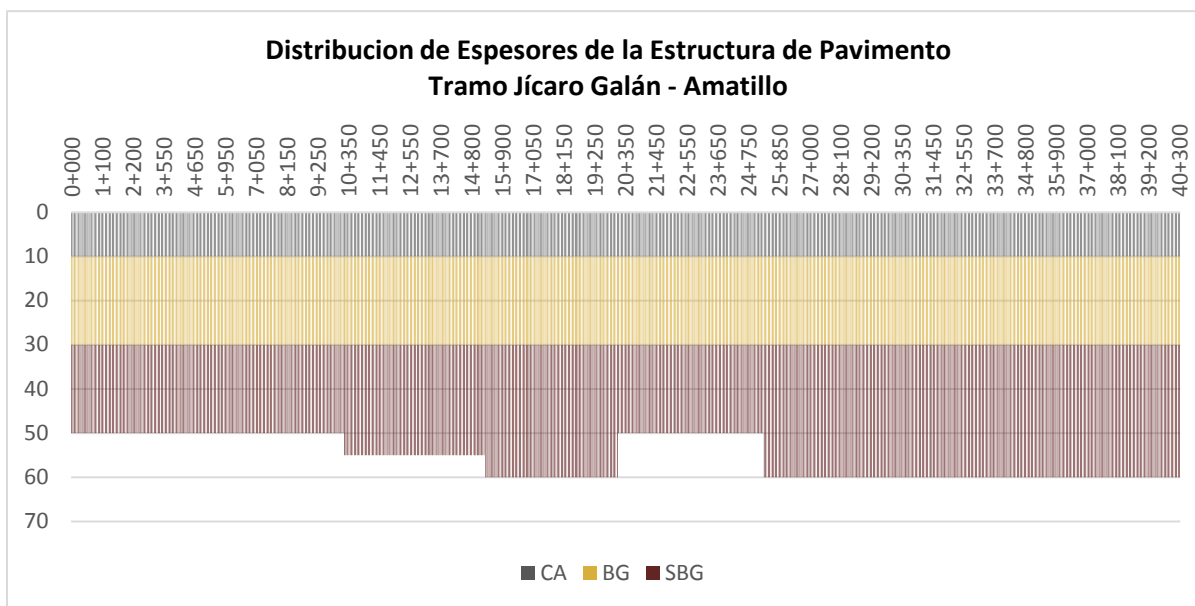
Para los 10 últimos años de la vida analizada, se estima circularán por este sub tramo una cantidad de 7, 754,834.72 ejes equivalentes de 18,000 lb.

Los factores de carga fueron determinados con las tablas anexas del manual de diseño AASHTO 93 y los resultados de dichos factores se muestran en el ANEXO 1

3.2 EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA

3.2.1 Espesores de La Estructura de Pavimento

Se llevó a cabo una exploración geotécnica del tramo carretero Jícara Galán – Amatillo, en el siguiente grafico se muestran los espesores obtenidos:



Se concluye que en general se presenta una homogeneidad en la capa asfáltica y base granular, las cuales tienen un espesor de 10 cm y 20 cm respectivamente; la capa de sub base presenta espesores variables de 20 cm, 25 cm, y 30 cm.

3.2.2 Análisis de Materiales

Se analizaron las características de los materiales de sub rasante del tramo Jícara Galán – Amatillo, en función a las secciones homogéneas clasificadas por deflexión central; concluyendo que dichos materiales son de regular a buena calidad en su mayoría clasificándose A-2-4 (0) arenosos (más del 50% pasa tamiz No. 4) con un índice de plasticidad igual o menor de 10; así mismo se encontraron en materiales A-2-6 (0) y A-2-7 (0) cuyos índices de plasticidad superan 10 pero no sobrepasan de 15; asimismo se realizó ensayos de CBR en condiciones de humedad optima y en total saturación a los materiales clasificados, encontrando valores de entre 33% y 63% y entre 8% y 48% en condiciones de saturación total, tal y como se muestra en el siguiente cuadro resumen:

| Tramo Homogeneo | Tipo de Material | Estacion | Prof. (m) | Lado | Granulometria (% pase el Tamiz) | | | | | | | | | | | | | | Limites | | Clasificacion | | Compactacion | | CBR SATURADO 7 DIAS | | | Inchamiento | CBR con Humedad Optima |
|-----------------|------------------|----------|-------------|------|---------------------------------|-----|-----|-----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|------|---------|-----------|---------------|---------|--------------|-----|---------------------|------|------|-------------|------------------------|
| | | | | | 3" | 2½" | 2" | 1½" | 1" | ¾" | ¾" | 4 | 8 | 10 | 40 | 100 | 200 | L.L | I.P | AAHSTO | Unificada | D. Max. | H. Opt. | 90% | 95% | 100% | | | |
| 0+000 - 8+350 | Subrasante | 3+100 | 0.40 - 1.35 | Der. | | 100 | 99 | 96 | 90 | 85 | 76 | 66 | 57 | 54 | 31 | 20 | 16 | 30.2 | 9.9 | A-2-4 (0) | SC | 118.9 | 12.4 | | | 48 | 0.11 | 63 | |
| | Subrasante | 5+800 | 0.40 - 1.40 | lqz. | 100 | 97 | 94 | 91 | 84 | 78 | 66 | 56 | 48 | 46 | 27 | 20 | 17 | 30.4 | 10.0 | A-2-4 (0) | SC | 116.2 | 14.4 | | | 30 | 0.15 | 44 | |
| 8+350 - 12+850 | Subrasante | 9+900 | 0.45 - 1.30 | Der. | 100 | 98 | 96 | 93 | 90 | 86 | 83 | 74 | 63 | 60 | 43 | 33 | 26 | 33.8 | 10.2 | A-2-4 (0) | SC | 108.7 | 16.2 | | | 31 | 0.28 | 46 | |
| | Subrasante | 11+400 | 0.40 - 1.40 | lqz. | | | 100 | 99 | 98 | 95 | 88 | 72 | 56 | 53 | 35 | 26 | 22 | 34.1 | 10.7 | A-2-6 (0) | SC | 109.8 | 10.0 | | | 8 | 1.77 | 44 | |
| 12+850 - 32+650 | Subrasante | 18+000 | 0.50 - 1.40 | Der. | | | 100 | 98 | 94 | 88 | 80 | 70 | 60 | 57 | 36 | 26 | 22 | 36.9 | 12.0 | A-2-6 (0) | SC | 119.1 | 12.4 | | | 20 | 0.66 | 42 | |
| | Subrasante | 22+900 | 0.45 - 1.30 | lqz. | | 100 | 99 | 97 | 92 | 86 | 76 | 67 | 58 | 55 | 38 | 29 | 25 | 27.1 | 5.1 | A-1-b (0) | SM-SC | 113.5 | 13.9 | | | 13 | 1.11 | 45 | |
| | Subrasante | 28+200 | 0.65 - 1.35 | Der. | 100 | 98 | 97 | 95 | 91 | 85 | 72 | 64 | 57 | 56 | 43 | 37 | 35 | 37.5 | 10.4 | A-2-4 (0) | SC | 107.1 | 15.8 | | | | | 36 | |
| | Subrasante | 35+400 | 0.60 - 1.30 | lqz. | 100 | 99 | 98 | 95 | 88 | 83 | 71 | 63 | 56 | 55 | 39 | 32 | 28 | 42.0 | 15.0 | A-2-7 (1) | SC | 102.0 | 16.7 | | | | | 33 | |
| 32+650 - 40+300 | Subrasante | 38+200 | 0.00 - 1.35 | lqz. | 100 | 98 | 96 | 91 | 84 | 80 | 71 | 64 | 56 | 53 | 33 | 25 | 22 | 38.4 | 10.9 | A-2-6 (0) | SC | 104.1 | 18.2 | | | | | 37 | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

3.3 INSPECCION VISUAL

Se realizó una visita al proyecto, para categorizar los daños visibles en la vía, almacenando en video y fotografías el recorrido de los 40.3 km de longitud del tramo, este trabajo se realizó haciendo un recorrido en toda la ruta, midiendo los diferentes daños, haciendo los apuntes respectivos, observaciones y categorizando estas fallas de acuerdo al **Manual Centroamericano de Mantenimiento de Carreteras, Tomo III, Catálogo Centroamericano de Daños a Pavimentos Viales**. Tal como lo menciona en su introducción, este manual unifica la clasificación de daños en los pavimentos, utilizando una terminología común, también, hace un resumen de las fallas más comunes encontradas, incluyendo descripción, posibles causas, niveles de severidad, medición y esquemas representativos de las mismas.

El Catálogo Centroamericano de Daños a Pavimentos Viales, ha dividido las diferentes tipos de daños en pavimentos flexibles en: Fisuras y Grietas, Deformaciones superficiales de pavimentos asfálticos y Desintegración en los pavimentos asfálticos, teniendo cada una de estas, sub divisiones, que se incluyen en la tabla No. 1 en la simbología de la misma.

A continuación se presentan algunas imágenes de lo observado en el sitio con los daños encontrados:



*Foto No. 1 Estación 0+000 – 2+300
Carril Derecho, Deformación
Superficial Tipo Ahuellamiento
Nivel de severidad: B (Bajo)*



*Foto No. 2 Estación 34+000 – 34+200
Carril Izquierdo, Deformación
Superficial Tipo Ahuellamiento
Nivel de severidad: M (Mediano)*



*Foto No. 3 Estación 2+300, carril
Derecho, Fisuras y Grietas Tipo
Fisuras longitudinal, Nivel de
Severidad: A (Alto)*



*Foto No. 4 Estación 8+000 – 8+300
Carril Derecho, Fisuras y Grietas
Tipo Fisura Longitudinal, Nivel
De Severidad: M (Mediano)*



*Foto No. 5 Estación 34+760
Carril Derecho, Deformación
Superficial Tipo Hundimiento
Nivel de severidad: A (Alto)*



*Foto No. 6 Estación 22+000 hacia
el final del tramo, Fisuras y Grietas
Tipo fisura Piel de Cocodrilo, Nivel
de Severidad: M (Mediano) y A (Alto)*

En General, podemos decir que el pavimento muestra un deterioro que se traduce en la presencia de **Fisuras y Grietas**, donde se incluyen fisuras longitudinales, con un nivel de severidad entre M (Mediano) y A (Alto), mismas que se ubican en las trochas y en los hombros de la vía, dentro de las posibles causas que menciona el Catálogo Centroamericano de Daños a Pavimentos Viales para este tipo de falla, se encuentra: instancias iniciales del fenómeno de fatiga por debilidad estructural, ocurriendo en la huella de canalización del tránsito, una defectuosa ejecución de las juntas longitudinales de construcción, contracción de la mezcla asfáltica por pérdida de flexibilidad, reflexión de fisuras causadas por grietas existentes por debajo de la superficie de rodamiento y por el deficiente confinamiento lateral.

Dentro de esta categoría de **Fisuras y Grietas**, también encontramos fisura piel de cocodrilo, de severidad M (Mediana) y A (Alta), este tipo de falla tiene como posible causa según el Catálogo Centroamericano de Daños a Pavimentos Viales, la fatiga que sufren las capas asfálticas al ser sometidas a las cargas repetidas del tránsito, por lo general, el fisuramiento indica que el pavimento ya no tiene capacidad estructural de sostener las cargas de tránsito y ha llegado al fin de su vida útil, por otra parte el ligante ha envejecido y por ende ha perdido la flexibilidad de sostener cargas repetidas al tránsito sin agrietarse.

Podemos decir que el tramo Jícara Galán – Amatillo presenta los siguientes porcentajes por falla tipo **Fisuras y Grietas**:

- Hay presencia de fisuras longitudinales mayores a 6 mm, en el 6.95% de la longitud total del tramo, tanto en la trocha como en los hombros.
- Hay daño categorizado como Piel de cocodrilo en el 16.01% del área total del tramo.

En cuanto a la categoría **Deformaciones Superficiales de Pavimentos Asfálticos**, encontramos ahuellamiento, con un nivel de severidad entre B (Bajo) y M (Mediano), se realizaron mediciones aleatorias, encontrado valores de profundidad de huella de 2, 3, 4, 10, 15 y 25 mm. Las repeticiones de

las cargas de tránsito conducen a deformaciones permanentes en cualquiera de las capas del pavimento o en la subrasante. Cuando el radio de influencia de la zona ahuellada es pequeño, las deformaciones ocurren en las capas superiores del pavimento, cuando el radio de influencia es amplio, las deformaciones ocurren en la subrasante. Las deformaciones resultan de una compactación o movimiento lateral de los materiales (fluencia plástica o punzonamiento por corte), ambos por efecto de tránsito, así mismo, el ahuellamiento indica una insuficiencia estructural del pavimento o una deficiente estabilidad del sistema subrasante - pavimento.

En algunos casos se hace más evidente cuando la mezcla asfáltica se desplaza formando un cordón a cada lado del área deprimida.

Todo lo descrito anteriormente, son las posibles causas que se citan en el Catálogo Centroamericano de Daños a Pavimentos Viales específicas para este tipo de daño.

Se identificó la presencia de una falla tipo hundimiento en el kilómetro 34+760 del tramo Jícara Galán - Amatillo, siempre dentro de la categoría **Deformaciones Superficiales de Pavimentos Asfálticos**, donde se presenta una alta incidencia en la comodidad de manejo, produciendo una severa incomodidad al momento de conducir un vehículo, requiriéndose reducir la velocidad por motivos de seguridad, por lo que se incluyó como nivel de severidad A (Alto).

Según el Catálogo Centroamericano de Daños a Pavimentos Viales, dentro de las posibles causas que producen los hundimientos, están los asentamientos de la fundación, deficiencias durante la construcción o falta de un continuo mantenimiento a los drenes. La heterogeneidad constructiva puede provocar, desde simples descensos de nivel, hasta insuficiencia de espesor o estabilidad de los materiales.

Podemos decir que en el tramo Jícara Galán – Amatillo se presentan los siguientes porcentajes por fallas del tipo **Deformaciones Superficiales de Pavimentos**:

- Se presenta ahuellamiento con un nivel de severidad Baja (0 – 10 mm), en un 55.83% de la longitud total del tramo en estudio.
- Se presenta ahuellamiento con un nivel de severidad Mediana (10 – 25 mm), en un 1.24% de la longitud total del tramo en estudio.
- Hay hundimientos de alta severidad en 1.74% del área total del tramo.

Dentro de la inspección visual se observó que el tramo Jícara Galán – Amatillo, ha sido sometido a un continuo mantenimiento rutinario de bacheos parciales; En los primeros 22 kilómetros de este tramo, se colocó un sello asfáltico que ha mantenido en un estado aceptable la vía, sin embargo del kilómetro 22 al kilómetro 40 (final del tramo), solo se han realizado bacheos, pero no se ha colocado un sello asfáltico, encontrándose dos tipos de daños, tipo piel de cocodrilo de severidad B (Baja) - A (Alta) y daño tipo ahuellamiento de severidad M (Mediano) - A (alto) en casi todos los 18 kilómetros mencionados, siendo la primera, la predominante y más representativa.

La presencia de baches en el tramo en estudio es mínima, según lo que nos menciona el Catálogo Centroamericano de Daños a Pavimentos Viales, los baches se producen por conjunción de varias causas: fundaciones y capas inferiores inestables; espesores insuficientes, defectos constructivos, retención de agua en zonas hundidas y/o fisuradas. La acción abrasiva del tránsito sobre sectores localizados de mayor debilidad del pavimento y/o fundación, o sobre áreas en las que se han desarrollado fisuras tipo cuero de cocodrilo, que han alcanzado un alto nivel de severidad, provoca la desintegración y posterior remoción de parte de la superficie del pavimento, originando un bache; Este tipo de falla se ubica dentro de la categoría **Desintegración en los Pavimentos Asfálticos**.

Podemos decir que en el tramo Jícara Galán – Amatillo se presentan los siguientes porcentajes por fallas del tipo **Desintegración en los pavimentos Asfálticos**:

- Existen baches de severidad M (Mediana), en un 0.23% del área total del tramo en estudio.

A continuación se resumen los diferentes tipos de fallas encontradas en este tramo mediante la ficha de inspección visual utilizada (Tabla No. 1)

FICHA DE INSPECCIÓN VISUAL (TABLA No. 1)

TRAMO: JÍCARO GALÁN - AMATILLO

| UBICACIÓN | | FALLAS DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS | | | DIMENSIONAMIENTO POR TIPO DE FALLA | | | | |
|-------------------------------|----------------|---------------------------------|---------------|--------------------|------------------------------------|-----------|------------------|------------------------|---------------------------|
| REFERENCIA | | TROCHA | TIPO DE FALLA | NIVEL DE SEVERIDAD | | | | | |
| ESTACION INICIAL | ESTACION FINAL | | | | LONGITUD (m) | ANCHO (m) | PROFUNDIDAD (mm) | AREA (m ²) | VOLUMEN (m ³) |
| 0+000 | 0+200 | L.I. | B.1 | M | 200.00 | | 25 | | |
| 0+000 | 2+300 | A.L. | B.1 | B | 2,300.00 | | 10 | | |
| 2+000 | 2+300 | L.D. | A.5 | M - A | 300.00 | | - | | |
| 2+300 | 4+300 | A.L. | B.1 | B | 2,000.00 | | 2 | | |
| 3+500 | 3+700 | H.D. | A.5 | M - A | 200.00 | | - | | |
| 4+000 | 4+200 | L.D. | A.5 | M - A | 200.00 | | - | | |
| 4+300 | 14+500 | A.L. | B.1 | B | 10,200.00 | | 4 | | |
| 8+000 | 8+300 | L.D. | A.5 | M - A | 300.00 | | - | | |
| 11+200 | 11+600 | L.D. | A.5 | M - A | 400.00 | | - | | |
| 14+500 | 22+500 | A.L. | B.1 | B | 8,000.00 | | 3 | | |
| 22+500 | 34+200 | A.L. | A.1 | B - M | 11,700.00 | 2.00 | 25 - 50, y > 50 | 46,800.00 | |
| 34+200 | 34+900 | A.L. | B.5 | A | 700.00 | 10.60 | - | 7,420.00 | |
| 34+900 | 40+300 | A.L. | A.1 | B - M | 5,400.00 | 2.00 | 25 - 50, y > 50 | 21,600.00 | |
| 34+200 | 34+500 | L.I. | B.1 | M | 300.00 | | 15 | | |
| EN TODA LA LONGITUD DEL TRAMO | | A.L. | C.1 | M | | | | 1,000.00 | |
| | | | | | | | | | |

SIMBOLOGÍA

| | | | |
|-----|----------------------------------|------|-----------------------------|
| A.1 | FISURA PIEL DE COCODRILO | C.2 | PELADURA |
| A.2 | FISURA EN BLOQUE | C.3 | DESINTEGRACION DE BORDES |
| A.3 | FISURA EN ARCO | D.1 | EXUDACION DE ASFALTO |
| A.4 | FISURA TRANSVERSAL | D.2 | PARCHADOS Y REPARACIONES DE |
| A.5 | FISURA LONGITUDINAL | | SERVICIOS PUBLICOS |
| A.6 | FISURA POR REFLEXIÓN DE LA JUNTA | B | BAJO |
| B.1 | AHUELLAMIENTO | M | MEDIANO |
| B.2 | CORRIMIENTO | A | ALTO |
| B.3 | CORRUGACIÓN | L.D. | LADO DERECHO |
| B.4 | HINCHAMIENTO | L.I. | LADO IZQUIERDO |
| B.5 | HUNDIMIENTO | A.L. | AMBOS LADOS |
| C.1 | BACHE | H.D. | HOMBRO DERECHO |
| | | H.I. | HOMBRO IZQUIERDO |

A continuación se detalla el cuadro resumen de cantidades:

RESUMEN DE CANTIDADES EVALUACIÓN VISUAL DEL PAVIMENTO (TABLA No. 2)

TRAMO: JÍCARO GALÁN - AMATILLO

| No. | CONCEPTO | UNIDAD | CANTIDAD |
|-----|--|----------------|-----------|
| 1 | FISURAS LONGITUDINALES MAYORES A 6 mm | m | 2,800.00 |
| 2 | PIEL DE COCODRILO SEVERIDAD BAJO - MEDIANO (FISURAS DE 2 - 5 mm) | m ² | 68,400.00 |
| 3 | AHUELLAMIENTO NIVEL DE SEVERIDAD BAJO (0 - 10 mm) | m | 90,000.00 |
| 4 | AHUELLAMIENTO NIVEL DE SEVERIDAD MEDIANO (10 - 25 mm) | m | 1,000.00 |
| 5 | HUNDIMIENTO DE ALTA SEVERIDAD | m ² | 7,420.00 |
| 6 | BACHE | m ² | 1,000.00 |
| | | | |

En términos generales se concluye que el pavimento está en buenas condiciones ya que las reparaciones que requiere, son propias de un mantenimiento periódico.

3.4 RESULTADOS DE RUGOSIDAD

Los resultados de la rugosidad determinada cada 100 m y acumulada por cada km, se presenta en el **ANEXO 2**; el Índice de Rugosidad característico para el lado derecho es de 2.414 m/km, es decir que el 95% del lado derecho de la carretera experimenta un valor igual o menor a este valor.

El Índice de Rugosidad característico para el lado izquierdo es de 2.654 m/km, es decir que el 95% del lado izquierdo de la carretera experimenta un valor igual o menor a este valor.

| LADO DERECHO | |
|---------------------|--------------|
| IRI PROMEDIO= | 1.700 |
| DESV STD= | 0.434 |
| IRI CARACTERISTICO= | 2.414 |

| LADO IZQUIERDO | |
|---------------------|--------------|
| IRI PROMEDIO= | 1.842 |
| DESV STD= | 0.494 |
| IRI CARACTERISTICO= | 2.654 |

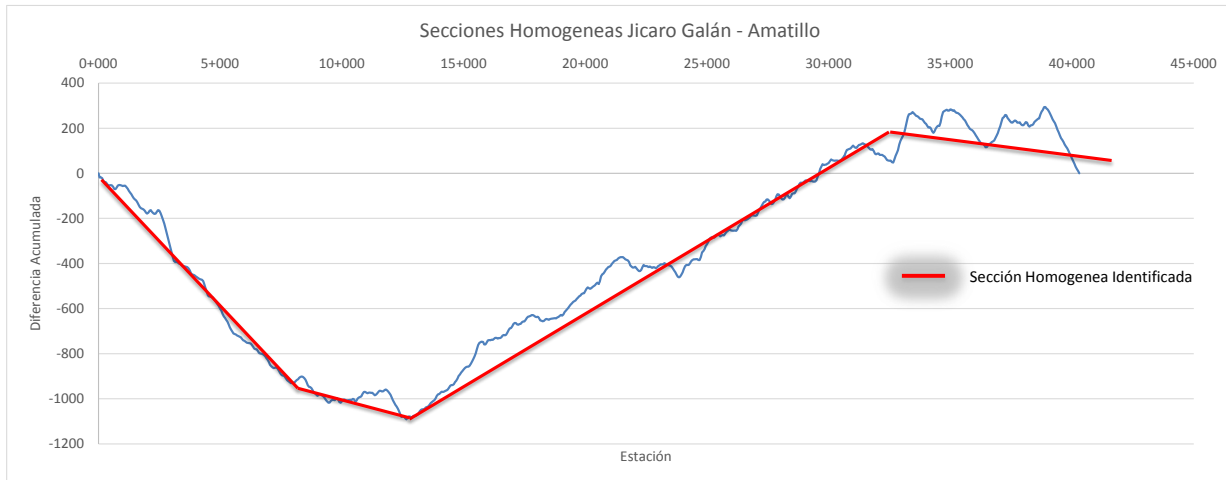
Los datos de rugosidad obtenida son congruentes con la condición que presenta la estructura de pavimento existente, y considerando que dicha estructura tiene 9 años de servicio _2006 fin de su construcción_; son indicativos que la misma podría tener una vida residual significativa, lo que minimizaría la inversión para esta rehabilitación.

Nota Importante: Los datos de rugosidad presentados en este informe, corresponden a las mediciones realizadas por esta firma consultora; sin embargo los datos utilizados en la evaluación económica corresponden a valores de rugosidad suministrados por INSEP. Esto fue así a solicitud del contratante.

3.5 UNIDADES HOMOGENEAS

3.5.1 Deflectometria.

Se realizó una primera valoración para determinar las secciones de comportamiento homogéneo de acuerdo al numeral 2.3, utilizando la deflexión central d1; encontrando la siguiente sub división de tramos:



| SECCION HOMOGENEA | ESTACION INICIAL | ESTACION FINAL |
|-------------------|------------------|----------------|
| 1 | 0+000 | 8+350 |
| 2 | 8+350 | 12+850 |
| 3 | 12+850 | 32+650 |
| 4 | 32+650 | 40+300 |

El cálculo de estas secciones se muestra en el ANEXO 3.

3.5.2 Condiciones climáticas y de transito

El tramo de diseño se encuentra en su totalidad en una zona de clima homogéneo, por lo cual no se considera esta variable en la definición de secciones de diseño.

En cuanto al variable tráfico se realizó una sub división a la sección homogénea 1 y 4 definidas en base a la deflexión central.

3.5.3 Auscultación visual de fallas

No se realizó una sub división de secciones homogéneas en base a esta variable ya que las fallas son puntuales y no superan los 500 m de longitud.

3.5.4 Estratigrafía

No se considera esta variable ya que la misma se refleja implícitamente en la deflexión central; por otra parte la estructura de pavimento es homogénea en la capa asfáltica y base granular.

3.5.5 Unidades de Diseño Finales

Considerando las variables deflexión central (d1) y el tráfico; se definen las siguientes secciones de diseño:

| SECCION HOMOGENEA | TRAMO |
|------------------------------|---------------------------|
| <i>Sección 1</i> | <i>(0+000 - 5+250)</i> |
| <i>Sección 2</i> | <i>(5+250 - 8+350)</i> |
| <i>Sección 3</i> | <i>(8+350 - 12+850)</i> |
| <i>Sección 4</i> | <i>(12+850 - 24+160)</i> |
| <i>Sección 5</i> | <i>(24+160 - 32+650)</i> |
| <i>Sección 6</i> | <i>(32+ 650 - 40+300)</i> |

3.6 EVALUACION DEFLECTOMETRICA

3.6.1 Análisis del Bulbo De Esfuerzos.

De acuerdo a lo propuesto por AASTO en la guía de diseño para estructuras de pavimento (1993), la deflexión empleada para retro calcular el módulo de la sub rasante debe ser medida lo suficientemente lejos, de tal modo que provea un estimativo del módulo de sub rasante, independientemente de los efectos de cualquiera de las capas por encima de esta, pero también debe estar lo suficientemente cerca, de tal modo que no sea muy pequeña e impida una medición precisa. La mínima distancia debe determinarse siguiendo la siguiente relación;

$$r \geq 0.7a_e$$

$$a_e = \sqrt{a^2 + \left(D^3 \sqrt{\frac{E_p}{M_r}} \right)^2}$$

Dónde:

r : Distancia desde el centro de plato de carga.

ae : Radio del bulbo de esfuerzos en la interface estructura-subrasante, pulgadas

a : Radio del plato de carga del deflectómetro, pulgadas

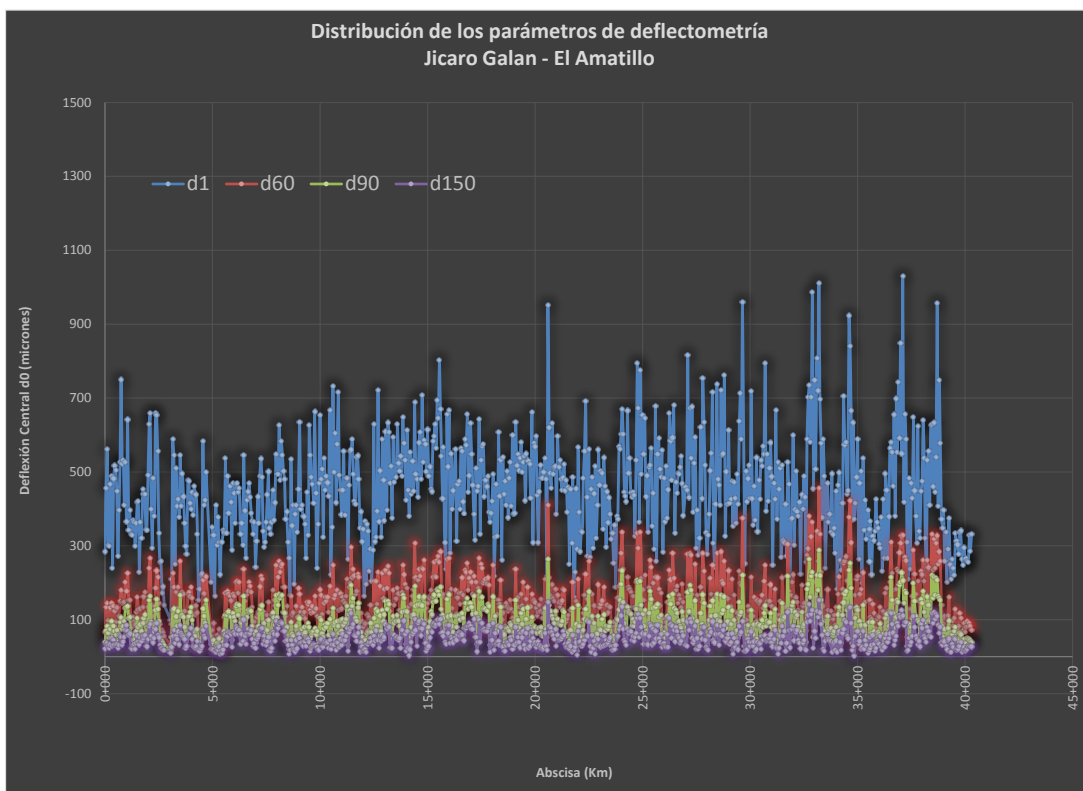
D : Espesor de las capas del pavimento, pulgadas

Ep : Modulo efectivo de todas las capas del pavimento por encima de la subrasante, psi

Aplicando la relación descrita anteriormente, se realizó un proceso iterativo con varios geófonos para que todos los ensayos realizados cumplan con la misma. Se encontró que con el geófono d5 a 60 cm el 24% de los valores retro calculados cumplen con la relación propuesta; con el geófono d6 a 90 cm el 73% de los valores cumplen la relación descrita; y el restante 4%% de los resultados se evaluó con el siguiente geófono d7 a 150 cm, obteniendo así un retrocálculo de módulos que cumple en 100% la relación propuesta por AASHTO.

| | | |
|---------------------|-----|-----|
| Geófono d5 60 cm | 187 | 24% |
| Geófono d6 a 90 cm | 575 | 73% |
| Geófono d7 a 150 cm | 31 | 4% |

3.6.2 Resultado de Las Mediciones de deflexiones



El grafico anterior, muestra el perfil longitudinal de la deflexión central (d1) y la deflexión utilizada para medir la subrasante (d60, d90 y d150), según se cumpla la relación descrita en el apartado anterior; y los rangos de variación de cada deflexión.

Los resultados de las mediciones de cada sensor se presentan en el anexo 4.

3.6.3 Normalización de Las Deflexiones por Carga

Se realizó una corrección por carga a todas las deflexiones normalizando las mismas de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$d_i = d_{io} * \frac{Pr}{P_0}$$

Dónde:

d_i: Deflexión del sensor i, corregido a la carga Pr.

d₀: Deflexión del sensor i, medida en el campo con la carga de aplicación P₀.

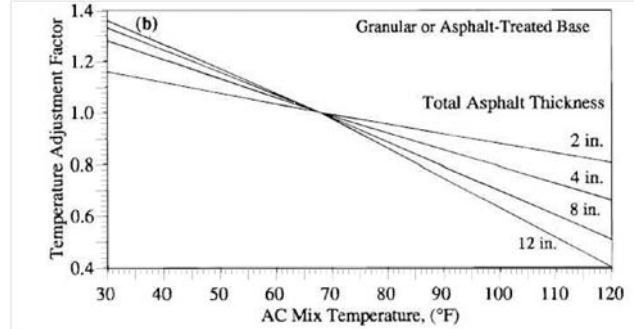
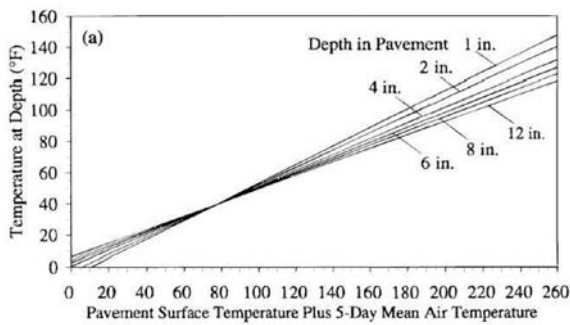
Pr: Carga de normalización (40kn)

P₀: Carga aplicada en las mediciones de campo en kn.

Los resultados de esta normalización de deflexiones por carga se presentan en el anexo 1.

3.6.4 Normalización de Las Deflexiones por Temperatura

Se realizó una corrección por temperatura del sensor d_0 , para corregir el efecto de la temperatura en la superficie del pavimento; a tal efecto se utilizaron los ábacos de la



guía de diseño AASHTO 93, para estandarizar las mediciones a una temperatura de referencia de 20 °C.

La metodología de corrección por temperatura se realizó en tramos de 4 km; la misma consistió en promediar la temperatura de la superficie del pavimento en cada tramo de 4 km y se le sumó el promedio de la temperatura de los últimos 5 días; esta temperatura se utilizó el ábaco (a) de acuerdo al espesor de la capa asfáltica y se encontró la temperatura de la capa asfáltica.

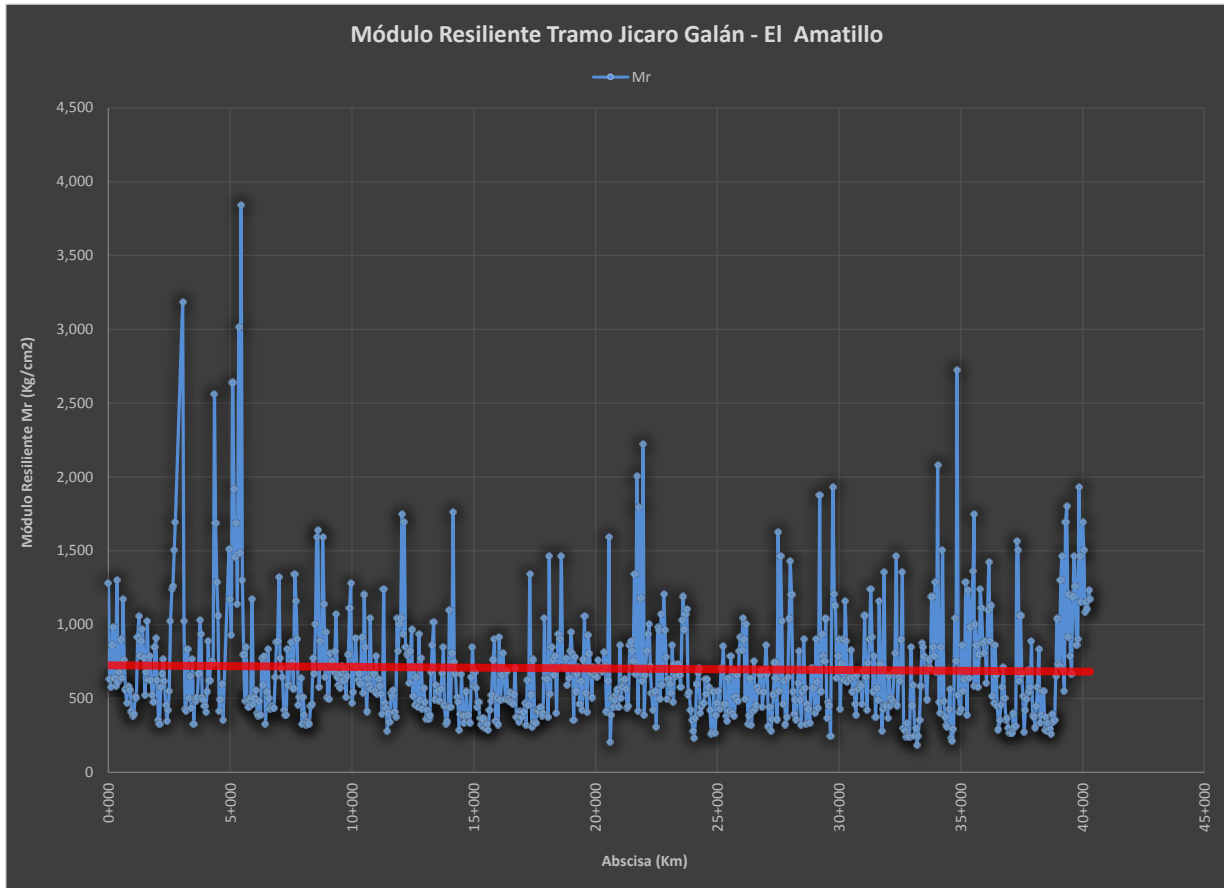
Con la temperatura de la capa asfáltica se utilizó el ábaco (b) para encontrar el factor de corrección por temperatura utilizado.

| Estación Inicial | Estación Final | °C | T aire prom | Suma °C | Suma °F | T. Capa °F | Factor de corrección por temperatura |
|------------------|----------------|----|-------------|---------|---------|------------|--------------------------------------|
| 0+000 | 4+000 | 45 | 33 | 78 | 172 | 88 | 0.87 |
| 4+000 | 8+000 | 49 | 33 | 82 | 180 | 91 | 0.855 |
| 8+000 | 12+000 | 53 | 33 | 86 | 187 | 95 | 0.825 |
| 12+000 | 16+000 | 57 | 33 | 90 | 194 | 100 | 0.795 |
| 16+000 | 20+000 | 61 | 33 | 94 | 201 | 103 | 0.775 |
| 20+000 | 24+000 | 63 | 33 | 96 | 205 | 105 | 0.76 |
| 24+000 | 28+000 | 61 | 33 | 94 | 201 | 103 | 0.775 |
| 28+000 | 32+000 | 60 | 33 | 93 | 199 | 102 | 0.78 |
| 32+000 | 36+000 | 56 | 33 | 89 | 192 | 99 | 0.8 |
| 36+000 | 40+300 | 51 | 33 | 84 | 183 | 95 | 0.825 |

El cuadro anterior muestra los factores de corrección para el sensor d_1 , los cuales varían de 0.76 a 0.87.

3.7 MODULO RESILIENTE

De acuerdo con la metodología AASHTO 93, planteada en el numeral 2.5.2 se presenta a continuación un gráfico de los resultados obtenidos para el módulo resiliente de diseño.

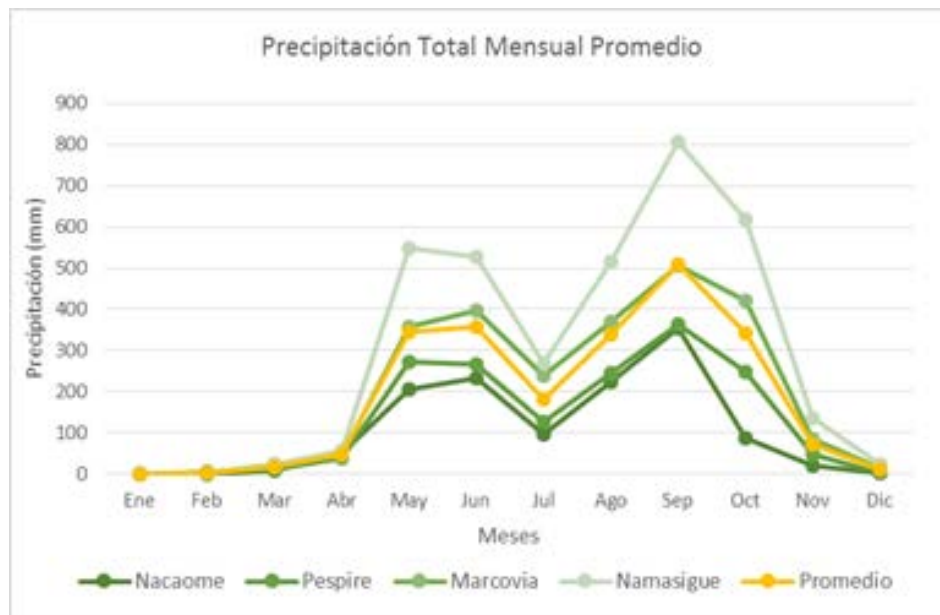


El gráfico anterior se concluye que los módulos retro calculados _modificados por coeficiente C varían entre $3,840 \text{ kg/cm}^2$ y 187 kg/cm^2 con un promedio de 703 kg/cm^2 ; la sección homogénea que presenta un módulo resiliente promedio menor se ubica entre las estaciones 12+850 – 32+650 con un valor medio de 643 kg/cm^2 .

De acuerdo al método AASHTO, para módulos de resiliencia obtenidos a partir de estudios deflectométricos, se utiliza un factor de corrección (C) de 0.33 a 1.2; para este diseño se determinó el factor de corrección $C= 0.50$ de acuerdo al siguiente análisis:

3.7.1 Coeficiente C Utilizando Relación de CBR Y Módulos Retrocalculados.

Para definir el valor del coeficiente de corrección del módulo resiliente se reconstruyo una variación estacional de módulos resilientes, en base a la variación estacional de la precipitación de la zona de acuerdo al gráfico y conclusiones siguientes:



El estudio Hidrológico concluye que existe una marcada estación seca, de Noviembre a Abril, con una precipitación máxima promedio de 70.0 mm.; de Mayo a Octubre la precipitación máxima promedio es de 500.0 mm., teniendo el fenómeno de canícula en Julio, y una precipitación máxima en Septiembre.

Por otra parte para la reconstrucción de la variación estacional de módulos se fijó un valor mínimo correspondiente a un CBR de 3% cuyo módulo resiliente sería de 6, 000 psi, de acuerdo a la ecuación AASHTO 93, ($M_r = 1500 \times \text{CBR}$); de igual forma se fijó un valor máximo producto del promedio de retrocálculo de módulos de la sub rasante menos la desviación estándar de esta medición; este valor máximo corresponde a 623 kg/cm² o 8,859.06 psi.

Posteriormente para afinar el cálculo se promediaron los módulos de las fronteras de meses secos y lluviosos y se obtuvo una variación estacional de módulos a la cual se calculó el daño relativo que propone el método de diseño de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$U_f = 1.18 \times 10^8 \times M_r^{-2.32}$$

| MES | Clima | Mr Sub Rasante | Daño Relativo Uf |
|-----------------|--------|----------------|--------------------|
| Enero | Seca | 8859.06 | 0.082024327 |
| Febrero | Seca | 8859.06 | 0.082024327 |
| Marzo | Seca | 8859.06 | 0.082024327 |
| Abril | Seca | 8859.06 | 0.082024327 |
| Mayo | Humedo | 7429.53 | 0.123381969 |
| Junio | Humedo | 6000.00 | 0.202568124 |
| Julio | Humedo | 6714.77 | 0.156016492 |
| Agosto | Humedo | 6000.00 | 0.202568124 |
| Septiembre | Humedo | 6000.00 | 0.202568124 |
| Octubre | Humedo | 6000.00 | 0.202568124 |
| Noviembre | Seca | 8859.06 | 0.082024327 |
| Diciembre | Seca | 8859.06 | 0.082024327 |
| Promedio | | | 0.131818077 |

Seguidamente se interpoló el valor de módulo resiliente que corresponde al promedio de daño relativo calculado encontrando que dicho valor de módulo resiliente es de 7, 678.05 psi; siendo este el valor con que se debe relacionar el modulo promedio encontrado para cada sección homogénea encontrando que los valores de C pueden variar de 0.72 a 0.35 y un promedio de 0.46 tal como se muestra en el siguiente cuadro:

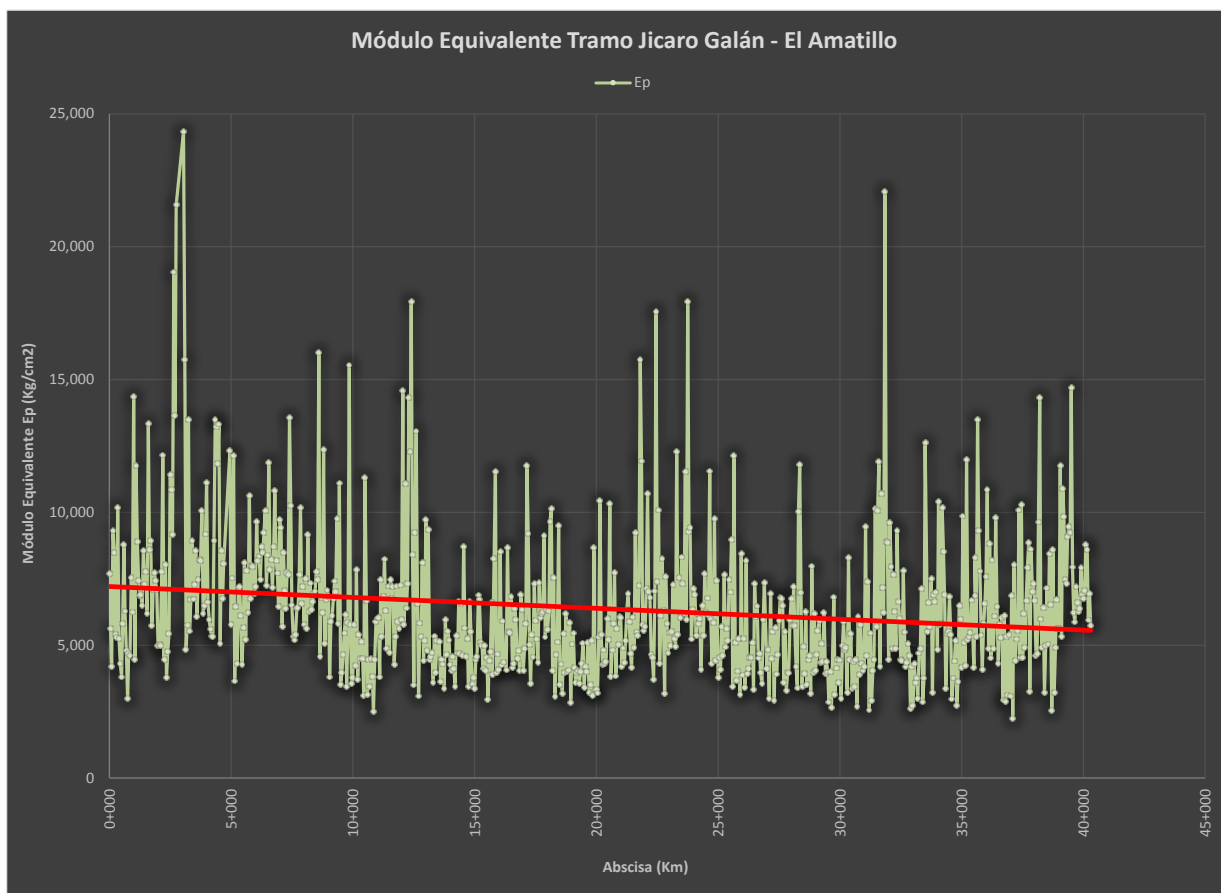
| SECCION HOMOGENEA JICARO G. - AMATILLO | ESTACION INICIAL | ESTACION FINAL | Mr medio Kg/vm2 | Mr Medio PSI | C |
|---|---------------------|-------------------|-----------------------|-----------------|------------|
| 1 | 0+000 | 8+350 | 1543.56 | 21949.4172 | 0.3 |
| 2 | 8+350 | 12+850 | 754.234 | 10725.2047 | 0.7 |
| 3 | 12+850 | 32+650 | 1269.41 | 18050.9869 | 0.4 |
| 4 | 32+650 | 40+300 | 1464.13 | 20819.8643 | 0.4 |
| PROMEDIO | | | | | 0.5 |

Se detallan los resultados de módulo resiliente de diseño promedio de cada sección homogénea.

| SECCION HOMOGENEA | TRAMO | Mr sub rasante kg/cm2 |
|------------------------------|---------------------------|----------------------------------|
| Sección 1 | (0+000 - 5+250) | 787 |
| Sección 2 | (5+250 - 8+350) | 787 |
| Sección 3 | (8+350 - 12+850) | 754 |
| Sección 4 | (12+850 - 24+160) | 643 |
| Sección 5 | (24+160 - 32+650) | 643 |
| Sección 6 | (32+ 650 - 40+300) | 738 |

3.8 Modulo Equivalente de La Estructura

De acuerdo con la metodología AASHTO 93, planteada en el numeral 2.5.3 se presenta a continuación un gráfico de los resultados obtenidos para el módulo equivalente de la estructura.



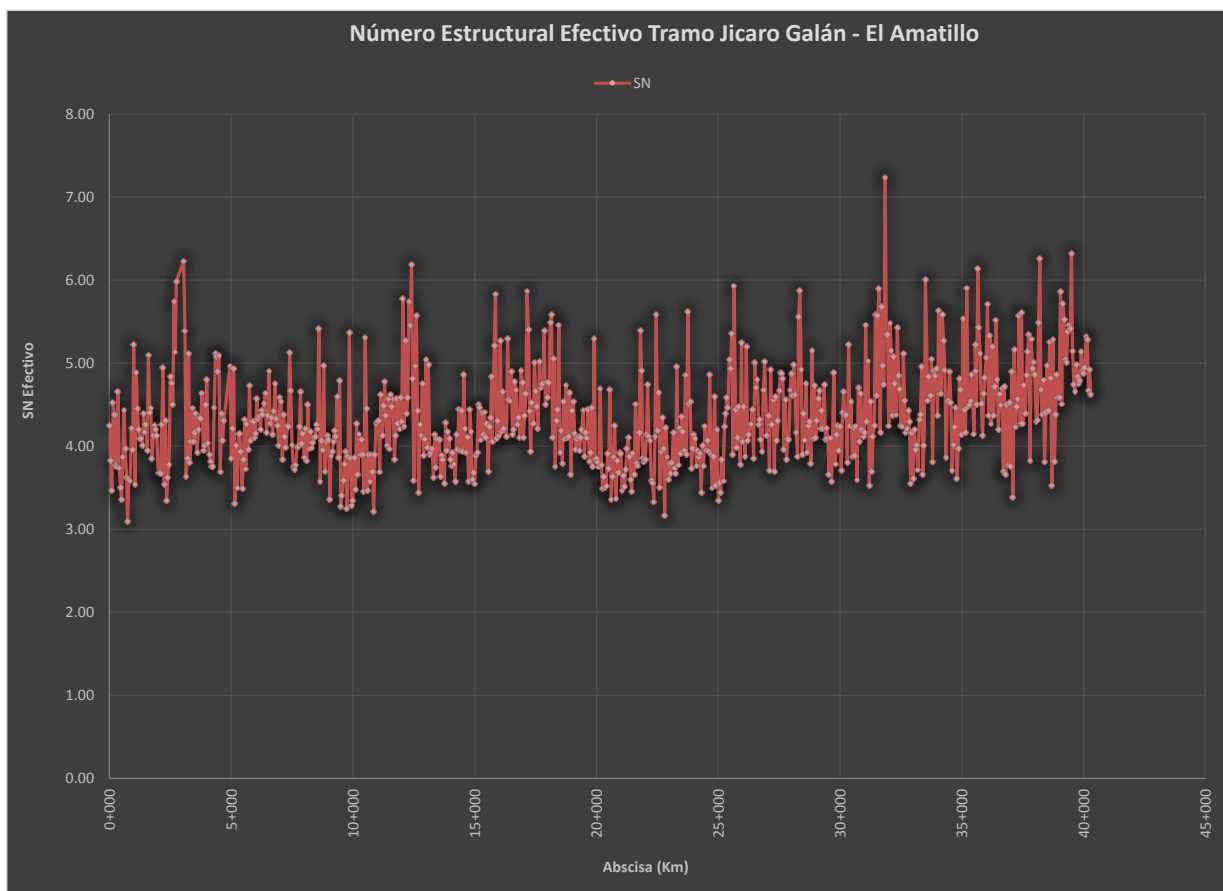
El grafico anterior se concluye que los módulos equivalentes retro calculados varían entre 24,322 kg/cm² y 2,254 kg/cm² con un promedio de 6,378 kg/cm²; la sección homogénea que presenta un módulo equivalente promedio menor se ubica entre las estaciones 12+850 – 32+650 con un valor medio de 5,715 kg/cm².

Se detallan los resultados de módulo equivalente de diseño promedio de cada sección homogénea.

| SECCION HOMOGENEA | TRAMO | Ep kg/cm2 |
|------------------------------|---------------------------|----------------------|
| Sección 1 | (0+000 - 5+250) | 7,914 |
| Sección 2 | (5+250 - 8+350) | 7,914 |
| Sección 3 | (8+350 - 12+850) | 6,706 |
| Sección 4 | (12+850 - 24+160) | 5,715 |
| Sección 5 | (24+160 - 32+650) | 5,715 |
| Sección 6 | (32+ 650 - 40+300) | 6,296 |

3.9 Numero Estructural Efectivo

De acuerdo con la metodología AASHTO 93, planteada en el numeral 2.5.4 se presenta a continuación un gráfico de los resultados obtenidos para el número estructural efectivo o remanente.

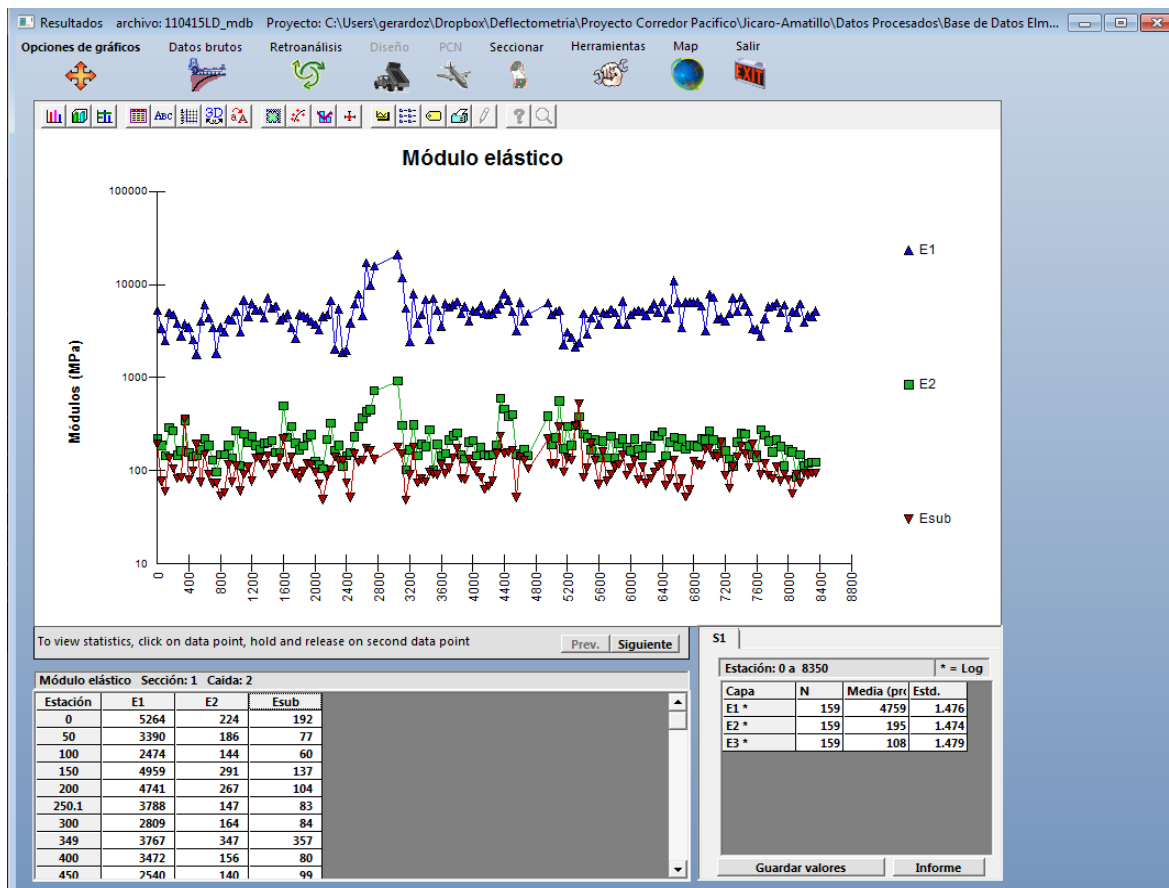


El grafico anterior se concluye que el número estructural efectivo varía entre 7.24 y 3.10 con un promedio de 4.3; el valor de Sn efectivo utilizado en cada sección homogénea el percentil 15, ya que se está diseñando para que el 85% de los valores encontrados este por encima del valor de Sn efectivo encontrado. Se detallan los resultados de módulo equivalente de diseño promedio de cada sección homogénea.

| SECCION HOMOGENEA | TRAMO | SN Efectivo |
|----------------------|--------------------|-------------|
| Sección 1 | (0+000 - 5+250) | 3.7538 |
| Sección 2 | (5+250 - 8+350) | 3.7538 |
| Sección 3 | (8+350 - 12+850) | 3.5846 |
| Sección 4 | (12+850 - 24+160) | 3.7690 |
| Sección 5 | (24+160 - 32+650) | 3.7690 |
| Sección 6 | (32+ 650 - 40+300) | 4.1397 |

3.10 Retro cálculo de Módulos con Análisis Mecanicista

Se realizó un retro cálculo de módulos de la estructura de pavimento actual, utilizando la teoría elástica multicapa (Odemarks – Boussinesq); sobre todo para conocer el módulo dinámico de la capa asfáltica actual y poder utilizar este valor como de referencia en el diseño de rehabilitación;



Los valores de módulo dinámico obtenidos en el retro calculo mecanicista varían entre 4,069 Mpa a 5,187 Mpa (590,158 psi a 752,387 psi); estos valores de módulo dinámico de la capa asfáltica son indicativo del envejecimiento de la misma.

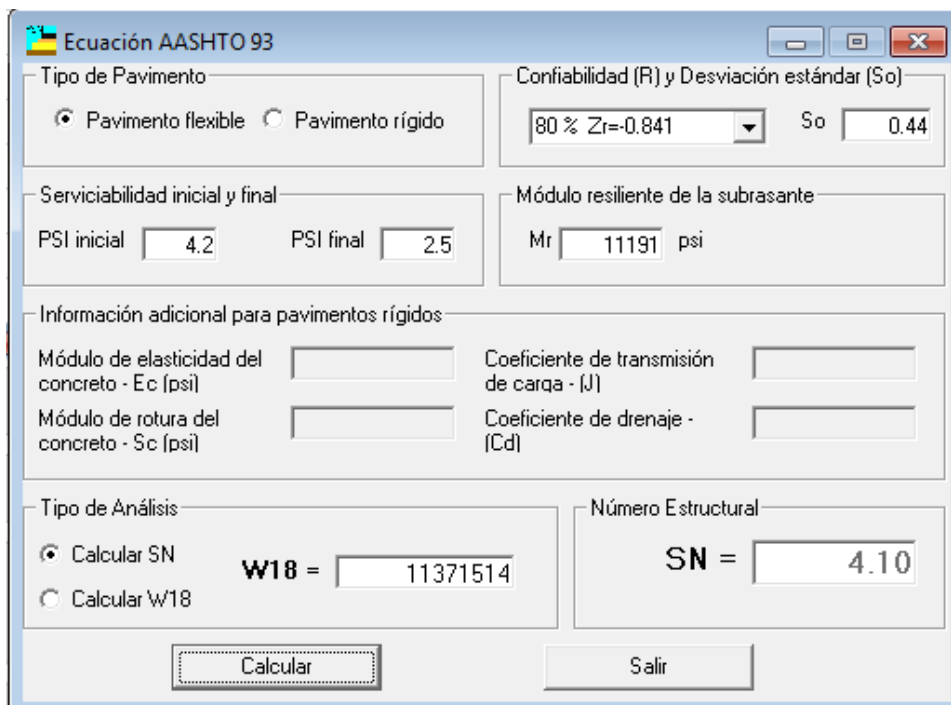
El anexo 5 muestra el retrocálculo de módulo de las capas de la estructura de pavimento.

3.11 BASES DEL CÁLCULO Y EJEMPLO TIPO PARA PAVIMENTO FLEXIBLE

3.11.1 Cálculo del Número Estructural Futuro Para Los Primeros 10 Años.

Este valor representa el número estructural total que debe tener la estructura de pavimento para proteger la sub rasante de la fatiga; está en función del número de ejes equivalentes de 18,000 psi, las variables generales para pavimento flexibles descritas en el numeral 2.5.1 y el valor de módulo resiliente de la sub rasante.

Ejemplo de SN Futuro para la sección homogénea 1 (0+000 - 5+250)



Ecuación AASHTO 93

Tipo de Pavimento:
☒ Pavimento flexible ☐ Pavimento rígido

Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So):
 80 % $Z_r = -0.841$ So: 0.44

Serviciabilidad inicial y final:
 PSI inicial: 4.2 PSI final: 2.5

Módulo resiliente de la subrasante:
 Mr: 11191 psi

Información adicional para pavimentos rígidos:
 Módulo de elasticidad del concreto - E_c (psi):
 Módulo de rotura del concreto - S_c (psi):
 Coeficiente de transmisión de carga - (J):
 Coeficiente de drenaje - (Cd):

Tipo de Análisis:
☒ Calcular SN **W18 =** 11371514
☐ Calcular W18

Número Estructural:
SN = 4.10

Calcular Salir

Con la confiabilidad, desviación estándar y serviciabilidad Indicadas, así como un módulo resiliente de 786.81 kg/cm² (11,191 psi) y un ejes equivalentes de diseño de 11, 371,514, el numero estructural futuro total que requiere la sección homogénea 1 es de 4.08

Se realizó un cálculo similar para cada sección homogénea obteniendo los siguientes resultados.

| SECCION HOMOGENEA | TRAMO | Mr sub rasante kg/cm2 | SN Futuro |
|------------------------------|---------------------------|----------------------------------|------------------|
| Sección 1 | (0+000 - 5+250) | 786.81 | 4.10 |
| Sección 2 | (5+250 - 8+350) | 786.81 | 3.91 |
| Sección 3 | (8+350 - 12+850) | 754.23 | 3.97 |
| Sección 4 | (12+850 - 24+160) | 642.63 | 4.21 |
| Sección 5 | (24+160 - 32+650) | 642.63 | 3.93 |
| Sección 6 | (32+ 650 - 40+300) | 737.66 | 3.73 |

Se observa que el SN Futuro que requiere la carretera para los primeros 10 años varía según cada sección entre 3.73 y 4.21.

3.11.2 Cálculo del Sn Agregado Para Los Primeros 10 Años.

Este valor es la diferencia entre el SN Futuro y el Sn efectivo encontrado en el retrocálculo y presentado en el numeral; es el número estructural que se requiere agregar para que la estructura soporte la demanda de ejes equivalentes de diseño en cada sección homogénea.

$$Sn_{\text{agregado}} = SN_{\text{total}} - Sn_{\text{efectivo}}$$

 **Ejemplo de Calculo Sn Agregado para la sección homogénea 1 (0+000 - 5+250)**

$$Sn_{\text{agregado}} = 4.10 - 3.7538 = 0.3462$$

Se requiere agregar una diferencia de número estructural de 0.326 para equilibrar el número estructural actual de la carretera con el que se demanda en función del tráfico de 10 años.

Se presentan los resultados del resto de las secciones homogéneas.

| SECCION HOMOGENEA | TRAMO | SN Agregado |
|------------------------------|---------------------------|--------------------|
| Sección 1 | (0+000 - 5+250) | 0.3462 |
| Sección 2 | (5+250 - 8+350) | 0.1562 |
| Sección 3 | (8+350 - 12+850) | 0.3854 |
| Sección 4 | (12+850 - 24+160) | 0.4410 |
| Sección 5 | (24+160 - 32+650) | 0.1610 |
| Sección 6 | (32+ 650 - 40+300) | -0.4097 |

Se puede observar que todos los tramos requieren adicionar un aporte estructural bajo e incluso la última sección homogénea presenta un numero estructural efectivo que supera ligeramente el número estructural requerido en el futuro de 10 años.

Considerando el buen estado de la capa asfáltica actual se considera entonces colocar una sobre capa de mezcla asfáltica partiendo para su dimensionamiento del número estructural que se requiere agregar.

3.11.3 Cálculo de Espesores de Capa Asfáltica Para Los Primeros 10 Años.

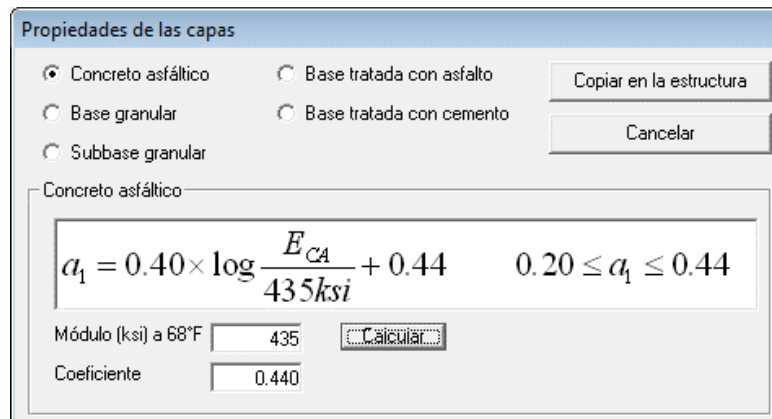
Con la ecuación general de numero estructural $S_n_{\text{agregado}} = a_1 * e$ donde,

a_1 , es el coeficiente estructural de la mezcla asfáltica y

e , es el espesor que se desea encontrar e pulgadas.

El coeficiente estructural se encontró con la ecuación definida por AASHTO en función del módulo dinámico de la mezcla asfáltica, el cual se definió en 435, 000 psi considerando.

El coeficiente estructural es $a_1 = 0.44$




Ejemplo de Calculo espesor de capa asfáltica requerido para la sección homogénea 1 (0+000 - 5+250) primera década.

$$e = S_n_{\text{agregado}} / a_1$$

$$e = 0.3462 / 0.44$$

$$e = 0.7864 \text{ pulgadas o } 2 \text{ cm}$$

El espesor que se requiere para completar el número estructural futuro es de 2 cm; por lo que se propone colocar el espesor mínimo constructivo $e=4$ cm.

Se presenta el cálculo de espesor que requiere el resto de secciones homogéneas.

| SECCION HOMOGENEA | TRAMO | ESPESOR CAPA ASFALTICA (cm) | ESPESOR TOTAL CAPA ASFALTICA 1ra. Etapa (cm) |
|------------------------------|---------------------------|--|---|
| Sección 1 | (0+000 - 5+250) | 2 | 4 |
| Sección 2 | (5+250 - 8+350) | 1 | 4 |
| Sección 3 | (8+350 - 12+850) | 2 | 4 |
| Sección 4 | (12+850 - 24+160) | 3 | 4 |
| Sección 5 | (24+160 - 32+650) | 1 | 4 |
| Sección 6 | (32+ 650 - 40+300) | -2 | 4 |

Se observa que todas las secciones requieren un espesor igual o menor que 3 cm, por lo que se propone para todas las secciones homogéneas colocar un espesor mínimo constructivo de 4 cm.

3.11.4 Cálculo de Espesores de Capa Asfáltica Para Los Últimos 10 Años.

De forma análoga se encontraron los espesores complementarios de mezcla asfáltica para la segunda década o etapa de pavimentación; se encontró el SN total para los segunda etapa y se restó de un supuesto S_n efectivo que es igual al 90% del valor encontrado inicialmente, agregándole el s_n efectivo que aportaría el espesor de la primera capa de pavimento pero modificando su coeficiente estructural utilizando un módulo mayor al inicial por efecto del envejecimiento $a_1=0.42$.

$$S_{n \text{ agregado } 2028} = S_{n \text{ Futuro } 2028} - S_{n \text{ efectivo } 2028}$$

$$S_{n \text{ Efectivo } 2028} = S_{n \text{ Efectivo}} + (e_{\text{ capa asf. Inicial}} * a_1 \text{ envejecido})$$

Ejemplo de Calculo espesor de capa asfáltica requerido para la sección homogénea 1 (0+000 - 5+250) segunda década.

Calculando el número estructural futuro con las mismas variables solo modificando los ejes equivalentes correspondientes a la segunda década se obtiene que se requiera un SN futuro de 4.33

El Número estructura efectivo en el año 2028 será el 90% del número estructural efectivo encontrado en el retrocálculo año 2015, sumándole el aporte de los primeros 4 cm envejecidos en 10 años de uso, utilizando un coeficiente estructural $a_1=0.42$.

$$Sn_{\text{Efectivo 2028}} = Sn_{\text{Efectivo}} + (e_{\text{capa asf. Inicial}} * a_1 \text{ envejecido})$$

$$Sn_{\text{Efectivo 2028}} = (3.7538 * 0.90) + ((4/2.54) * 0.42) = 4.04$$

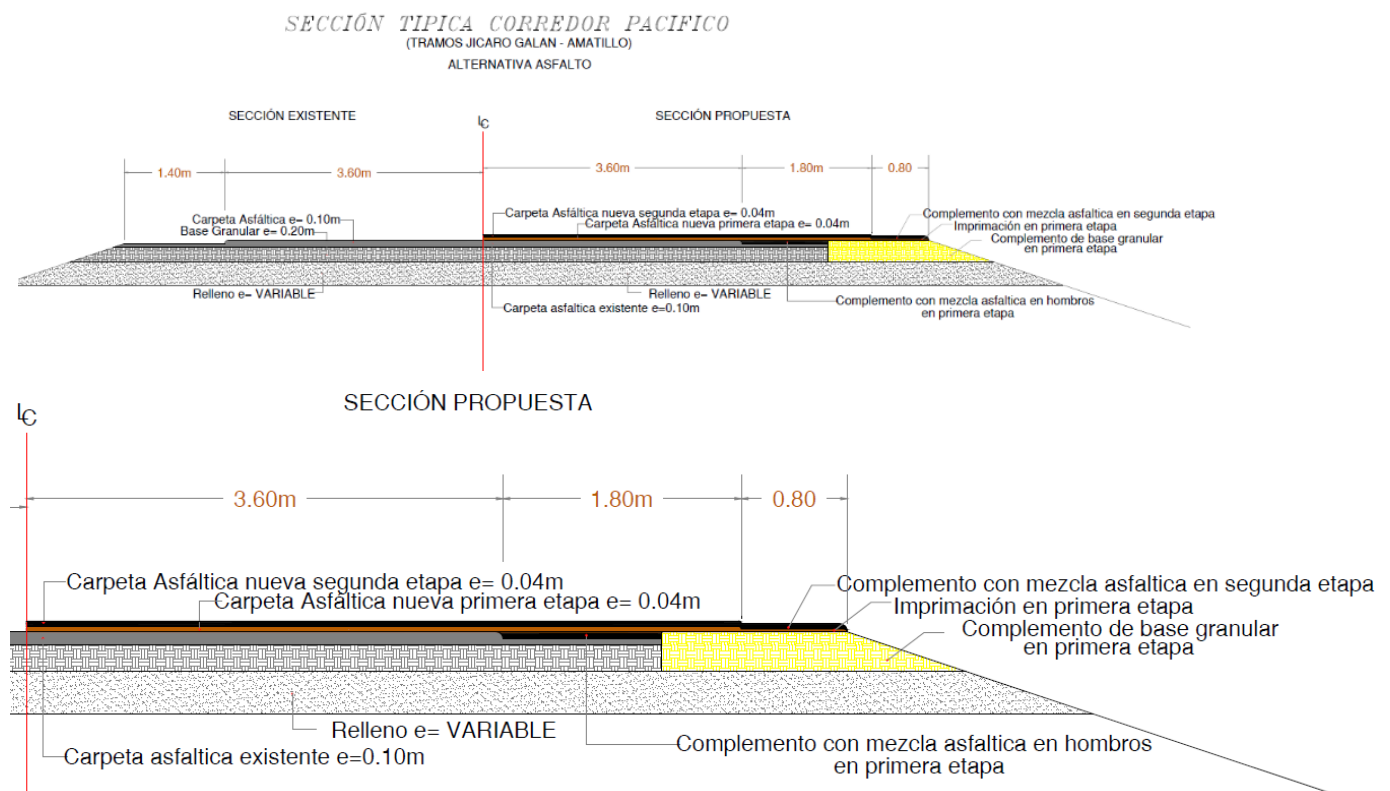
La diferencia del número estructural futuro con el número estructural efectivo en 2018 encontramos el número estructural que se requiere agregar en la segunda intervención:

| SECCION HOMOGENEA | W_{18} 2da. Decada | SN Futuro en el 2026 | SN Efectivo año 2026 | SN Agregado | ESPEJOR CAPA ASFALTICA (cm) | ESPEJOR TOTAL CAPA ASFALTICA 2da Etapa (cm) |
|----------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------|--------------------------------|---|
| Sección 1 | 1.6289475E+07 | 4.33 | 4.04 | 0.29 | 2 | 4 |
| Sección 2 | 1.2108658E+07 | 4.14 | 4.04 | 0.10 | 1 | 4 |
| Sección 3 | 1.2108658E+07 | 4.20 | 3.89 | 0.31 | 2 | 4 |
| Sección 4 | 1.2108658E+07 | 4.45 | 4.05 | 0.40 | 2 | 4 |
| Sección 5 | 7.7548347E+06 | 4.16 | 4.05 | 0.11 | 1 | 4 |
| Sección 6 | 7.7548347E+06 | 3.95 | 4.39 | -0.44 | -3 | 4 |

DE cuadro anterior se observa que se requiere agregar números estructurales desde 0.10 a 0.40, valores que representan espesores entre 1 y 2 cm; por lo que también para la segunda intervención se colocará el espesor mínimo de 4 cm.

3.12 PROPUESTA ESQUEMATICA DE REHABILITACION CON PAVIMENTO FLEXIBLE

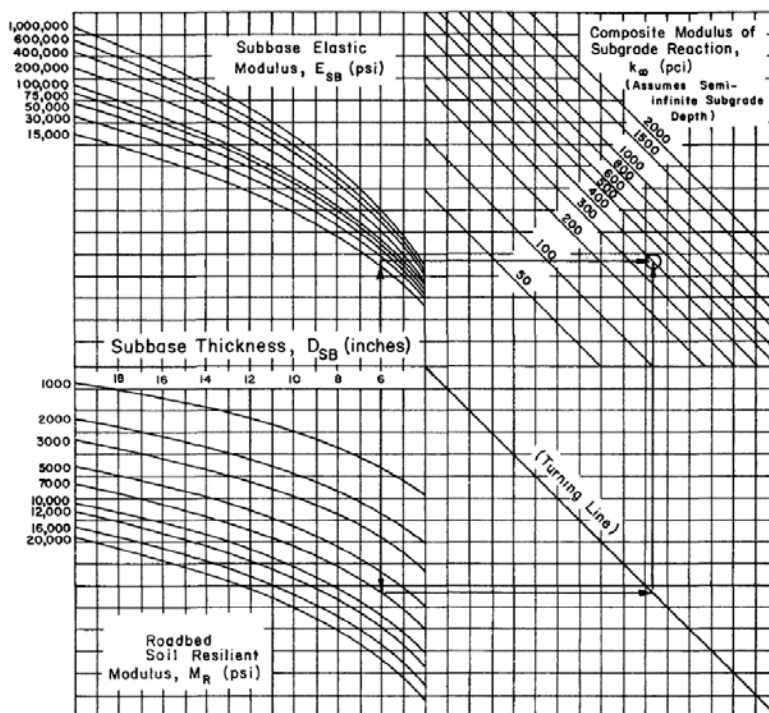
Considerando el estado actual de la carretera en términos de rugosidad y deterioros existentes y cálculo de espesor requerido producto del retrocálculo de módulos; se propone una alternativa de rehabilitación de acuerdo al siguiente esquema:



3.13 BASES DEL CÁLCULO Y EJEMPLO TIPO PARA PAVIMENTO RIGIDO

3.13.1 Calculo del Módulo De Reacción de La Sub Rasante.

Este valor de módulo de reacción de la sub rasante se calculó para cada sección homogénea utilizando el módulo equivalente de la estructura encontrado con el estudio deflectométrico, el espesor de la estructura existente y el módulo resiliente de la sub rasante; con estos valores se entró al nomograma propuesto por AASHTO para encontrar el módulo de reacción de sub rasante compuesto.



A continuación los resultados obtenidos.

| SECCION HOMOGENEA | TRAMO | MODULO RESILIENTE DE DISEÑO (PSI) | MODULO EQUIVALENTE DE LA ESTRUCTURA (PSI) | MODULO DE REACCION DE LA SUB RASANTE (k) (PSI - in) |
|----------------------|--------------------|--------------------------------------|---|---|
| Sección 1 | (0+000 - 5+250) | 15,597 | 86,935 | 1,500 |
| Sección 2 | (5+250 - 8+350) | 15,597 | 86,935 | 1,500 |
| Sección 3 | (8+350 - 12+850) | 14,800 | 76,510 | 1,350 |
| Sección 4 | (12+850 - 24+160) | 12,723 | 65,186 | 1,250 |
| Sección 5 | 24+160 - 32+650 | 12,723 | 65,186 | 1,250 |
| Sección 6 | (32+ 650 - 40+300) | 14,600 | 72,908 | 1,350 |

Los módulos de reacción de subrasante encontrados no se les consideraron pérdidas de soporte ya que las losas de concreto estarán colocadas sobre una capa asfáltica.

3.13.2 Calculo del espesor de losa de concreto hidráulico

✚ **Ejemplo de Calculo espesor de losa de concreto hidráulico requerido para la sección homogénea 1 (0+000 - 5+250).**

Se utilizó la ecuación para cálculo de espesor de losa de concreto hidráulico, utilizando las siguientes variables:

| VARIABLE | PAVIMENTO RIGIDO |
|---|------------------|
| Confiabilidad (R) | 80% |
| Desviación Estándar | 0.34 |
| Serviciabilidad Inicial | 4.5 |
| Serviciabilidad Final | 2.5 |
| Módulo de Elasticidad del Concreto (Ec) psi | 4,595,487 |
| Módulo de Rotura del concreto (Sc) psi | 650 |
| Coefficiente de Transmisión de Carga (J) | 2.8 |
| Coefficiente de Drenaje (Cd) | 1 |

Método AASHTO para el diseño de pavimentos (1993)
Desarrollado por: Luis Ricardo Vásquez Varela. Ingeniero Civil. Manizales, 2006.

Tipo de pavimento:
☐ Flexible
☒ Rígido

Confiabilidad (R) y desviación estándar (So):
 80 % Zr = - 0.841
 So: 0.34

Serviciabilidades inicial y final:
 PSI inicial: 4.5
 PSI final: 2.5

Tránsito de diseño:
 W18: 44332725

Pavimento rígido:

Módulo de reacción de la subrasante - k (psi/in): 1500 Ver Guía AASHTO para su obtención

Módulo de elasticidad del concreto - Ec (psi): 4595487 ¿Ec/Sc?

Módulo de rotura del concreto - Sc (psi): 650

Coefficiente de transmisión de carga - J: 2.8 J

Coefficiente de drenaje - Cd: 1.00 Cd

Espesor de losa D (plg):
 D redondeado (plg):
 W18 real:

Cálculo de W18 para un D (plg):
 D: 9.45 W18: 4.45e+007

☒ Quitar el control de variables

Diseñar Ver informe Salir

De la ecuación se encuentra que se requiere un espesor de losa de concreto hidráulico de 9.45 pulgadas o 24 cm, para satisfacer la demanda tráfico proyectada a 20 años.

Se adjunta diseño de espesores de las demás secciones homogéneas:

| SECCION HOMOGENEA | W18 | TRAMO | Espesor de Losa |
|------------------------------|----------------------|---------------------------|------------------------|
| Sección 1 | 4.4332725E+07 | (0+000 - 5+250) | 24 |
| Sección 2 | 3.3785765E+07 | (5+250 - 8+350) | 23 |
| Sección 3 | 3.3785765E+07 | (8+350 - 12+850) | 24 |
| Sección 4 | 3.3785765E+07 | (12+850 - 24+160) | 23 |
| Sección 5 | 2.0866562E+07 | 24+160 - 32+650 | 21 |
| Sección 6 | 2.0866562E+07 | (32+ 650 - 40+300) | 22 |

3.13.3 Dimensionamiento de losas y dovelas

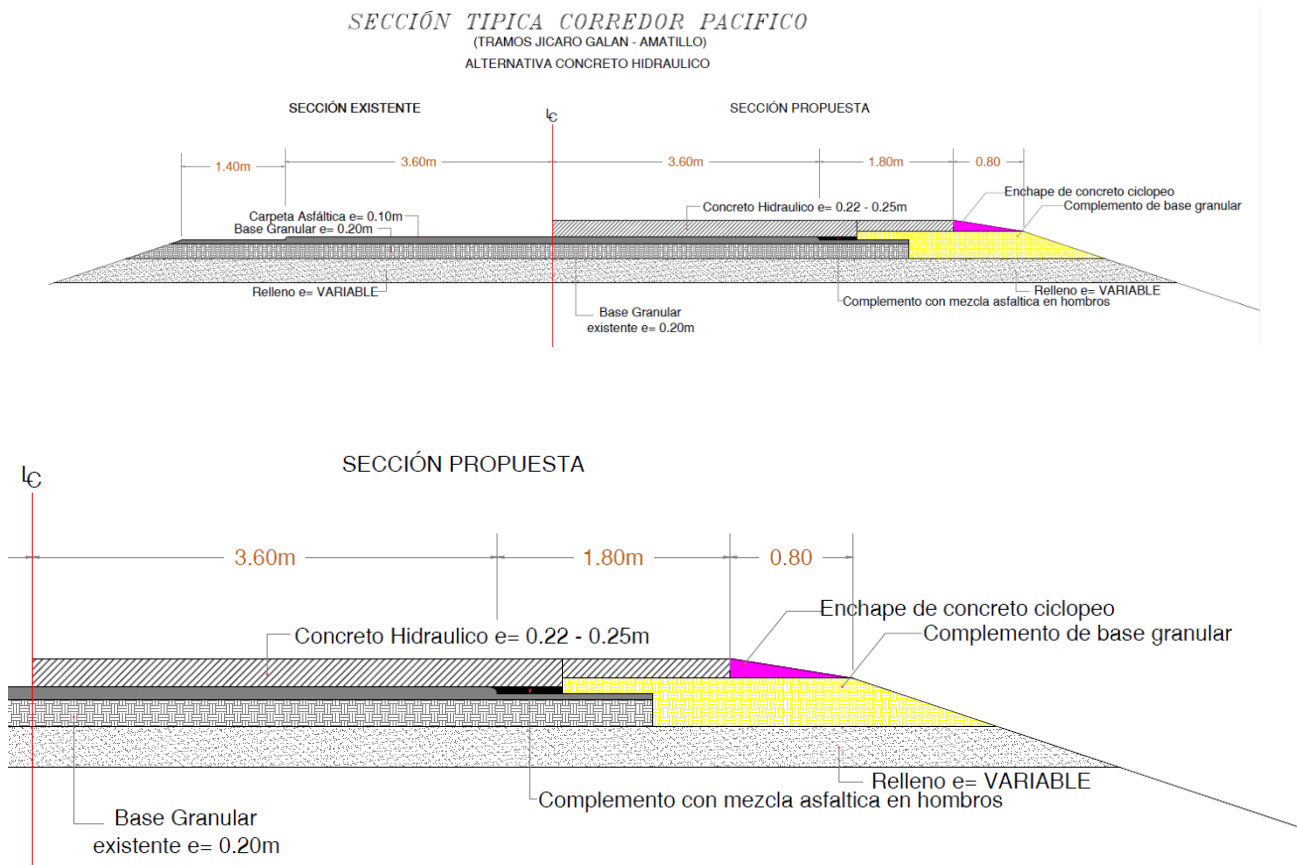
El dimensionamiento de las losas y dovelas se basa en la siguiente especificación:

1. El ancho de las losas es de 4.10 m correspondiente a el carril de diseño de 3.60 m, más un ancho adicional de 0.50 m.
2. El largo de las losas debe estar entre 24 veces el espesor y cumpliendo una relación largo ancho de 0.80.
3. El diámetro de la dovela es 1/8 del espesor de la losa en pulgadas.
4. El largo de la dovela es igual a 12 veces su diámetro más 5 cm.
5. La profundidad de instalación de la dovela es ½ del espesor de la losa.
6. La separación máxima entre dovelas es 30 cm.

| ESPESOR (cm) | ANCHO DE LOSA (m) | LARGO MAXIMO DE LOSA (m) | LARGO MAXIMO DE LOSA (m) | LARGO DOVELA (cm) | DIAMETRO DOVELA (pulg) | PROFUNDIDAD DOVELA (cm) | SEPARACION ENTRE DOVELAS (cm) |
|-------------------------|----------------------------------|---|---|----------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|--|
| 21 | 4.10 | 5.04 | 3.28 | 37 | 1 | 10.5 | 30 |
| 22 | 4.10 | 5.28 | 3.28 | 38 | 1-1/8 | 11 | 30 |
| 23 | 4.10 | 5.52 | 3.28 | 40 | 1-1/8 | 11.5 | 30 |
| 24 | 4.10 | 5.76 | 3.28 | 41 | 1-1/8 | 12 | 30 |

6.1 BASES DEL CÁLCULO Y EJEMPLO TIPO PARA PAVIMENTO RIGIDO

Para la alternativa de concreto hidráulico se propone la siguiente alternativa de rehabilitación:



4. CONCLUSION

De acuerdo a la inspección visual y su inventario de daños, la medición de rugosidades y finalmente la evaluación deflectométrica realizada al tramo Júcaro Galán – Amatillo, se concluye que dicho tramo presenta una vida estructural residual con la cual puede afrontar la demanda de tráfico proyectada en 20 años; para lo cual únicamente requerirá un recapeo de 4 cm de mezcla asfáltica al inicio y otro recapeo de igual espesor en el año 10 de la vida de análisis del proyecto.

Los espesores de concreto hidráulico proyectados con la metodología de diseño AASHTO 93 varían de 21 cm a 24 cm para satisfacer una demanda de tráfico de 20 años.

Las dos alternativas de pavimentación son técnicamente viables, pero será en base al análisis de factibilidad económica que se seleccionará la alternativa de pavimentación.

CONTENIDO

| | | |
|-------|--|----|
| 1. | Informacion General | 3 |
| 1.1 | Introduccion | 4 |
| 1.2 | Localizacion..... | 4 |
| 1.3 | Alcance | 4 |
| | Metodologia..... | 5 |
| 2.1 | Proyeccion de Tráfico y Equivalencia de Ejes | 5 |
| 2.2 | Deflectometria..... | 5 |
| 2.2.1 | Descripcion del Equipo..... | 5 |
| 2.2.2 | Revision del Equipo | 6 |
| 2.2.3 | Inspeccion Visual..... | 7 |
| 2.2.4 | Recoleccion de Datos..... | 7 |
| 2.2.5 | Revision de Datos..... | 8 |
| 2.3 | Definicion de Unidades de Diseño Mediante Diferencias Acumuladas | 8 |
| 2.4 | Metodologia Para La Medicion de Rugosidades | 11 |
| 2.4.1 | Equipo Utilizado | 11 |
| 2.4.2 | Elección de Pistas de Calibración | 11 |
| 2.4.3 | Calibracion Con Rugosimetro Merlin: | 12 |
| 2.4.4 | Calibración Romdas..... | 12 |
| 2.4.5 | Obtención Final de Valor Iri | 14 |
| 2.5 | Metodologia Aashto 93 Pavimento Flexible..... | 15 |
| 2.5.1 | Variables Generales Aashto 93 | 15 |
| 2.5.2 | Modulo Resiliente | 16 |
| 2.5.3 | Modulo Equivalente..... | 16 |
| 2.5.4 | Numero Estructural Efectivo..... | 17 |
| 2.6 | Metodologia Aashto 93 Pavimento Rigido..... | 17 |
| 2.6.1 | Variables Generales Aashto 93 | 17 |
| 2.6.2 | Modulo de Elasticidad del Concreto Asfaltico | 17 |
| 2.6.3 | Modulo de Rotura del Concreto | 17 |
| 2.6.4 | Coeficiente de Transmicion de Carga | 17 |
| 2.6.5 | Coeficiente de Drenaje | 18 |

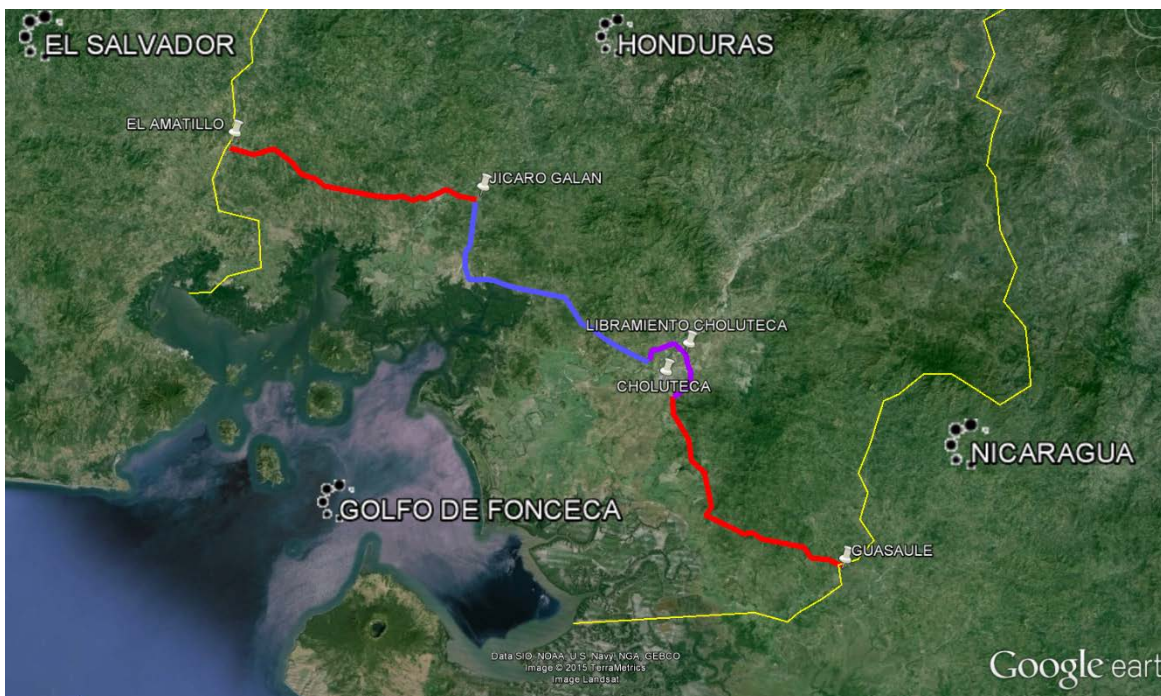
| | | |
|--------|---|----|
| 3. | Resultados..... | 19 |
| 3.1 | Proyeccion de Tráfico y Equivalencia de Ejes | 19 |
| 3.1.1 | Ejes de Diseño Sub Tramo Jicaro Galan – San Lorenzo (Pavimento Flexible)..... | 19 |
| 3.1.2 | Ejes de Diseño Sub Tramo San Lorenzo – Choluteca (Pavimento Flexible) | 21 |
| 3.1.3 | Ejes de Diseño Sub Tramo Libramiento De Choluteca (Pavimento Flexible)..... | 23 |
| 3.1.4 | Ejes de Diseño Sub Tramo Jicaro Galan – San Lorenzo (Pavimento Rigido) | 25 |
| 3.1.5 | Ejes de Diseño Sub Tramo San Lorenzo - Choluteca (Pavimento Rigido) | 27 |
| 3.1.6 | Ejes de Diseño Sub Tramo Libramiento De Choluteca (Pavimento Rigido) | 29 |
| 3.2 | Exploracion Geotecnica | 31 |
| 3.2.1 | Espesores de La Estructura de Pavimento | 31 |
| 3.2.2 | Analisis de Materiales | 31 |
| 3.3 | Inspeccion Visual | 34 |
| 3.4 | Resultados de Rugosidad..... | 42 |
| 3.5 | Unidades Homogeneas..... | 43 |
| 3.5.1 | Deflectometria. | 43 |
| 3.5.2 | Condiciones Climaticas y de Transito..... | 44 |
| 3.5.3 | Auscultacion Visual de Fallas | 44 |
| 3.5.4 | Estratigrafia..... | 44 |
| 3.5.5 | Unidades de Diseño Finales | 44 |
| 3.6 | Evaluacion Deflectometrica..... | 45 |
| 3.6.1 | Análisis del Bulbo de Esfuerzos. | 45 |
| 3.6.2 | Resultado de Las Mediciones de Deflexiones..... | 46 |
| 3.6.3 | Normalizacion de Las Deflexiones Por Carga..... | 48 |
| 3.6.4 | Normalizacion de Las Deflexiones Por Temperatura..... | 49 |
| 3.7 | Modulo Resiliente..... | 51 |
| 3.7.1 | Coeficiente C Utilizando Relacion de CBR Y Modulos Retrocalculados. | 53 |
| 3.8 | Modulo Equivalente de La Estructura | 55 |
| 3.9 | Numero Estructural Efectivo | 57 |
| 3.10 | Retrocalculo de Modulos con Analisis Mecanista..... | 59 |
| 3.11 | Bases del Cálculo y Ejemplo Tipo Para Pavimento Flexible | 60 |
| 3.11.1 | Concepto de Rehabilitacion. | 60 |

| | | |
|--------|--|----|
| 3.11.2 | Cálculo del Número Estructural Futuro Para Los Primeros 10 Años..... | 61 |
| 3.11.3 | . Cálculo del Sn Agregado Para Los Primeros 10 Años. | 62 |
| 3.11.4 | Cálculo de Espesores de Capa Asfáltica Para Equilibrar El Número Estructural Futuro En Los Primeros 10 Años..... | 63 |
| 3.11.5 | Calculo del Numero Estructural de La Capa Asfaltica Para Proteger La Base Granular... | 65 |
| 3.11.6 | Calcuulo del Espesor de Capa Asfaltica Colocada Sobre La Capa Asfaltica Parcial Existente. | 66 |
| 3.11.7 | Cálculo de Espesores de Capa Asfáltica Para Los Ultimos 10 Años. | 67 |
| 3.12 | Propuesta Esquemática de Rehabilitación Con Pavimento Flexible | 69 |
| 3.13 | Bases del Cálculo y Ejemplo Tipo Para Pavimento Rígido | 70 |
| 3.13.1 | Calculo del Espesor de Losa de Concreto Hidraulico | 71 |
| 3.13.2 | Dimencionamiento de Losas Y Dovelas | 72 |
| 3.14 | Propuesta Esquemática de Rehabilitación Con Pavimento Rígido..... | 73 |
| 4. | Conclusion..... | 74 |

1.1 INTRODUCCION

Este informe es complemento del estudio de reinversión contratado por INSEP, en el cual se presenta la evaluación deflectometría, análisis de la estructura de pavimento existente y dos propuesta para el diseño de pavimento; la primera utilizando pavimento flexible y una segunda utilizando pavimento rígido.

1.2 LOCALIZACION



El proyecto total se localiza en las carreteras CA-1 tramo Amatillo – Jícara Galán – Choluteca y CA-3 Tramo Choluteca – Guasaule, ambas localizadas en la zona sur de Honduras entre los departamentos de Valle y Choluteca.

1.3 ALCANCE

Este informe presenta únicamente la evaluación deflectometría, Análisis de pavimento existente y diseño de pavimento para el tramo de la carretera CA-1 Jícara Galán – Choluteca, el cual tiene una longitud de 56.846 km, longitud que incluye 15.186 km del Libramiento a la ciudad de Choluteca.

METODOLOGIA

2.1 PROYECCION DE TRÁFICO Y EQUIVALENCIA DE EJES

Es el número y peso de todos los ejes esperados durante la vida de diseño del pavimento, expresados en ejes de 18,000 lb (8.2 ton) para cada tipo de vehículo, calculado mediante las siguientes ecuaciones:

$$W_{18} = TPDA_{acum} \times F_{eq} \times F_d \times F_c$$

$$TPDA_{acum} = TPDA \times F_p \times 365$$

$$F_p = ((1 + (i/100))^n) - 1 / (i/100).$$

Donde;

$TPDA_{acum}$, es el Tráfico promedio anual acumulado hasta el periodo de diseño.

F_{eq} o F_d es el factor de equivalencia de carga o factor de daño, para cada tipo de vehículo.

$TPDA$, es el Tráfico promedio anual (Ver cuadro inciso 2.1.1).

F_p , es el factor de proyección del $TPDA$ al periodo de diseño.

i , es la tasa de crecimiento por tipo de vehículo.

n , es el periodo de diseño.

El análisis ejes equivalentes de diseño, se efectuó tomando en consideración el estudio de tráfico y los factores de daño tanto para concreto hidráulico como para concreto asfáltico y la tasa de crecimiento para el período de análisis.

2.2 DEFLECTOMETRIA

2.2.1 DESCRIPCION DEL EQUIPO



El Deflectómetro utilizado fue el modelo 8000 FWD producido por Dynatest®, el cual es un dispositivo de última generación que simula una carga dinámica y recolecta in-situ las deflexiones de las diferentes capas y subrasante.

Este equipo de Dynatest®, cumple y excede las normas estandarizadas ASTM D-4694 Y D-4695.

Entre algunas de las principales características del equipo tenemos las siguientes:

Deflectómetro de impacto 8000 FWD DYNATEST

Rango de carga Dinámica entre 7 y 120 KN (1,500 a 27,000 Lb-f)

7 Geófonos SDT (Seismic Deflection Transducer) colocados en unidades movibles hasta 2.45 m. para obtener una configuración de espaciamiento que se adapte mejor a las condiciones de la estructura que se desea analizar. Los geófonos poseen una precisión de ± 1 micrón.

Plato de carga segmentado el cual nos asegura una distribución uniforme de la presión sobre el pavimento.

Accesorios: cámara digital y GPS

Registro automático de temperatura superficial del pavimento y del aire.

En cuanto a la carga aplicada, el Deflectómetro se configuró para que realizara 2 golpes de asentamiento a diferentes alturas y 2 golpes de carga a 40KN; los golpes de asentamiento son primordiales para obtener un ensayo más preciso y representativo ya que de esta manera el plato segmentado obtiene un contacto más directo sobre el pavimento. Por otra parte, los geófonos se colocaron con la siguiente configuración de distancias:

| Geófono | D1 | D2 | D3 | D4 | D5 | D6 | D7 |
|---|----|------|------|------|------|------|-----|
| Distancia medida desde el centro del plato(m) | 0 | 0.20 | 0.30 | 0.45 | 0.60 | 0.90 | 1.5 |

Este espaciamiento nos permite tener un cuenco de deflexiones completo con el cual determinaremos la linealidad o no linealidad de la estructura de pavimento.

2.2.2 REVISION DEL EQUIPO

Para esta labor, se utiliza una lista normalizada de chequeo del equipo tanto para el inicio del día de trabajo como para el final del mismo y un control de mantenimiento conforme a las especificaciones del fabricante, el cual nos brinda un control de calidad sobre el equipo, de esta manera aumentamos la confiabilidad en las mediciones realizadas.

| CARTA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVA | | | | |
|---|--|--|--|--|
| INDICIO 2 COMO VELOCIDAD MAXIMA, INTERVALO 3 MESES, ABRIL | | | | |
| INSPECCION DE NEUMATICOS | | | | |
| PLATO ARRIBA | | | | |
| SEGUROS DE TRANSPORTE AFUERA EN SITIO DE PRUEBA | | | | |
| SEGUROS DE TRANSPORTE ADENTRO EN SITIO DE PRUEBA | | | | |
| F PIN DE BIL - SACARLO AL INICIO DE LA PRUEBA | | | | |
| D LLAVES DE TUBERIA DE INGENIERO APERTAS | | | | |
| W PIN DE BIL - REEMPLAZAR AL FIN DE LA PRUEBA | | | | |
| PORTE (SWIVEL) SI MUEVE LIBREMENTE | | | | |
| R CABLES ELECTRICOS CORRECTAMENTE | | | | |
| E VIDEO CAMARAS INSTALADO PARA LA PRUEBA | | | | |
| M VIDEO CAMARAS DE TRABAJO PARA TRANSPORTE | | | | |
| Q COMPRUEBE LUCES DE FRENO | | | | |
| CADENAS DE SEGURIDAD Y CABLE DE FRENO EMERGENCIA | | | | |
| TIRON ASEGURADO | | | | |
| U INSPECCIONAR SENSORES POR SUCESION MAGNETICA | | | | |
| INSPECCIONAR FUGAS HIDRAULICAS | | | | |
| INSPECCIONAR NEUMATICOS | | | | |
| PLATO ARRIBA | | | | |
| SEGUROS DE TRANSPORTE AFUERA EN SITIO DE PRUEBA | | | | |
| SEGUROS DE TRANSPORTE ADENTRO EN SITIO DE PRUEBA | | | | |
| F PIN DE BIL - SACARLO AL INICIO DE LA PRUEBA | | | | |
| D LLAVES DE TUBERIA DE INGENIERO APERTAS | | | | |
| W PIN DE BIL - REEMPLAZAR AL FIN DE LA PRUEBA | | | | |
| PORTE (SWIVEL) SI MUEVE LIBREMENTE | | | | |
| R CABLES ELECTRICOS CORRECTAMENTE | | | | |
| E VIDEO CAMARAS INSTALADO PARA LA PRUEBA | | | | |
| M VIDEO CAMARAS DE TRABAJO PARA TRANSPORTE | | | | |
| Q COMPRUEBE LUCES DE FRENO | | | | |
| CADENAS DE SEGURIDAD Y CABLE DE FRENO EMERGENCIA | | | | |
| TIRON ASEGURADO | | | | |
| U INSPECCIONAR SENSORES POR SUCESION MAGNETICA | | | | |
| INSPECCIONAR FUGAS HIDRAULICAS | | | | |
| INSPECCIONAR NEUMATICOS | | | | |
| PLATO ARRIBA | | | | |
| SEGUROS DE TRANSPORTE AFUERA EN SITIO DE PRUEBA | | | | |
| SEGUROS DE TRANSPORTE ADENTRO EN SITIO DE PRUEBA | | | | |
| F PIN DE BIL - SACARLO AL INICIO DE LA PRUEBA | | | | |
| D LLAVES DE TUBERIA DE INGENIERO APERTAS | | | | |
| W PIN DE BIL - REEMPLAZAR AL FIN DE LA PRUEBA | | | | |
| PORTE (SWIVEL) SI MUEVE LIBREMENTE | | | | |
| R CABLES ELECTRICOS CORRECTAMENTE | | | | |
| E VIDEO CAMARAS INSTALADO PARA LA PRUEBA | | | | |
| M VIDEO CAMARAS DE TRABAJO PARA TRANSPORTE | | | | |
| Q COMPRUEBE LUCES DE FRENO | | | | |
| CADENAS DE SEGURIDAD Y CABLE DE FRENO EMERGENCIA | | | | |
| TIRON ASEGURADO | | | | |
| U INSPECCIONAR SENSORES POR SUCESION MAGNETICA | | | | |
| INSPECCIONAR FUGAS HIDRAULICAS | | | | |
| INSPECCIONAR NEUMATICOS | | | | |
| PLATO ARRIBA | | | | |
| SEGUROS DE TRANSPORTE AFUERA EN SITIO DE PRUEBA | | | | |
| SEGUROS DE TRANSPORTE ADENTRO EN SITIO DE PRUEBA | | | | |
| F PIN DE BIL - SACARLO AL INICIO DE LA PRUEBA | | | | |
| D LLAVES DE TUBERIA DE INGENIERO APERTAS | | | | |
| W PIN DE BIL - REEMPLAZAR AL FIN DE LA PRUEBA | | | | |
| PORTE (SWIVEL) SI MUEVE LIBREMENTE | | | | |
| R CABLES ELECTRICOS CORRECTAMENTE | | | | |
| E VIDEO CAMARAS INSTALADO PARA LA PRUEBA | | | | |
| M VIDEO CAMARAS DE TRABAJO PARA TRANSPORTE | | | | |
| Q COMPRUEBE LUCES DE FRENO | | | | |
| CADENAS DE SEGURIDAD Y CABLE DE FRENO EMERGENCIA | | | | |
| TIRON ASEGURADO | | | | |
| U INSPECCIONAR SENSORES POR SUCESION MAGNETICA | | | | |
| INSPECCIONAR FUGAS HIDRAULICAS | | | | |
| INSPECCIONAR NEUMATICOS | | | | |
| PLATO ARRIBA | | | | |
| SEGUROS DE TRANSPORTE AFUERA EN SITIO DE PRUEBA | | | | |
| SEGUROS DE TRANSPORTE ADENTRO EN SITIO DE PRUEBA | | | | |
| F PIN DE BIL - SACARLO AL INICIO DE LA PRUEBA | | | | |
| D LLAVES DE TUBERIA DE INGENIERO APERTAS | | | | |
| W PIN DE BIL - REEMPLAZAR AL FIN DE LA PRUEBA | | | | |
| PORTE (SWIVEL) SI MUEVE LIBREMENTE | | | | |
| R CABLES ELECTRICOS CORRECTAMENTE | | | | |
| E VIDEO CAMARAS INSTALADO PARA LA PRUEBA | | | | |
| M VIDEO CAMARAS DE TRABAJO PARA TRANSPORTE | | | | |
| Q COMPRUEBE LUCES DE FRENO | | | | |
| CADENAS DE SEGURIDAD Y CABLE DE FRENO EMERGENCIA | | | | |
| TIRON ASEGURADO | | | | |
| U INSPECCIONAR SENSORES POR SUCESION MAGNETICA | | | | |
| INSPECCIONAR FUGAS HIDRAULICAS | | | | |
| INSPECCIONAR NEUMATICOS | | | | |
| PLATO ARRIBA | | | | |
| SEGUROS DE TRANSPORTE AFUERA EN SITIO DE PRUEBA | | | | |
| SEGUROS DE TRANSPORTE ADENTRO EN SITIO DE PRUEBA | | | | |
| F PIN DE BIL - SACARLO AL INICIO DE LA PRUEBA | | | | |
| D LLAVES DE TUBERIA DE INGENIERO APERTAS | | | | |
| W PIN DE BIL - REEMPLAZAR AL FIN DE LA PRUEBA | | | | |
| PORTE (SWIVEL) SI MUEVE LIBREMENTE | | | | |
| R CABLES ELECTRICOS CORRECTAMENTE | | | | |
| E VIDEO CAMARAS INSTALADO PARA LA PRUEBA | | | | |
| M VIDEO CAMARAS DE TRABAJO PARA TRANSPORTE | | | | |
| Q COMPRUEBE LUCES DE FRENO | | | | |
| CADENAS DE SEGURIDAD Y CABLE DE FRENO EMERGENCIA | | | | |
| TIRON ASEGURADO | | | | |
| U INSPECCIONAR SENSORES POR SUCESION MAGNETICA | | | | |
| INSPECCIONAR FUGAS HIDRAULICAS | | | | |
| INSPECCIONAR NEUMATICOS | | | | |
| PLATO ARRIBA | | | | |
| SEGUROS DE TRANSPORTE AFUERA EN SITIO DE PRUEBA | | | | |
| SEGUROS DE TRANSPORTE ADENTRO EN SITIO DE PRUEBA | | | | |
| F PIN DE BIL - SACARLO AL INICIO DE LA PRUEBA | | | | |
| D LLAVES DE TUBERIA DE INGENIERO APERTAS | | | | |
| W PIN DE BIL - REEMPLAZAR AL FIN DE LA PRUEBA | | | | |
| PORTE (SWIVEL) SI MUEVE LIBREMENTE | | | | |
| R CABLES ELECTRICOS CORRECTAMENTE | | | | |
| E VIDEO CAMARAS INSTALADO PARA LA PRUEBA | | | | |
| M VIDEO CAMARAS DE TRABAJO PARA TRANSPORTE | | | | |
| Q COMPRUEBE LUCES DE FRENO | | | | |
| CADENAS DE SEGURIDAD Y CABLE DE FRENO EMERGENCIA | | | | |
| TIRON ASEGURADO | | | | |
| U INSPECCIONAR SENSORES POR SUCESION MAGNETICA | | | | |
| INSPECCIONAR FUGAS HIDRAULICAS | | | | |
| INSPECCIONAR NEUMATICOS | | | | |
| PLATO ARRIBA | | | | |
| SEGUROS DE TRANSPORTE AFUERA EN SITIO DE PRUEBA | | | | |
| SEGUROS DE TRANSPORTE ADENTRO EN SITIO DE PRUEBA | | | | |
| F PIN DE BIL - SACARLO AL INICIO DE LA PRUEBA | | | | |
| D LLAVES DE TUBERIA DE INGENIERO APERTAS | | | | |
| W PIN DE BIL - REEMPLAZAR AL FIN DE LA PRUEBA | | | | |
| PORTE (SWIVEL) SI MUEVE LIBREMENTE | | | | |
| R CABLES ELECTRICOS CORRECTAMENTE | | | | |
| E VIDEO CAMARAS INSTALADO PARA LA PRUEBA | | | | |
| M VIDEO CAMARAS DE TRABAJO PARA TRANSPORTE | | | | |
| Q COMPRUEBE LUCES DE FRENO | | | | |
| CADENAS DE SEGURIDAD Y CABLE DE FRENO EMERGENCIA | | | | |
| TIRON ASEGURADO | | | | |
| U INSPECCIONAR SENSORES POR SUCESION MAGNETICA | | | | |
| INSPECCIONAR FUGAS HIDRAULICAS | | | | |
| INSPECCIONAR NEUMATICOS | | | | |
| PLATO ARRIBA | | | | |
| SEGUROS DE TRANSPORTE AFUERA EN SITIO DE PRUEBA | | | | |
| SEGUROS DE TRANSPORTE ADENTRO EN SITIO DE PRUEBA | | | | |
| F PIN DE BIL - SACARLO AL INICIO DE LA PRUEBA | | | | |
| D LLAVES DE TUBERIA DE INGENIERO APERTAS | | | | |
| W PIN DE BIL - REEMPLAZAR AL FIN DE LA PRUEBA | | | | |
| PORTE (SWIVEL) SI MUEVE LIBREMENTE | | | | |
| R CABLES ELECTRICOS CORRECTAMENTE | | | | |
| E VIDEO CAMARAS INSTALADO PARA LA PRUEBA | | | | |
| M VIDEO CAMARAS DE TRABAJO PARA TRANSPORTE | | | | |
| Q COMPRUEBE LUCES DE FRENO | | | | |
| CADENAS DE SEGURIDAD Y CABLE DE FRENO EMERGENCIA | | | | |
| TIRON ASEGURADO | | | | |
| U INSPECCIONAR SENSORES POR SUCESION MAGNETICA | | | | |
| INSPECCIONAR FUGAS HIDRAULICAS | | | | |
| INSPECCIONAR NEUMATICOS | | | | |
| PLATO ARRIBA | | | | |
| SEGUROS DE TRANSPORTE AFUERA EN SITIO DE PRUEBA | | | | |
| SEGUROS DE TRANSPORTE ADENTRO EN SITIO DE PRUEBA | | | | |
| F PIN DE BIL - SACARLO AL INICIO DE LA PRUEBA | | | | |
| D LLAVES DE TUBERIA DE INGENIERO APERTAS | | | | |
| W PIN DE BIL - REEMPLAZAR AL FIN DE LA PRUEBA | | | | |
| PORTE (SWIVEL) SI MUEVE LIBREMENTE | | | | |
| R CABLES ELECTRICOS CORRECTAMENTE | | | | |
| E VIDEO CAMARAS INSTALADO PARA LA PRUEBA | | | | |
| M VIDEO CAMARAS DE TRABAJO PARA TRANSPORTE | | | | |
| Q COMPRUEBE LUCES DE FRENO | | | | |
| CADENAS DE SEGURIDAD Y CABLE DE FRENO EMERGENCIA | | | | |
| TIRON ASEGURADO | | | | |
| U INSPECCIONAR SENSORES POR SUCESION MAGNETICA | | | | |
| INSPECCIONAR FUGAS HIDRAULICAS | | | | |
| INSPECCIONAR NEUMATICOS | | | | |
| PLATO ARRIBA | | | | |
| SEGUROS DE TRANSPORTE AFUERA EN SITIO DE PRUEBA | | | | |
| SEGUROS DE TRANSPORTE ADENTRO EN SITIO DE PRUEBA | | | | |
| F PIN DE BIL - SACARLO AL INICIO DE LA PRUEBA | | | | |
| D LLAVES DE TUBERIA DE INGENIERO APERTAS | | | | |
| W PIN DE BIL - REEMPLAZAR AL FIN DE LA PRUEBA | | | | |
| PORTE (SWIVEL) SI MUEVE LIBREMENTE | | | | |
| R CABLES ELECTRICOS CORRECTAMENTE | | | | |
| E VIDEO CAMARAS INSTALADO PARA LA PRUEBA | | | | |
| M VIDEO CAMARAS DE TRABAJO PARA TRANSPORTE | | | | |
| Q COMPRUEBE LUCES DE FRENO | | | | |
| CADENAS DE SEGURIDAD Y CABLE DE FRENO EMERGENCIA | | | | |
| TIRON ASEGURADO | | | | |
| U INSPECCIONAR SENSORES POR SUCESION MAGNETICA | | | | |
| INSPECCIONAR FUGAS HIDRAULICAS | | | | |
| INSPECCIONAR NEUMATICOS | | | | |
| PLATO ARRIBA | | | | |
| SEGUROS DE TRANSPORTE AFUERA EN SITIO DE PRUEBA | | | | |
| SEGUROS DE TRANSPORTE ADENTRO EN SITIO DE PRUEBA | | | | |
| F PIN DE BIL - SACARLO AL INICIO DE LA PRUEBA | | | | |
| D LLAVES DE TUBERIA DE INGENIERO APERTAS | | | | |
| W PIN DE BIL - REEMPLAZAR AL FIN DE LA PRUEBA | | | | |
| PORTE (SWIVEL) SI MUEVE LIBREMENTE | | | | |
| R CABLES ELECTRICOS CORRECTAMENTE | | | | |
| E VIDEO CAMARAS INSTALADO PARA LA PRUEBA | | | | |
| M VIDEO CAMARAS DE TRABAJO PARA TRANSPORTE | | | | |
| Q COMPRUEBE LUCES DE FRENO | | | | |
| CADENAS DE SEGURIDAD Y CABLE DE FRENO EMERGENCIA | | | | |
| TIRON ASEGURADO | | | | |
| U INSPECCIONAR SENSORES POR SUCESION MAGNETICA | | | | |
| INSPECCIONAR FUGAS HIDRAULICAS | | | | |
| INSPECCIONAR NEUMATICOS | | | | |
| PLATO ARRIBA | | | | |
| SEGUROS DE TRANSPORTE AFUERA EN SITIO DE PRUEBA | | | | |
| SEGUROS DE TRANSPORTE ADENTRO EN SITIO DE PRUEBA | | | | |
| F PIN DE BIL - SACARLO AL INICIO DE LA PRUEBA | | | | |
| D LLAVES DE TUBERIA DE INGENIERO APERTAS | | | | |
| W PIN DE BIL - REEMPLAZAR AL FIN DE LA PRUEBA | | | | |
| PORTE (SWIVEL) SI MUEVE LIBREMENTE | | | | |
| R CABLES ELECTRICOS CORRECTAMENTE | | | | |
| E VIDEO CAMARAS INSTALADO PARA LA PRUEBA | | | | |
| M VIDEO CAMARAS DE TRABAJO PARA TRANSPORTE | | | | |
| Q COMPRUEBE LUCES DE FRENO | | | | |
| CADENAS DE SEGURIDAD Y CABLE DE FRENO EMERGENCIA | | | | |
| TIRON ASEGURADO | | | | |
| U INSPECCIONAR SENSORES POR SUCESION MAGNETICA | | | | |
| INSPECCIONAR FUGAS HIDRAULICAS | | | | |
| INSPECCIONAR NEUMATICOS | | | | |
| PLATO ARRIBA | | | | |
| SEGUROS DE TRANSPORTE AFUERA EN SITIO DE PRUEBA | | | | |
| SEGUROS DE TRANSPORTE ADENTRO EN SITIO DE PRUEBA | | | | |
| F PIN DE BIL - SACARLO AL INICIO DE LA PRUEBA | | | | |
| D LLAVES DE TUBERIA DE INGENIERO APERTAS | | | | |
| W PIN DE BIL - REEMPLAZAR AL FIN DE LA PRUEBA | | | | |
| PORTE (SWIVEL) SI MUEVE LIBREMENTE | | | | |
| R CABLES ELECTRICOS CORRECTAMENTE | | | | |
| E VIDEO CAMARAS INSTALADO PARA LA PRUEBA | | | | |
| M VIDEO CAMARAS DE TRABAJO PARA TRANSPORTE | | | | |
| Q COMPRUEBE LUCES DE FRENO | | | | |
| CADENAS DE SEGURIDAD Y CABLE DE FRENO EMERGENCIA | | | | |
| TIRON ASEGURADO | | | | |
| U INSPECCIONAR SENSORES POR SUCESION MAGNETICA | | | | |
| INSPECCIONAR FUGAS HIDRAULICAS | | | | |
| INSPECCIONAR NEUMATICOS | | | | |
| PLATO ARRIBA | | | | |
| SEGUROS DE TRANSPORTE AFUERA EN SITIO DE PRUEBA | | | | |
| SEGUROS DE TRANSPORTE ADENTRO EN SITIO DE PRUEBA | | | | |
| F PIN DE BIL - SACARLO AL INICIO DE LA PRUEBA | | | | |
| D LLAVES DE TUBERIA DE INGENIERO APERTAS | | | | |
| W PIN DE BIL - REEMPLAZAR AL FIN DE LA PRUEBA | | | | |
| PORTE (SWIVEL) SI MUEVE LIBREMENTE | | | | |
| R CABLES ELECTRICOS CORRECTAMENTE | | | | |
| E VIDEO CAMARAS INSTALADO PARA LA PRUEBA | | | | |
| M VIDEO CAMARAS DE TRABAJO PARA TRANSPORTE | | | | |
| Q COMPRUEBE LUCES DE FRENO | | | | |
| CADENAS DE SEGURIDAD Y CABLE DE FRENO EMERGENCIA | | | | |
| TIRON ASEGURADO | | | | |
| U INSPECCIONAR SENSORES POR SUCESION MAGNETICA | | | | |
| INSPECCIONAR FUGAS HIDRAULICAS | | | | |
| INSPECCIONAR NEUMATICOS | | | | |
| PLATO ARRIBA | | | | |
| SEGUROS DE TRANSPORTE AFUERA EN SITIO DE PRUEBA | | | | |
| SEGUROS DE TRANSPORTE ADENTRO EN SITIO DE PRUEBA | | | | |
| F PIN DE BIL - SACARLO AL INICIO DE LA PRUEBA | | | | |
| D LLAVES DE TUBERIA DE INGENIERO APERTAS | | | | |
| W PIN DE BIL - REEMPLAZAR AL FIN DE LA PRUEBA | | | | |
| PORTE (SWIVEL) SI MUEVE LIBREMENTE | | | | |
| R CABLES ELECTRICOS CORRECTAMENTE | | | | |
| E VIDEO CAMARAS INSTALADO PARA LA PRUEBA | | | | |
| M VIDEO CAMARAS DE TRABAJO PARA TRANSPORTE | | | | |
| Q COMPRUEBE LUCES DE FRENO | | | | |
| CADENAS DE SEGURIDAD Y CABLE DE FRENO EMERGENCIA | | | | |
| TIRON ASEGURADO | | | | |
| U INSPECCIONAR SENSORES POR SUCESION MAGNETICA | | | | |
| INSPECCIONAR FUGAS HIDRAULICAS | | | | |
| INSPECCIONAR NEUMATICOS | | | | |
| PLATO ARRIBA | | | | |
| SEGUROS DE TRANSPORTE AFUERA EN SITIO DE PRUEBA | | | | |
| SEGUROS DE TRANSPORTE ADENTRO EN SITIO DE PRUEBA | | | | |
| F PIN DE BIL - SACARLO AL INICIO DE LA PRUEBA | | | | |
| D LLAVES DE TUBERIA DE INGENIERO APERTAS | | | | |
| W PIN DE BIL - REEMPLAZAR AL FIN DE LA PRUEBA | | | | |
| PORTE (SWIVEL) SI MUEVE LIBREMENTE | | | | |
| R CABLES ELECTRICOS CORRECTAMENTE | | | | |
| E VIDEO CAMARAS INSTALADO PARA LA PRUEBA | | | | |
| M VIDEO CAMARAS DE TRABAJO PARA TRANSPORTE | | | | |
| Q COMPRUEBE LUCES DE FRENO | | | | |
| CADENAS DE SEGURIDAD Y CABLE DE FRENO EMERGENCIA | | | | |
| TIRON ASEGURADO | | | | |
| U INSPECCIONAR SENSORES POR SUCESION MAGNETICA | | | | |
| INSPECCIONAR FUGAS HIDRAULICAS | | | | |
| INSPECCIONAR NEUMATICOS | | | | |
| PLATO ARRIBA | | | | |
| SEGUROS DE TRANSPORTE AFUERA EN SITIO DE PRUEBA | | | | |
| SEGUROS DE TRANSPORTE ADENTRO EN SITIO DE PRUEBA | | | | |
| F PIN DE BIL - SACARLO AL INICIO DE LA PRUEBA | | | | |
| D LLAVES DE TUBERIA DE INGENIERO APERTAS | | | | |
| W PIN DE BIL - REEMPLAZAR AL FIN DE LA PRUEBA | | | | |
| PORTE (SWIVEL) SI MUEVE LIBREMENTE | | | | |
| R CABLES ELECTRICOS CORRECTAMENTE | | | | |
| E VIDEO CAMARAS INSTALADO PARA LA PRUEBA | | | | |
| M VIDEO CAMARAS DE TRABAJO PARA TRANSPORTE | | | | |
| Q COMPRUEBE LUCES DE FRENO | | | | |
| CADENAS DE SEGURIDAD Y CABLE DE FRENO EMERGENCIA | | | | |
| TIRON ASEGURADO | | | | |
| U INSPECCIONAR SENSORES POR SUCESION MAGNETICA | | | | |
| INSPECCIONAR FUGAS HIDRAULICAS | | | | |
| INSPECCIONAR NEUMATICOS | | | | |
| PLATO ARRIBA | | | | |
| SEGUROS DE TRANSPORTE AFUERA EN SITIO DE PRUEBA | | | | |
| SEGUROS DE TRANSPORTE ADENTRO EN SITIO DE PRUEBA | | | | |
| F PIN DE BIL - SACARLO AL INICIO DE LA PRUEBA | | | | |
| D LLAVES DE TUBERIA DE INGENIERO APERTAS | | | | |
| W PIN DE BIL - REEMPLAZAR AL FIN DE LA PRUEBA | | | | |
| PORTE (SWIVEL) SI MUEVE LIBREMENTE | | | | |
| R CABLES ELECTRICOS CORRECTAMENTE | | | | |
| E VIDEO CAMARAS INSTALADO PARA LA PRUEBA | | | | |
| M VIDEO CAMARAS DE TRABAJO PARA TRANSPORTE | | | | |
| Q COMPRUEBE LUCES DE FRENO | | | | |
| CADENAS DE SEGURIDAD Y CABLE DE FRENO EMERGENCIA | | | | |
| TIRON ASEGURADO | | | | |
| U INSPECCIONAR SENSORES POR SUCESION MAGNETICA | | | | |
| INSPECCIONAR FUGAS HIDRAULICAS | | | | |
| INSPECCIONAR NEUMATICOS | | | | |
| PLATO ARRIBA | | | | |
| SEGUROS DE TRANSPORTE AFUERA EN SITIO DE PRUEBA | | | | |
| SEGUROS DE TRANSPORTE ADENTRO EN SITIO DE PRUEBA | | | | |
| F PIN DE BIL - SACARLO AL INICIO DE LA PRUEBA | | | | |
| D LLAVES DE TUBERIA DE INGENIERO APERTAS | | | | |
| W PIN DE BIL - REEMPLAZAR AL FIN DE LA PRUEBA | | | | |
| PORTE (SWIVEL) SI MUEVE LIBREMENTE | | | | |
| R CABLES ELECTRICOS CORRECTAMENTE | | | | |
| E VIDEO CAMARAS INSTALADO PARA LA PRUEBA | | | | |
| M VIDEO CAMARAS DE TRABAJO PARA TRANSPORTE | | | | |
| Q COMPRUEBE LUCES DE FRENO | | | | |
| CADENAS DE SEGURIDAD Y CABLE DE FRENO EMERGENCIA | | | | |
| TIRON ASEGURADO | | | | |
| U INSPECCIONAR SENSORES POR SUCESION MAGNETICA | | | | |
| INSPECCIONAR FUGAS HIDRAULICAS | | | | |
| INSPECCIONAR NEUMATICOS | | | | |
| PLATO ARRIBA | | | | |
| SEGUROS DE TRANSPORTE AFUERA EN SITIO DE PRUEBA | | | | |
| SEGUROS DE TRANSPORTE ADENTRO EN SITIO DE PRUEBA | | | | |
| F PIN DE BIL - SACARLO AL INICIO DE LA PRUEBA | | | | |
| D LLAVES DE TUBERIA DE INGENIERO APERTAS | | | | |
| W PIN DE BIL - REEMPLAZAR AL FIN DE LA PRUEBA | | | | |
| PORTE (SWIVEL) SI MUEVE | | | | |

2.2.3 INSPECCION VISUAL

Previo a la realización de los ensayos con Deflectómetro se realizó un recorrido con el objetivo de planificar de manera eficiente los ensayos y conocer las características generales del tramo: adicionalmente al momento de realizar las mediciones de deflexión, simultáneamente se registraron fotografías ligadas al estacionamiento y GPS en intervalos de 20 m a lo largo de todo el tramo. Esto se realizó con el fin de tener una memoria gráfica del proyecto y así posteriormente al momento de efectuar la revisión de datos y retrocálculo de módulos, poder verificar cualquier resultado atípico que se encuentre en el análisis de información. Esta información es valiosa no solamente para el diseño de pavimentos, sino para el personal técnico involucrado en el proyecto, ya que cada especialista podrá visualizar en detalle el tramo de estudio y prever factores que incidan en el desarrollo de sus actividades.

2.2.4 RECOLECCION DE DATOS.

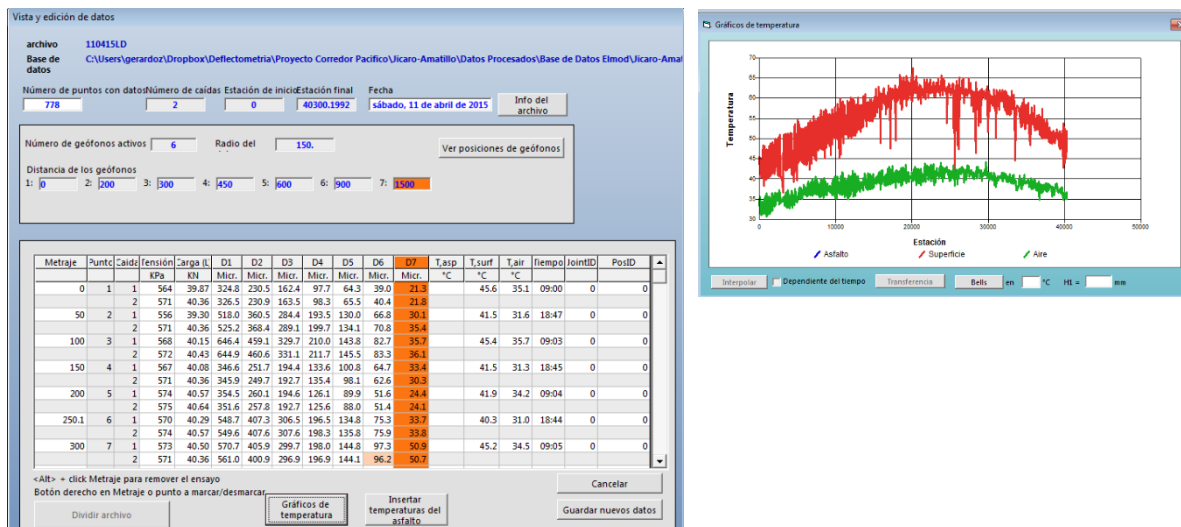
Los Ensayos con el Deflectómetro de Impacto para los tramos se realizaron del 11 al 22 de abril 2015, con una frecuencia de muestreo 100 metros por carril con un desfase 50 metros entre los dos carriles, obteniendo una densidad total 20 ensayos/km.

Se utilizó el software Dynatest Control Center con el Módulo FwdWin para la adquisición y registro de los datos arrojados por el Deflectómetro; el ensayo se configuró en el software mediante un perfil que hemos definido como "C. Asfáltico TEPESA", el cual define la configuración para ensayos sobre pavimento de concreto Asfáltico, controlando datos como ser el diámetro de placa, control de cadenamamiento o estaciones, almacenamiento automático de temperaturas, posición de geófonos, verificación y validez de los ensayos mediante el análisis de disminución, recuperación y sobre flujo de las deflexiones leídas en los geófonos y finalmente los pasos a seguir en la secuencia del ensayo con 2 caídas de asentamiento y 2 de carga con 40 KN.

2.2.5 REVISION DE DATOS

Se analizó la secuencia, la consistencia y la coherencia de los datos recolectados en campo (deflexiones, temperatura, posición de geófonos, diámetro de plato, entre otras) y consolidados en la base de datos del proyecto generada por el software ELMOD (Evaluation of Layer Moduli and Overlay Design).

Adicional a esta revisión de datos obtenidos con el FWD se analizó los módulos superficiales o también llamada rigidez aparente, la cual nos ayuda a determinar las condiciones estructurales del pavimento brindándonos información como es la presencia de capas rocosas a nivel superficial o de estructura, la linealidad o no linealidad de la subrasante, agrietamientos en las capas y otras características que nos permiten efectuar un mejor retrocálculo tomando en consideración esta información brindada de este análisis.



2.3 DEFINICION DE UNIDADES DE DISEÑO MEDIANTE DIFERENCIAS ACUMULADAS

Para establecer Secciones Homogéneas se utilizó el método de las diferencias acumuladas sobre las deflexiones en el software ELMOD y se verificó mediante el método estadístico que se basa en los siguientes pasos:

- Se realiza una hoja de cálculo en donde la primera columna denotará la abscisa del ensayo correspondiente.

$$X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, \dots, X_n$$

Siendo:

X_1 : La abscisa en el punto 1

X_n : La Abscisa en el enésimo punto.

- La segunda columna indica la respuesta (r_n) del pavimento, en nuestro caso la deflexión máxima de los 7 geófonos (D0).
- La tercera columna denominada Distancia de Intervalo mostrara la diferencia entre las Abscisas de la columna 1, longitud expresada en kilómetros.

$$\Delta X_1 = 0$$

$$\Delta X_1 = X_1 - X_0$$

$$\Delta X_2 = X_2 - X_1$$

$$\Delta X_n = X_n - X_{n-1}$$

- La cuarta columna denominada Distancia Acumulada.

$$\Sigma \Delta X_1 = 0$$

$$\Sigma \Delta X_2 = \Delta X_1 + \Delta X_2$$

$$\Sigma \Delta X_3 = \Delta X_1 + \Delta X_2 + \Delta X_3$$

$$\Sigma \Delta X_n = \Delta X_1 + \Delta X_2 + \dots + \Delta X_{n-1} + \Delta X_n$$

- La quinta columna expresa el promedio entre las deflexiones.

$$\check{r}_1 = r_1$$

$$\check{r}_2 = \frac{r_1 + r_2}{2}$$

$$\check{r}_n = \frac{r_{n-1} + r_n}{2}$$

- La columna sexta denominada el Área de Intervalo Real se determina mediante la expresión siguiente:

$$\begin{aligned}
 a_1 &= 0 \\
 a_2 &= \Delta x_2 \times \check{r}_2 \\
 a_n &= \Delta x_n \times \check{r}_n
 \end{aligned}$$

- La columna séptima denominada el Área Acumulada se determina mediante la expresión siguiente:

$$\begin{aligned}
 \sum a_1 &= 0 \\
 \sum a_2 &= a_1 + a_2 \\
 \sum a_3 &= a_1 + a_2 + a_3 \\
 \sum a_n &= a_1 + a_2 + a_3 + \dots + a_{n-1} + a_n
 \end{aligned}$$

- Se determina el factor F mediante la siguiente fórmula:

$$F = \frac{\text{Area Acumulada}}{\text{Distancia Acumulada}} = \frac{\sum a_n}{\sum \Delta x_n}$$

- La columna octava determina la Diferencia Acumulada a través de la siguiente expresión:

$$\begin{aligned}
 Zx_1 &= 0 \\
 Zx_1 &= \sum a_2 - \left(F \times \sum \Delta x_2 \right) \\
 Zx_n &= \sum a_n - \left(F \times \sum \Delta x_n \right)
 \end{aligned}$$

- Finalmente se realiza un gráfico **Abscisa vs Zx_n**, el cual nos ayudará a la visualización de las secciones homogéneas. En teoría cada vez que el gráfico cambie de pendiente, esta determinará una nueva sección. Se deberá tener en cuenta que secciones muy pequeñas son antieconómicas para un tratamiento de rehabilitación.

2.4 METODOLOGIA PARA LA MEDICION DE RUGOSIDADES

2.4.1 EQUIPO UTILIZADO

El equipo utilizado para medir la rugosidad del pavimento es el Bump Integrator (BI) DE Romdas®, el cual consiste en la medición del desplazamiento relativo de la suspensión para luego ser procesada mediante una ecuación calibrada y determinar el IRI.

Estas son algunas de las características del equipo:

- Equipo de lectura de gran confiabilidad y precisión.
- Permite evaluar pavimentos con alto nivel de rugosidad.
- Permite operar con una velocidad mínima de 10km/h.



Imagen 2.1.2-1 Rugosímetro Bump Integrator (BI) ROMDAS

El Rugosímetro se configuró para obtener la rugosidad del pavimento en intervalos continuos de 100 metros, realizando el ensayo a una velocidad promedio de 30 km/h ya que la ecuación de calibración nos permite procesar la rugosidad para un rango de 30 a 50 km/h.

Para la obtención de un valor correcto de IRI en el proyecto de corredor pacifico se hizo uso de un equipo antes descrito para la recolección de información, el cual se correlacionó con un equipo de primer orden (Rugosímetro Merlín) en la obtención de rugosidades, después de haber realizado una serie de pasos para su adecuada calibración.

2.4.2 Elección de Pistas de calibración

Para la selección de pistas, se hizo una visita previa al proyecto, recorriendo los 3 tramos del proyecto del corredor pacifico, visualizando tramos donde posiblemente se obtuviesen valores de IRI buenos, regulares, malos. Que oscilaran entre 1.00 y 6.00. Para utilizarlos como pistas de calibración. Ver tabla 1.

Una vez concluido el recorrido se eligieron 8 sitios que poseen una longitud aproximada de 400 metros, a los que posteriormente se les realizó la medición del IRI con equipo MERLIN y posteriormente con el equipo ROMDAS (Roughness Bump Integrator).

| NO. | COORDENADAS | | TRAMO | EST INICIAL | EST FINAL |
|-----|--------------------|--------------------|--------------------|-------------|-----------|
| 1 | 13° 14' 50.5384" N | 87° 10' 23.8135" W | CHOLUTeca-GUASAULE | 3+430.00 | 3+830.00 |
| 2 | 13° 19' 50.6540" N | 87° 09' 40.2966" W | LIBRAMIENTO | 49+410.00 | 49+810.00 |
| 3 | 13° 20' 8.8535" N | 87° 09' 48.8013" W | LIBRAMIENTO | 48+770.00 | 48+370.00 |
| 4 | 13° 31' 54.4456" N | 87° 26' 34.8179" W | JICARO-AMATILLO | 0+560.00 | 0+960.00 |
| 5 | 13° 31' 59.5627" N | 87° 33' 23.1049" W | JICARO-AMATILLO | 14+170.00 | 14+570.00 |

| | | | | | |
|---|--------------------|--------------------|--------------------|-----------|-----------|
| 6 | 13° 15' 4.5453" N | 87° 10' 33.9485" W | CHOLUTECA-GUASAULE | 2+900.00 | 3+300.00 |
| 7 | 13° 14' 4.6201" N | 87° 09' 50.7868" W | CHOLUTECA-GUASAULE | 5+150.00 | 5+550.00 |
| 8 | 13° 08' 54.8805" N | 87° 07' 52.1815" W | CHOLUTECA-GUASAULE | 16+070.00 | 16+470.00 |

Tabla 1: Ubicación de pistas de calibración.

2.4.3 CALIBRACION CON RUGOSIMETRO MERLIN:

Para la realización de la calibración de hace uso del MERLIN, realizando la medición con los histogramas a una distancia de 2.16 metros por punto o vuelta de la rueda.

Esta medición se realizó 2 veces en cada pista de calibración justamente donde se presenta el ahuellamiento de las ruedas de los vehículos, obteniendo así un valor de IRI promedio en la pista de calibración. Ver tabla 2.

| SEGMENTO | EQUIPO UTILIZADO | TIPO DE RODADURA | Extremo superior | intervalos | Extremo inferior | (D) (mm) | Factor de Corrección | D Corregido (mm) | IRI (Corregido) | IRI Prom |
|----------|------------------|------------------|------------------|------------|------------------|----------|----------------------|------------------|-----------------|----------|
| Pista 1 | MERLIN | Flexible | 0.36 | 7 | 0.00 | 36.80 | 0.770 | 28.3 | 1.37 | 2.01 |
| Pista 1 | MERLIN | Flexible | 0.55 | 10 | 0.00 | 52.75 | 0.830 | 43.8 | 2.66 | |
| Pista 2 | MERLIN | Flexible | 0.33 | 16 | 0.33 | 83.30 | 0.770 | 64.1 | 3.61 | 3.80 |
| Pista 2 | MERLIN | Flexible | 0.75 | 16 | 0.60 | 86.75 | 0.830 | 72.0 | 3.98 | |
| Pista 3 | MERLIN | Flexible | 0.60 | 5 | 0.94 | 32.69 | 0.770 | 25.2 | 1.22 | 1.21 |
| Pista 3 | MERLIN | Flexible | 0.00 | 6 | 0.00 | 30.00 | 0.830 | 24.9 | 1.21 | |
| Pista 4 | MERLIN | Flexible | 0.67 | 6 | 0.20 | 34.33 | 0.770 | 26.4 | 1.28 | 1.23 |
| Pista 4 | MERLIN | Flexible | 0.00 | 5 | 0.82 | 29.09 | 0.830 | 24.1 | 1.17 | |
| Pista 5 | MERLIN | Flexible | 0.67 | 5 | 0.00 | 28.33 | 0.770 | 21.8 | 1.06 | 1.02 |
| Pista 5 | MERLIN | Flexible | 0.91 | 3 | 0.92 | 24.15 | 0.83 | 20.0 | 0.97 | |
| Pista 6 | MERLIN | Flexible | 0.00 | 19 | 0.00 | 95.00 | 0.83 | 78.9 | 4.31 | 4.37 |
| Pista 6 | MERLIN | Flexible | 0.67 | 19 | 0.00 | 98.33 | 0.83 | 81.6 | 4.44 | |
| Pista 7 | MERLIN | Flexible | 0.67 | 25 | 0.50 | 130.83 | 0.83 | 108.6 | 5.71 | 5.98 |
| Pista 7 | MERLIN | Flexible | 0.00 | 29 | 0.00 | 145.00 | 0.83 | 120.4 | 6.26 | |
| Pista 8 | MERLIN | Flexible | 0.23 | 31 | 0.00 | 156.15 | 0.83 | 129.6 | 6.70 | 5.89 |
| Pista 8 | MERLIN | Flexible | 0.00 | 23 | 0.00 | 115.00 | 0.83 | 95.5 | 5.09 | |

Tabla 2: Calculo del IRI con el equipo Merlín.

La Tabla 2 muestra el resumen de los cálculos para la medición del IRI con el merlín, a partir de histogramas y formulas preestablecidas para el procedimiento de cálculo de IRI, el valor determinante en este procedimiento es el valor "D", el cual decide que formula utilizar al momento de realizar los cálculos.

2.4.4 CALIBRACIÓN ROMDAS.

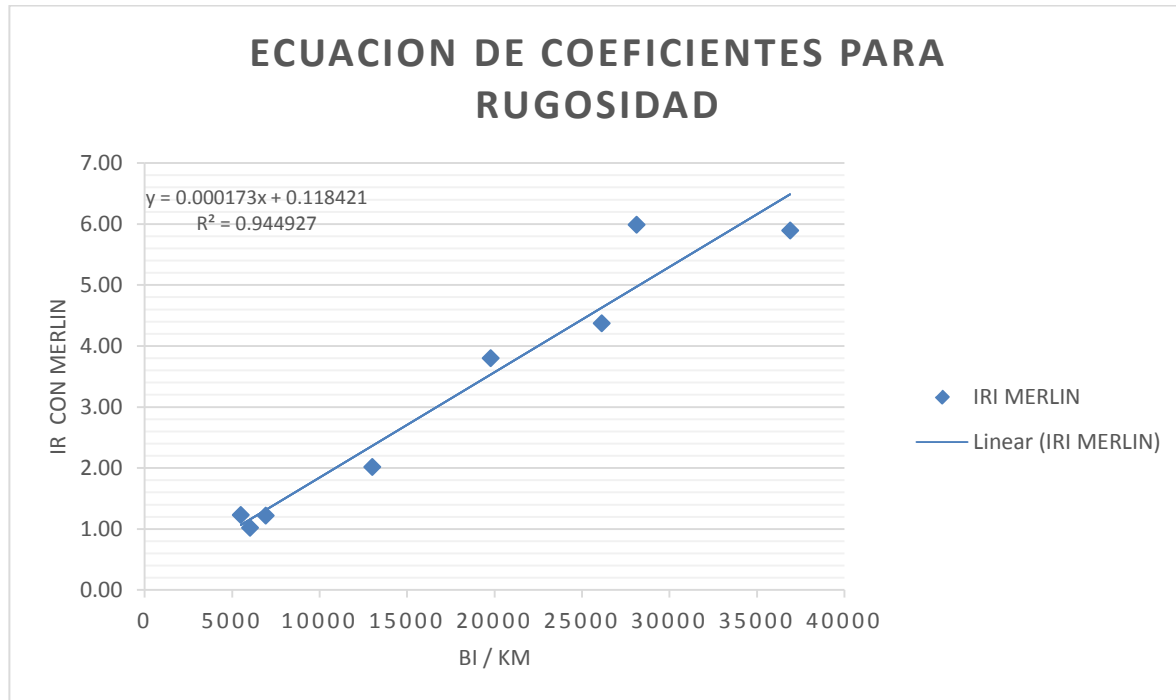
Una vez concluidas las lecturas con el Merlín se procedió a realizar la medición con el equipo ROMDAS el cual está instalado en un vehículo tipo Panel, marca VW.

Previo a la realización de medición de pulsaciones se realizó la calibración de Odómetro, tomando una pista en tangente con una longitud promedio de 500 metros, para obtener el factor de calibración del odómetro del equipo ROMDAS.

El recorrido de pistas de calibración con el equipo Romdas se realizó 3 veces en cada una, a una velocidad promedio de 30 km/h manteniendo una variación promedio de ± 3 km/h, adicionalmente se realizó 3 veces en cada pista a una velocidad promedio de 50 km/h manteniendo una variación promedio de ± 3 km/h, haciendo un total de 6 pasadas por pista. Donde se obtienen valores de pulsaciones por cada distancia recorrida en pista, que posteriormente se utilizaran para correlacionar el valor IRI. Ver tabla 3.

| PISTAS | DISTANCIA | BI | | | BI promedio | BI/KM | IRI MERLIN |
|---------|-----------|------|------|------|-------------|-------|------------|
| | | 1 | 2 | 3 | | | |
| PISTA 1 | 400 | 1298 | 1304 | 1301 | 1301 | 13008 | 2.01 |
| PISTA 2 | 400 | 1961 | 2011 | 1963 | 1978 | 19781 | 3.80 |
| PISTA 3 | 400 | 674 | 688 | 716 | 693 | 6928 | 1.21 |
| PISTA 4 | 400 | 512 | 567 | 570 | 549 | 5493 | 1.23 |
| PISTA 5 | 400 | 604 | 601 | 603 | 603 | 6026 | 1.02 |
| PISTA 6 | 400 | 2535 | 2632 | 2670 | 2612 | 26123 | 4.37 |
| PISTA 7 | 400 | 2639 | 2914 | 2882 | 2812 | 28116 | 5.98 |
| PISTA 8 | 400 | 3662 | 3751 | 3658 | 3690 | 36898 | 5.89 |

Tabla 3: Resumen de BI (pulsaciones)



Ecuación de la recta de calibración de IRI.

Calculo de Ecuación de La recta, relación entre las mediciones con Merlín y equipo Romdas, al obtener la ecuación de la recta. Se debe verificar que el valor de la correlación sea mayor a un 90% para una mayor confiabilidad de los datos.

Una vez obtenida la ecuación de la recta donde relaciona los IRI medidos con el Merlín y las pulsaciones medidas por el equipo Romdas, los coeficientes de la ecuación se deben ingresar al programa de ROMDAS-Road Measurement Data Acquisition System para la realización de lecturas de IRI de forma directa con equipo Romdas.

2.4.5 Obtención final de valor IRI

Con la obtención de la ecuación de la recta ya calibrada e ingresado los coeficientes al programa de ROMDAS, se realizó el levantamiento de BI/km a lo largo de cada tramo, para obtener el IRI en cada tramo a una distancia de 100 metros promedio.

2.5 METODOLOGIA AASHTO 93 PAVIMENTO FLEXIBLE

2.5.1 VARIABLES GENERALES AASHTO 93

La metodología de diseño establece que las variables Confiabilidad, desviación estándar y serviciabilidad, deben ser seleccionadas en función del tipo de carretera:

Confiabilidad y desviación estándar

| Clasificación funcional | Confiabilidad sugerida (R %) | |
|---------------------------------|------------------------------|-----------|
| | Urbano | Rural |
| Interestatal y otras autopistas | 85 – 99.9 | 80 – 99.9 |
| Arterias principales | 80 – 99 | 75 – 95 |
| Colectoras | 80 – 95 | 75 – 95 |
| Locales | 50 – 80 | 50 – 80 |

| Caso de análisis | Desviación estándar total (So) | |
|--|--------------------------------|------------------|
| | Pavimento flexible | Pavimento rígido |
| Rango | 0.40 – 0.50 | 0.30 – 0.40 |
| Considerando la varianza del tránsito futuro | 0.49 | 0.39 |
| Sin considerar la varianza del tránsito futuro | 0.44 | 0.34 |

Serviciabilidad de diseño

$$\Delta PSI = PSI_{inicial} - PSI_{final}$$

| Tipo de carretera | Índice de Serviciabilidad Presente (PSI) | | | |
|------------------------|--|-----------|------------------|-----------|
| | Pavimento flexible | | Pavimento rígido | |
| | PSI INICIAL | PSI FINAL | PSI INICIAL | PSI FINAL |
| Carreteras principales | | 2.5 | | 2.5 |
| Carreteras secundarias | 4.2 | 2.0 | 4.5 | 2.0 |
| Condición de falla | | 1.5 | | 1.5 |

2.5.2 MODULO RESILIENTE

De acuerdo con el método de diseño, el cálculo del módulo resiliente de la subrasante puede determinarse a partir de las deflexiones obtenidas con un deflectómetro de impacto (FWD), de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$Mr = \frac{0.24 \times P}{d_r \times r}$$

Dónde:

P- Carga aplicada en libras

r- Distancia en pulgadas desde el centro del plato

dr - Deflexión medida en pulgadas a una distancia r del centro del plato de carga.

2.5.3 MODULO EQUIVALENTE

El modulo equivalente se determina empleando la metodología AASHTO para mediciones deflectométricas utilizando la siguiente ecuación:

$$d_0 = 1.5 * p * a * \left\{ \frac{1}{M_r \sqrt{1 + \left(\frac{D}{a} \right)^3 \frac{E_p}{M_r}}} + \frac{1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{D}{a} \right)^2}}}{E_p} \right\}$$

Dónde:

D0 – Deflexión central.

P – Presión del plato de carga en psi.

a – radio del plato de carga en pulgadas.

D – Espesor total de las capas de pavimento sobre la subrasante.

Mr – Modulo resiliente de la subrasante, en psi.

Ep – Modulo efectivo de todas las capas del pavimento, en psi.

2.5.4 NUMERO ESTRUCTURAL EFECTIVO

Representa la vida residual de la estructura de pavimento existente y de acuerdo al método de diseño, esta variable se encuentra utilizando la siguiente ecuación:

$$SN_{Efectivo} = 0.0045 \cdot D \cdot \sqrt[3]{E_P}$$

Dónde:

D es el espesor total de la estructura y

Ep es el modulo equivalente de la misma.

2.6 METODOLOGIA AASHTO 93 PAVIMENTO RIGIDO

2.6.1 VARIABLES GENERALES AASHTO 93

Al igual que el pavimento flexible, la Confiabilidad, desviación estándar y serviciabilidad, deben ser seleccionadas en función del tipo de carretera.

2.6.2 MODULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO ASFALTICO

El módulo de elasticidad del concreto Ec representa su grado de rigidez y se calcula siguiendo la recomendación del Instituto Americano del Concreto (A.C.I) mediante la ecuación:

$$E_c = 57,000 (F^1_c)^{0.5}$$

E_c = Modulo de Elasticidad (psi)

F¹_c = Resistencia a la compresión del concreto a los 28 días en psi de acuerdo a los ensayos AASHTO T-22 o ASTM C-39.

2.6.3 MODULO DE ROTURA DEL CONCRETO

Es la resistencia Media del Concreto a Flexo tracción a los 28 días, de acuerdo a los ensayos AASHTO T-97, ASTM C-78.

2.6.4 COEFICIENTE DE TRANSMICION DE CARGA

Este factor se utiliza para tomar en cuenta la capacidad del pavimento de hormigón de transmitir las cargas a través de los extremos de las losas (Juntas o grietas); de acuerdo al método de diseño este valor depende del tipo de pavimento a utilizar en el hombro de la carretera.

Coeficiente de transferencia de carga (I)

| Berma | Asfáltica | | Anclada y de concreto de cemento Pórtland | |
|---|------------------------------------|------------------------------------|---|------------------------------------|
| | Sí | No | Sí | No |
| Dispositivos de transmisión de carga | | | | |
| Pavimento con juntas Concreto simple o concreto reforzado | 3.2 <input type="checkbox"/> | 3.8 – 4.4 <input type="checkbox"/> | 2.5 – 3.1 <input type="checkbox"/> | 3.6 – 4.2 <input type="checkbox"/> |
| Pavimento de concreto continuamente reforzado | 2.9 – 3.2 <input type="checkbox"/> | N/A | 2.3 – 2.9 <input type="checkbox"/> | N/A |

2.6.5 COEFICIENTE DE DRENAJE

El coeficiente de drenaje está en función de dos variables; una es la calidad del drenaje, la cual viene determinada por el tiempo que el agua tarda en ser evacuada de la estructura de pavimento y la segunda es la exposición a la saturación de la estructura de pavimento a niveles cercanos a la saturación.

Coeficiente de drenaje (Cd)

| Calidad del drenaje | El agua libre se remueve en... |
|---------------------|--------------------------------|
| Excelente | 2 horas |
| Bueno | 1 día |
| Aceptable | 1 semana |
| Pobre | 1 mes |
| Muy pobre | El agua no drenará |

Calidad
Coeficiente (Cd)

| Calidad del drenaje | % del tiempo en que la estructura del pavimento está expuesta a humedades cercanas a la saturación | | | |
|---------------------|--|--------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------|
| | Menos del 1% | 1 - 5% | 5 – 25% | Más del 25% |
| Excelente | 1.25 – 1.20 <input type="checkbox"/> | 1.20 – 1.15 <input type="checkbox"/> | 1.15 – 1.10 <input type="checkbox"/> | 1.10 <input type="checkbox"/> |
| Bueno | 1.20 – 1.15 <input type="checkbox"/> | 1.15 – 1.10 <input type="checkbox"/> | 1.10 – 1.00 <input type="checkbox"/> | 1.00 <input type="checkbox"/> |
| Aceptable | 1.15 – 1.10 <input type="checkbox"/> | 1.10 – 1.00 <input type="checkbox"/> | 1.00 – 0.90 <input type="checkbox"/> | 0.90 <input type="checkbox"/> |
| Pobre | 1.10 – 1.00 <input type="checkbox"/> | 1.00 – 0.90 <input type="checkbox"/> | 0.90 – 0.80 <input type="checkbox"/> | 0.80 <input type="checkbox"/> |
| Muy pobre | 1.00 – 0.90 <input type="checkbox"/> | 0.90 – 0.80 <input type="checkbox"/> | 0.80 – 0.70 <input type="checkbox"/> | 0.70 <input type="checkbox"/> |

3. RESULTADOS

3.1 PROYECCION DE TRÁFICO Y EQUIVALENCIA DE EJES

De acuerdo a la proyección realizada en el estudio de tráfico, este tramo carretero se divide en tres sub tramos, siendo estos Jícara – Galán – San Lorenzo, San Lorenzo – Choluteca y Libramiento Choluteca; en ese sentido se calcularon los ejes de diseño para cada sub tramo, utilizando las tasas de crecimiento para cada tipo de vehículo proporcionadas en el estudio de tráfico, obteniendo los siguientes resultados:

3.1.1 EJES DE DISEÑO SUB TRAMO JICARO GALAN – SAN LORENZO (PAVIMENTO FLEXIBLE)

| EJES EQUIVALENTES AÑO 1 al 10/2017 - 2026 | | | | | | | |
|---|-----------------|-------------|------------------------|--------------------------|--|--------------------|---------------------|
| Periodo | 10 | años | | | | | |
| Tipo de Vehiculo | TPDA (año 1) | % | Tasa de Crecimiento | Proyeccion de trafico | Total Vehiculos periodo de diseño | Factor de Carga | Ejes Equivalentes |
| Turismo | 3,534 | 33.42% | 4.5000% | 12.29 | 15851,543 | 0.00004 | 634.06 |
| Pick Up | 3,961 | 37.45% | 4.5000% | 12.29 | 17764,345 | 0.00280 | 49,740.17 |
| Buses | 396 | 3.74% | 4.5000% | 12.29 | 1775,338 | 1.56650 | 2781,066.54 |
| C2 | 1,060 | 10.02% | 4.5000% | 12.29 | 4754,220 | 2.26850 | 10784,947.79 |
| C3 | 96 | 0.90% | 4.5000% | 12.29 | 428,845 | 1.56650 | 671,785.64 |
| C4 | 1 | 0.01% | 4.5000% | 12.29 | 5,118 | 0.86150 | 4,409.46 |
| T2 -S1 | 5 | 0.05% | 4.5220% | 12.30 | 24,525 | 3.05650 | 74,961.38 |
| T2 -S2 | 0 | 0.00% | 4.5220% | 12.30 | 0 | 2.86150 | - |
| T2 -S3 | 3 | 0.03% | 4.5220% | 12.30 | 12,080 | 2.32050 | 28,030.70 |
| T3 -S2 | 1,382 | 13.07% | 4.5220% | 12.30 | 6205,250 | 2.66650 | 16546,300.26 |
| T3 -S3 | 138 | 1.31% | 4.5220% | 12.30 | 620,086 | 2.12550 | 1317,992.34 |
| TOTAL | 10,576 | 100% | | | | | 32259,868.33 |
| FACTOR DE DISTRIBUCION POR DIRECCION | | | | | | | 0.50 |
| FACTOR DE DISTRIBUCION POR CARRIL | | | | | | | 1.00 |
| TOTAL EJES EQUIVALENTES 8.2 TON | | | | | | | 16129,934.16 |

| EJES EQUIVALENTES AÑO 11 al 20 /2019 - 2036 | | | | | | | |
|--|--------------------------|---------------|--------------------------------|----------------------------------|--|----------------------------|--------------------------|
| Periodo | 10 | años | | | | | |
| Tipo de Vehiculo | TPDA (año 11) | % | Tasa de Crecimiento | Proyeccion de trafico | Total Vehiculos periodo de diseño | Factor de Carga | Ejes Equivalentes |
| Turismo | 5,410 | 33.40% | 3.0000% | 11.46 | 22635,932 | 0.00004 | 905.44 |
| Pick Up | 6,062 | 37.44% | 3.0000% | 11.46 | 25367,405 | 0.00280 | 71,028.73 |
| Buses | 606 | 3.74% | 3.0000% | 11.46 | 2535,174 | 1.56650 | 3971,350.53 |
| C2 | 1,622 | 10.02% | 3.0000% | 11.46 | 6789,005 | 2.26850 | 15400,857.01 |
| C3 | 146 | 0.90% | 3.0000% | 11.46 | 612,389 | 1.56650 | 959,306.87 |
| C4 | 2 | 0.01% | 3.0000% | 11.46 | 7,309 | 0.86150 | 6,296.69 |
| T2 -S1 | 8 | 0.05% | 3.0881% | 11.51 | 35,225 | 3.05650 | 107,665.67 |
| T2-S2 | 0 | 0.00% | 3.0881% | 11.51 | 0 | 2.86150 | - |
| T2-S3 | 4 | 0.03% | 3.0881% | 11.51 | 17,350 | 2.32050 | 40,259.98 |
| T3-S2 | 2,121 | 13.10% | 3.0881% | 11.51 | 8912,488 | 2.66650 | 23765,149.87 |
| T3-S3 | 212 | 1.31% | 3.0881% | 11.51 | 890,618 | 2.12550 | 1893,008.40 |
| TOTAL | 16,195 | 100% | | | | | 46215,829.18 |
| FACTOR DE CARRIL | | | | | | | 0.50 |
| FACTOR DE CARRIL | | | | | | | 1.00 |
| TOTAL EJES EQUIVALENTES 8.2 TON | | | | | | | 23107,914.59 |

Para los 10 primeros años se estima que circularán por este sub tramo una cantidad de 16, 129,934.16 ejes equivalentes de 18,000 lb.

Para los 10 últimos años de la vida analizada, se estima circularán por este sub tramo una cantidad de 23, 107,914.59 ejes equivalentes de 18,000 lb.

3.1.2 EJES DE DISEÑO SUB TRAMO SAN LORENZO – CHOLUTECA (PAVIMENTO FLEXIBLE)

| EJES EQUIVALENTES AÑO 1 al 10/2017 - 2026 | | | | | | | |
|---|-----------------|--------|------------------------|--------------------------|--|--------------------|-------------------|
| Periodo | 10 | años | | | | | |
| Tipo de Vehiculo | TPDA (año 1) | % | Tasa de Crecimiento | Proyeccion de trafico | Total Vehiculos periodo de diseño | Factor de Carga | Ejes Equivalentes |
| Turismo | 2,274 | 28.30% | 4.5000% | 12.29 | 10200,149 | 0.00004 | 408.01 |
| Pick Up | 2,669 | 33.21% | 4.5000% | 12.29 | 11971,099 | 0.00280 | 33,519.08 |
| Buses | 646 | 8.04% | 4.5000% | 12.29 | 2897,720 | 1.56650 | 4539,277.88 |
| C2 | 772 | 9.61% | 4.5000% | 12.29 | 3462,932 | 2.26850 | 7855,661.75 |
| C3 | 231 | 2.88% | 4.5000% | 12.29 | 1036,832 | 1.56650 | 1624,197.84 |
| C4 | 11 | 0.14% | 4.5000% | 12.29 | 50,452 | 0.86150 | 43,464.70 |
| T2 -S1 | 9 | 0.11% | 4.5220% | 12.30 | 40,997 | 3.05650 | 125,308.58 |
| T2-S2 | 0 | 0.00% | 4.5220% | 12.30 | 0 | 2.86150 | - |
| T2-S3 | 0 | 0.00% | 4.5220% | 12.30 | 0 | 2.32050 | - |
| T3-S2 | 1,211 | 15.06% | 4.5220% | 12.30 | 5435,085 | 2.66650 | 14492,653.74 |
| T3-S3 | 212 | 2.64% | 4.5220% | 12.30 | 953,190 | 2.12550 | 2026,004.75 |
| TOTAL | 8,036 | 100% | | | | | 30740,496.32 |
| FACTOR DE DISTRIBUCION POR DIRECCION | | | | | | | 0.50 |
| FACTOR DE DISTRIBUCION POR CARRIL | | | | | | | 1.00 |
| TOTAL EJES EQUIVALENTES 8.2 TON | | | | | | | 15370,248.16 |

| EJES EQUIVALENTES AÑO 11 al 20 /2019 - 2036 | | | | | | | |
|--|--------------------------|---------------|--------------------------------|----------------------------------|--|----------------------------|--------------------------|
| Periodo | 10 | años | | | | | |
| Tipo de Vehiculo | TPDA (año 11) | % | Tasa de Crecimiento | Proyeccion de trafico | Total Vehiculos periodo de diseño | Factor de Carga | Ejes Equivalentes |
| Turismo | 3,481 | 28.29% | 3.0000% | 11.46 | 14565,767 | 0.00004 | 582.63 |
| Pick Up | 4,085 | 33.20% | 3.0000% | 11.46 | 17094,676 | 0.00280 | 47,865.09 |
| Buses | 989 | 8.04% | 3.0000% | 11.46 | 4137,931 | 1.56650 | 6482,068.43 |
| C2 | 1,182 | 9.60% | 3.0000% | 11.46 | 4945,052 | 2.26850 | 11217,849.71 |
| C3 | 354 | 2.88% | 3.0000% | 11.46 | 1480,592 | 1.56650 | 2319,347.22 |
| C4 | 17 | 0.14% | 3.0000% | 11.46 | 72,046 | 0.86150 | 62,067.39 |
| T2 -S1 | 14 | 0.11% | 3.0881% | 11.51 | 58,884 | 3.05650 | 179,978.43 |
| T2-S2 | 0 | 0.00% | 3.0881% | 11.51 | 0 | 2.86150 | - |
| T2-S3 | 0 | 0.00% | 3.0881% | 11.51 | 0 | 2.32050 | - |
| T3-S2 | 1,858 | 15.10% | 3.0881% | 11.51 | 7806,313 | 2.66650 | 20815,534.76 |
| T3-S3 | 326 | 2.65% | 3.0881% | 11.51 | 1369,049 | 2.12550 | 2909,913.74 |
| TOTAL | 12,306 | 100% | | | | | 44035,207.39 |
| FACTOR DE CARRIL | | | | | | | 0.50 |
| FACTOR DE CARRIL | | | | | | | 1.00 |
| TOTAL EJES EQUIVALENTES 8.2 TON | | | | | | | 22017,603.70 |

Para los 10 primeros años se estima que circularán por este sub tramo una cantidad de 15, 370,248.16 ejes equivalentes de 18,000 lb.

Para los 10 últimos años de la vida analizada, se estima circularán por este sub tramo una cantidad de 22, 017,603.70 ejes equivalentes de 18,000 lb.

3.1.3 EJES DE DISEÑO SUB TRAMO LIBRAMIENTO DE CHOLUTECA (PAVIMENTO FLEXIBLE)

| EJES EQUIVALENTES AÑO 1 al 10/2017 - 2026 | | | | | | | |
|---|-----------------|-------------|------------------------|--------------------------|--|--------------------|---------------------|
| Periodo | 10 | años | | | | | |
| Tipo de Vehiculo | TPDA (año 1) | % | Tasa de Crecimiento | Proyeccion de trafico | Total Vehiculos periodo de diseño | Factor de Carga | Ejes Equivalentes |
| Turismo | 159 | 9.98% | 4.5000% | 12.29 | 713,146 | 0.00004 | 28.53 |
| Pick Up | 499 | 31.32% | 4.5000% | 12.29 | 2238,113 | 0.00280 | 6,266.72 |
| Buses | 34 | 2.13% | 4.5000% | 12.29 | 152,497 | 1.56650 | 238,886.05 |
| C2 | 172 | 10.80% | 4.5000% | 12.29 | 771,454 | 2.26850 | 1750,042.91 |
| C3 | 12 | 0.75% | 4.5000% | 12.29 | 53,822 | 1.56650 | 84,312.72 |
| C4 | 0 | 0.00% | 4.5000% | 12.29 | 0 | 0.86150 | - |
| T2-S1 | 0 | 0.00% | 4.5220% | 12.30 | 0 | 3.05650 | - |
| T2-S2 | 1 | 0.06% | 4.5220% | 12.30 | 4,490 | 2.86150 | 12,847.53 |
| T2-S3 | 1 | 0.06% | 4.5220% | 12.30 | 4,490 | 2.32050 | 10,418.56 |
| T3-S2 | 647 | 40.62% | 4.5220% | 12.30 | 2904,894 | 2.66650 | 7745,900.22 |
| T3-S3 | 68 | 4.27% | 4.5220% | 12.30 | 305,306 | 2.12550 | 648,927.31 |
| TOTAL | 1,593 | 100% | | | | | 10497,630.55 |
| FACTOR DE DISTRIBUCION POR DIRECCION | | | | | | | 0.50 |
| FACTOR DE DISTRIBUCION POR CARRIL | | | | | | | 1.00 |
| TOTAL EJES EQUIVALENTES 8.2 TON | | | | | | | 5248,815.27 |

| EJES EQUIVALENTES AÑO 11 al 20 /2019 - 2036 | | | | | | | |
|--|------------------|-------------|------------------------|--------------------------|--|--------------------|---------------------|
| Periodo | 10 | años | | | | | |
| Tipo de Vehiculo | TPDA (año 11) | % | Tasa de Crecimiento | Proyeccion de trafico | Total Vehiculos periodo de diseño | Factor de Carga | Ejes Equivalentes |
| Turismo | 237 | 10.00% | 3.0000% | 11.46 | 991,683 | 0.00004 | 39.67 |
| Pick Up | 742 | 31.32% | 3.0000% | 11.46 | 3104,762 | 0.00280 | 8,693.33 |
| Buses | 50 | 2.11% | 3.0000% | 11.46 | 209,216 | 1.56650 | 327,736.55 |
| C2 | 256 | 10.81% | 3.0000% | 11.46 | 1071,185 | 2.26850 | 2429,982.91 |
| C3 | 17 | 0.72% | 3.0000% | 11.46 | 71,133 | 1.56650 | 111,430.43 |
| C4 | 0 | 0.00% | 3.0000% | 11.46 | 0 | 0.86150 | - |
| T2 -S1 | 1 | 0.04% | 3.0881% | 11.51 | 4,201 | 3.05650 | 12,841.37 |
| T2 -S2 | 1 | 0.04% | 3.0881% | 11.51 | 4,201 | 2.86150 | 12,022.11 |
| T2 -S3 | 1 | 0.04% | 3.0881% | 11.51 | 4,201 | 2.32050 | 9,749.19 |
| T3 -S2 | 963 | 40.65% | 3.0881% | 11.51 | 4045,883 | 2.66650 | 10788,348.35 |
| T3 -S3 | 101 | 4.26% | 3.0881% | 11.51 | 424,335 | 2.12550 | 901,923.22 |
| TOTAL | 2,369 | 100% | | | | | 14602,767.13 |
| FACTOR DE CARRIL | | | | | | | 0.50 |
| FACTOR DE CARRIL | | | | | | | 1.00 |
| TOTAL EJES EQUIVALENTES 8.2 TON | | | | | | | 7301,383.57 |

Para los 10 primeros años se estima que circularán por este sub tramo una cantidad de 5, 248,815.27 ejes equivalentes de 18,000 lb.

Para los 10 últimos años de la vida analizada, se estima circularán por este sub tramo una cantidad de 7, 301,383.57 ejes equivalentes de 18,000 lb.

3.1.4 EJES DE DISEÑO SUB TRAMO JICARO GALAN – SAN LORENZO (PAVIMENTO RIGIDO)

| EJES EQUIVALENTES AÑO 1 al 10/2017 - 2026 | | | | | | | |
|---|-----------------|-------------|------------------------|--------------------------|--|--------------------|---------------------|
| Periodo | 10 | años | | | | | |
| Tipo de Vehiculo | TPDA (año 1) | % | Tasa de Crecimiento | Proyeccion de trafico | Total Vehiculos periodo de diseño | Factor de Carga | Ejes Equivalentes |
| Turismo | 3,534 | 33.42% | 4.5000% | 12.29 | 15851,543 | 0.00004 | 634.06 |
| Pick Up | 3,961 | 37.45% | 4.5000% | 12.29 | 17764,345 | 0.00280 | 49,740.17 |
| Buses | 396 | 3.74% | 4.5000% | 12.29 | 1775,338 | 2.70400 | 4800,513.20 |
| C2 | 1,060 | 10.02% | 4.5000% | 12.29 | 4754,220 | 2.50800 | 11923,583.45 |
| C3 | 96 | 0.90% | 4.5000% | 12.29 | 428,845 | 2.70400 | 1159,596.78 |
| C4 | 1 | 0.01% | 4.5000% | 12.29 | 5,118 | 1.89800 | 9,714.64 |
| T2 -S1 | 5 | 0.05% | 4.5220% | 12.30 | 24,525 | 3.17200 | 77,794.04 |
| T2 -S2 | 0 | 0.00% | 4.5220% | 12.30 | 0 | 3.91800 | - |
| T2 -S3 | 3 | 0.03% | 4.5220% | 12.30 | 12,080 | 3.42000 | 41,312.21 |
| T3-S2 | 1,382 | 13.07% | 4.5220% | 12.30 | 6205,250 | 4.66400 | 28941,287.99 |
| T3-S3 | 138 | 1.31% | 4.5220% | 12.30 | 620,086 | 4.16600 | 2583,277.38 |
| TOTAL | 10,576 | 100% | | | | | 49587,453.91 |
| FACTOR DE DISTRIBUCION POR DIRECCION | | | | | | | 0.50 |
| FACTOR DE DISTRIBUCION POR CARRIL | | | | | | | 1.00 |
| TOTAL EJES EQUIVALENTES 8.2 TON | | | | | | | 24793,726.96 |

| EJES EQUIVALENTES AÑO 11 al 20 /2019 - 2036 | | | | | | | |
|---|------------------|-------------|------------------------|--------------------------|--|--------------------|---------------------|
| Periodo | 10 | años | | | | | |
| Tipo de Vehiculo | TPDA (año 11) | % | Tasa de Crecimiento | Proyeccion de trafico | Total Vehiculos periodo de diseño | Factor de Carga | Ejes Equivalentes |
| Turismo | 5,410 | 33.40% | 3.0000% | 11.46 | 22635,932 | 0.00004 | 905.44 |
| Pick Up | 6,062 | 37.44% | 3.0000% | 11.46 | 25367,405 | 0.00280 | 71,028.73 |
| Buses | 606 | 3.74% | 3.0000% | 11.46 | 2535,174 | 2.70400 | 6855,111.29 |
| C2 | 1,622 | 10.02% | 3.0000% | 11.46 | 6789,005 | 2.50800 | 17026,823.62 |
| C3 | 146 | 0.90% | 3.0000% | 11.46 | 612,389 | 2.70400 | 1655,899.00 |
| C4 | 2 | 0.01% | 3.0000% | 11.46 | 7,309 | 1.89800 | 13,872.46 |
| T2 -S1 | 8 | 0.05% | 3.0881% | 11.51 | 35,225 | 3.17200 | 111,734.17 |
| T2-S2 | 0 | 0.00% | 3.0881% | 11.51 | 0 | 3.91800 | - |
| T2-S3 | 4 | 0.03% | 3.0881% | 11.51 | 17,350 | 3.42000 | 59,335.97 |
| T3-S2 | 2,121 | 13.10% | 3.0881% | 11.51 | 8912,488 | 4.66400 | 41567,845.11 |
| T3-S3 | 212 | 1.31% | 3.0881% | 11.51 | 890,618 | 4.16600 | 3710,314.27 |
| TOTAL | 16,195 | 100% | | | | | 71072,870.05 |
| FACTOR DE CARRIL | | | | | | | 0.50 |
| FACTOR DE CARRIL | | | | | | | 1.00 |
| TOTAL EJES EQUIVALENTES 8.2 TON | | | | | | | 35536,435.03 |

En la alternativa de pavimento rígido de este sub tramo Jícara Galán – San Lorenzo, se estimó la proyección de carga a 20 años, a la cual corresponde una cantidad de 60, 330,161.98 de ejes equivalentes de 18, 000 lb.

3.1.5 EJES DE DISEÑO SUB TRAMO SAN LORENZO - CHOLUTECA (PAVIMENTO RIGIDO)

| EJES EQUIVALENTES AÑO 1 al 10/2017 - 2026 | | | | | | | |
|---|-----------------|-------------|------------------------|--------------------------|--|--------------------|---------------------|
| Periodo | 10 | años | | | | | |
| Tipo de Vehiculo | TPDA (año 1) | % | Tasa de Crecimiento | Proyeccion de trafico | Total Vehiculos periodo de diseño | Factor de Carga | Ejes Equivalentes |
| Turismo | 2,274 | 28.30% | 4.5000% | 12.29 | 10200,149 | 0.00004 | 408.01 |
| Pick Up | 2,669 | 33.21% | 4.5000% | 12.29 | 11971,099 | 0.00280 | 33,519.08 |
| Buses | 646 | 8.04% | 4.5000% | 12.29 | 2897,720 | 2.70400 | 7835,434.02 |
| C2 | 772 | 9.61% | 4.5000% | 12.29 | 3462,932 | 2.50800 | 8685,034.02 |
| C3 | 231 | 2.88% | 4.5000% | 12.29 | 1036,832 | 2.70400 | 2803,594.61 |
| C4 | 11 | 0.14% | 4.5000% | 12.29 | 50,452 | 1.89800 | 95,758.56 |
| T2 -S1 | 9 | 0.11% | 4.5220% | 12.30 | 40,997 | 3.17200 | 130,043.78 |
| T2-S2 | 0 | 0.00% | 4.5220% | 12.30 | 0 | 3.91800 | - |
| T2-S3 | 0 | 0.00% | 4.5220% | 12.30 | 0 | 3.42000 | - |
| T3-S2 | 1,211 | 15.06% | 4.5220% | 12.30 | 5435,085 | 4.66400 | 25349,235.73 |
| T3-S3 | 212 | 2.64% | 4.5220% | 12.30 | 953,190 | 4.16600 | 3970,988.37 |
| TOTAL | 8,036 | 100% | | | | | 48904,016.16 |
| FACTOR DE DISTRIBUCION POR DIRECCION | | | | | | | 0.50 |
| FACTOR DE DISTRIBUCION POR CARRIL | | | | | | | 1.00 |
| TOTAL EJES EQUIVALENTES 8.2 TON | | | | | | | 24452,008.08 |

| EJES EQUIVALENTES AÑO 11 al 20 /2019 - 2036 | | | | | | | |
|---|------------------|-------------|------------------------|--------------------------|--|--------------------|---------------------|
| Periodo | 10 | años | | | | | |
| Tipo de Vehiculo | TPDA (año 11) | % | Tasa de Crecimiento | Proyeccion de trafico | Total Vehiculos periodo de diseño | Factor de Carga | Ejes Equivalentes |
| Turismo | 3,481 | 28.29% | 3.0000% | 11.46 | 14565,767 | 0.00004 | 582.63 |
| Pick Up | 4,085 | 33.20% | 3.0000% | 11.46 | 17094,676 | 0.00280 | 47,865.09 |
| Buses | 989 | 8.04% | 3.0000% | 11.46 | 4137,931 | 2.70400 | 11188,964.59 |
| C2 | 1,182 | 9.60% | 3.0000% | 11.46 | 4945,052 | 2.50800 | 12402,189.58 |
| C3 | 354 | 2.88% | 3.0000% | 11.46 | 1480,592 | 2.70400 | 4003,520.51 |
| C4 | 17 | 0.14% | 3.0000% | 11.46 | 72,046 | 1.89800 | 136,742.79 |
| T2 -S1 | 14 | 0.11% | 3.0881% | 11.51 | 58,884 | 3.17200 | 186,779.51 |
| T2 -S2 | 0 | 0.00% | 3.0881% | 11.51 | 0 | 3.91800 | - |
| T2 -S3 | 0 | 0.00% | 3.0881% | 11.51 | 0 | 3.42000 | - |
| T3 -S2 | 1,858 | 15.10% | 3.0881% | 11.51 | 7806,313 | 4.66400 | 36408,645.83 |
| T3 -S3 | 326 | 2.65% | 3.0881% | 11.51 | 1369,049 | 4.16600 | 5703,458.31 |
| TOTAL | 12,306 | 100% | | | | | 70078,748.84 |
| FACTOR DE CARRIL | | | | | | | 0.50 |
| FACTOR DE CARRIL | | | | | | | 1.00 |
| TOTAL EJES EQUIVALENTES 8.2 TON | | | | | | | 35039,374.42 |

En la alternativa de pavimento rígido de este sub tramo San Lorenzo - Choluteca, se estimó la proyección de carga a 20 años, a la cual corresponde una cantidad de 59, 491,382.50 de ejes equivalentes de 18, 000 lb.

3.1.6 EJES DE DISEÑO SUB TRAMO LIBRAMIENTO DE CHOLUTECA (PAVIMENTO RIGIDO)

| EJES EQUIVALENTES AÑO 1 al 10/2017 - 2026 | | | | | | | |
|---|-----------------|-------------|------------------------|--------------------------|--|--------------------|---------------------|
| Periodo | 10 | años | | | | | |
| Tipo de Vehiculo | TPDA (año 1) | % | Tasa de Crecimiento | Proyeccion de trafico | Total Vehiculos periodo de diseño | Factor de Carga | Ejes Equivalentes |
| Turismo | 159 | 9.98% | 4.5000% | 12.29 | 713,146 | 0.00004 | 28.53 |
| Pick Up | 499 | 31.32% | 4.5000% | 12.29 | 2238,113 | 0.00280 | 6,266.72 |
| Buses | 34 | 2.13% | 4.5000% | 12.29 | 152,497 | 2.70400 | 412,351.02 |
| C2 | 172 | 10.80% | 4.5000% | 12.29 | 771,454 | 2.50800 | 1934,806.09 |
| C3 | 12 | 0.75% | 4.5000% | 12.29 | 53,822 | 2.70400 | 145,535.65 |
| C4 | 0 | 0.00% | 4.5000% | 12.29 | 0 | 1.89800 | - |
| T2 -S1 | 0 | 0.00% | 4.5220% | 12.30 | 0 | 3.17200 | - |
| T2-S2 | 1 | 0.06% | 4.5220% | 12.30 | 4,490 | 3.91800 | 17,591.00 |
| T2-S3 | 1 | 0.06% | 4.5220% | 12.30 | 4,490 | 3.42000 | 15,355.08 |
| T3-S2 | 647 | 40.62% | 4.5220% | 12.30 | 2904,894 | 4.66400 | 13548,426.27 |
| T3-S3 | 68 | 4.27% | 4.5220% | 12.30 | 305,306 | 4.16600 | 1271,903.63 |
| TOTAL | 1,593 | 100% | | | | | 17352,263.99 |
| FACTOR DE DISTRIBUCION POR DIRECCION | | | | | | | 0.50 |
| FACTOR DE DISTRIBUCION POR CARRIL | | | | | | | 1.00 |
| TOTAL EJES EQUIVALENTES 8.2 TON | | | | | | | 8676,131.99 |

| EJES EQUIVALENTES AÑO 11 al 20 /2019 - 2036 | | | | | | | |
|---|------------------|-------------|------------------------|--------------------------|--|--------------------|---------------------|
| Periodo | 10 | años | | | | | |
| Tipo de Vehiculo | TPDA (año 11) | % | Tasa de Crecimiento | Proyeccion de trafico | Total Vehiculos periodo de diseño | Factor de Carga | Ejes Equivalentes |
| Turismo | 237 | 10.00% | 3.0000% | 11.46 | 991,683 | 0.00004 | 39.67 |
| Pick Up | 742 | 31.32% | 3.0000% | 11.46 | 3104,762 | 0.00280 | 8,693.33 |
| Buses | 50 | 2.11% | 3.0000% | 11.46 | 209,216 | 2.70400 | 565,719.52 |
| C2 | 256 | 10.81% | 3.0000% | 11.46 | 1071,185 | 2.50800 | 2686,531.69 |
| C3 | 17 | 0.72% | 3.0000% | 11.46 | 71,133 | 2.70400 | 192,344.64 |
| C4 | 0 | 0.00% | 3.0000% | 11.46 | 0 | 1.89800 | - |
| T2 -S1 | 1 | 0.04% | 3.0881% | 11.51 | 4,201 | 3.17200 | 13,326.63 |
| T2-S2 | 1 | 0.04% | 3.0881% | 11.51 | 4,201 | 3.91800 | 16,460.82 |
| T2-S3 | 1 | 0.04% | 3.0881% | 11.51 | 4,201 | 3.42000 | 14,368.56 |
| T3-S2 | 963 | 40.65% | 3.0881% | 11.51 | 4045,883 | 4.66400 | 18870,000.64 |
| T3-S3 | 101 | 4.26% | 3.0881% | 11.51 | 424,335 | 4.16600 | 1767,778.00 |
| TOTAL | 2,369 | 100% | | | | | 24135,263.49 |
| FACTOR DE CARRIL | | | | | | | 0.50 |
| FACTOR DE CARRIL | | | | | | | 1.00 |
| TOTAL EJES EQUIVALENTES 8.2 TON | | | | | | | 12067,631.74 |

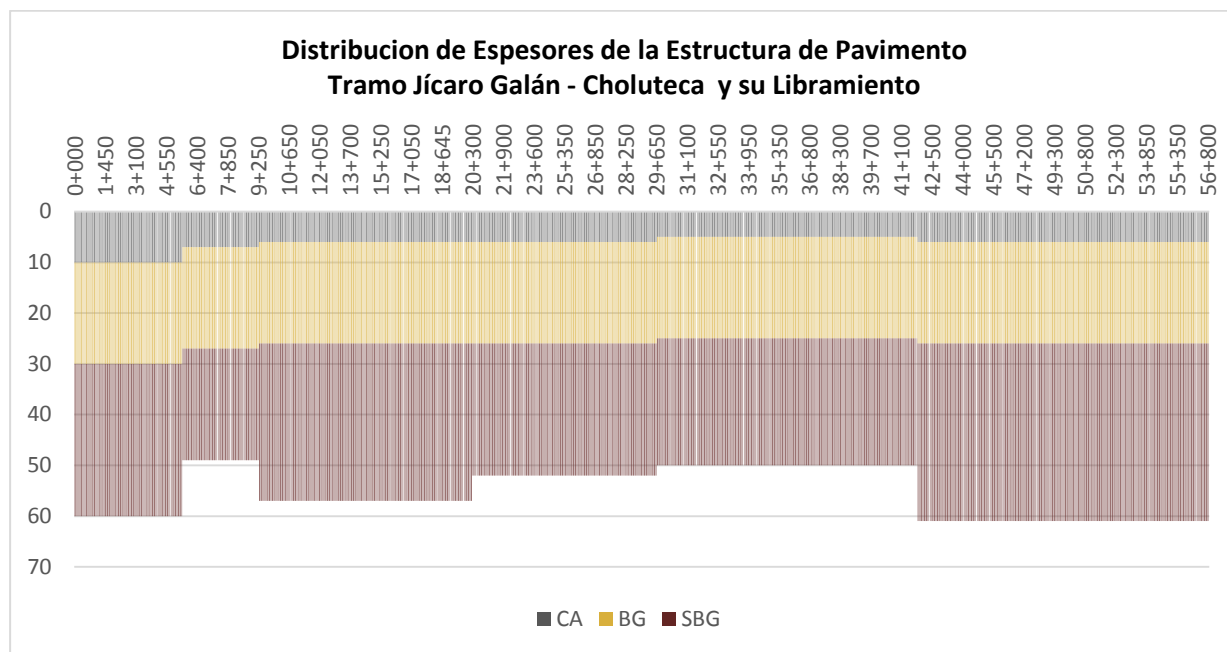
En la alternativa de pavimento rígido de este sub tramo Libramiento de Choluteca, se estimó la proyección de carga a 20 años, a la cual corresponde una cantidad de 20, 743,763.74 de ejes equivalentes de 18, 000 lb.

Los factores de carga de ambas alternativas, fueron determinados con las tablas anexas del manual de diseño AASHTO 93 y los resultados de dichos factores se muestran en el ANEXO 1

3.2 EXPLORACION GEOTECNICA

3.2.1 ESPESORES DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO

Se llevó a cabo una exploración geotécnica del tramo carretero Jícara Galán – Choluteca, en el siguiente grafico se muestran los espesores obtenidos:



Se concluye que en general se presenta una capa asfáltica heterogénea con espesores decrecientes desde 10 cm hasta la estación 5+300, bajando a 7 cm hasta la estación 9+205; luego de esta estación pasa a 6 cm hasta la estación 29+650, reduciéndose a 5 cm desde este punto a la estación 41+800; finalmente la capa asfáltica del libramiento es de 6 cm entre la estación 41+850 a la estación 56+900.

La capa de base granular, es homogénea en todo el tramo con un espesor típico de 20 cm; la capa de sub base presenta espesores variables de 22 cm, 25 cm, 26 cm, 30 cm, 31 cm y 35 cm.

3.2.2 ANALISIS DE MATERIALES

Se analizaron las características de los materiales de sub rasante del tramo Jícara Galán – Choluteca, en función a las secciones homogéneas clasificadas por deflexión central; concluyendo que dichos materiales son de regular calidad hasta la estación 6+700 en su mayoría clasificándose A-2-6 y 7 (0) arenosos (más del 50% pasa tamiz No. 4) con un índice de plasticidad mayor de 10; entre las estaciones 8+300 y 17+900, se encontraron materiales de mala calidad, clasificándose desde A-7-5 (2) a (9), arcillas con índices de plasticidad entre 17 y 21.5, lo que se refleja en hinchamientos entre 3.73 y 5.44; luego la sub rasante muestreada continua con materiales de regular calidad hasta la estación 31+400 clasificados A-2-4 (0) y A-2-6 (0) gravosos y/o arenosos, con índices de plasticidad menores que 10 para los A-2-4 (0) y superiores a 10 pero no más de 12.3 para los A-2-6 (0); finalmente se encontró una zona con

material de mala calidad clasificándose A-7-5 (2) en la estación 36+700, mejorando la calidad en las aproximaciones a la ciudad de Choluteca con una sub rasante de río clasificación A-1-a (0) no plástica.

Se realizó ensayos de CBR a los materiales clasificados, en condiciones de humedad natural de la época lluviosa y en total saturación, encontrando valores de entre 20% y 60% para la condición de humedad natural y entre 1% y 40% en condiciones de saturación total, tal y como se muestra en el siguiente cuadro resumen:

| Tramo Homogeneo | Tipo de Material | Estacion | Prof. (m) | Lado | Granulometria (% pase el Tamiz) | | | | | | | | | | | | | | | | Limites | | Clasificacion | | Compactacion | | CBR | | | Inchamiento | CBR con Humedad Natural |
|-----------------|------------------|----------|-------------|------|---------------------------------|-----|-----|-----|----|-----|------|----|----|----|----|-----|-----|------|------|-----------|-----------|---------|---------------|-----|--------------|------|------|----|--|-------------|-------------------------|
| | | | | | 3" | 2½" | 2" | 1½" | 1" | ¾" | 3/8" | 4 | 8 | 10 | 40 | 100 | 200 | L.L | I.P | AAHSTO | Unificada | D. Max. | H. Opt. | 90% | 95% | 100% | | | | | |
| 0+000 - 5+050 | Subrasante | 1+700 | 0.40 - 1.40 | lq. | | | 100 | 99 | 95 | 92 | 83 | 76 | 69 | 67 | 45 | 35 | 31 | 34.6 | 12 | A-2-6 (0) | SC | 114.3 | 14.1 | | | 9 | 2.01 | 20 | | | |
| | Subrasante | 3+400 | 0.40 - 1.35 | Der. | 100 | 98 | 97 | 96 | 91 | 88 | 81 | 74 | 65 | 62 | 33 | 25 | 22 | 43.7 | 17.4 | A-2-7 (0) | SC | 108.2 | 13.0 | | | 7 | 1.77 | 21 | | | |
| 5+050 - 10+000 | Subrasante | 6+700 | 0.55 - 1.40 | Der. | | 100 | 99 | 97 | 95 | 93 | 81 | 70 | 62 | 59 | 38 | 28 | 26 | 35.3 | 14.9 | A-2-6 (0) | SC | 117.3 | 10.4 | | | 4 | 2.23 | 40 | | | |
| | Subrasante | 8+300 | 0.40 - 1.35 | Der. | | | | | | 100 | 99 | 95 | 90 | 88 | 66 | 55 | 51 | 47.5 | 21.5 | A-7-5 (8) | SC | 104.3 | 13.5 | | | 1 | 5.44 | 32 | | | |
| 10+000 - 14+000 | Subrasante | 12+500 | 0.50 - 1.30 | Der. | | | | | | 100 | 94 | 89 | 82 | 80 | 52 | 40 | 36 | 42.8 | 17.0 | A-7-5 (2) | SC | 104.8 | 10.6 | | | 1 | 3.73 | 39 | | | |
| 14+000 - 25+600 | Subrasante | 17+900 | 0.40 - 1.40 | lq. | | | | | | 100 | 96 | 92 | 88 | 87 | 70 | 62 | 58 | 50.2 | 17.3 | A-7-5 (9) | SC | 93.8 | 14.7 | | | 1 | 5.37 | 19 | | | |
| | Subrasante | 21+700 | 0.45 - 1.30 | Der. | 100 | 99 | 97 | 91 | 79 | 67 | 46 | 36 | 30 | 29 | 21 | 17 | 15 | 36.9 | 9.0 | A-2-4 (0) | GC | 110.5 | 12.2 | | | 25 | 0.00 | 48 | | | |
| 25+600 - 34+150 | Subrasante | 28+400 | 0.40 - 1.30 | lq. | | | | | | 100 | 87 | 74 | 61 | 57 | 37 | 27 | 23 | 37.8 | 12.3 | A-2-6 (0) | SC | 112.7 | 14.0 | | | 25 | 0.17 | 24 | | | |
| | Subrasante | 31+400 | 0.50 - 1.30 | Der. | | 100 | 98 | 90 | 80 | 73 | 60 | 51 | 42 | 39 | 22 | 15 | 12 | 36.4 | 9.5 | A-2-4 (0) | SW-SC | 111.0 | 13.0 | | | 25 | 0.04 | 40 | | | |
| 34+150 - 41+800 | Subrasante | 36+700 | 0.50 - 1.40 | Der. | | | | | | 100 | 95 | 90 | 84 | 81 | 55 | 42 | 38 | 45.1 | 14.9 | A-7-5 (2) | SC | 104.2 | 17.6 | | | 6 | 3.80 | 25 | | | |
| | Subrasante | 39+200 | 0.25 - 1.30 | lq. | | 100 | 98 | 92 | 69 | 51 | 38 | 32 | 28 | 26 | 16 | 11 | 8 | N.L | N.P | A-1-a (0) | GW-GM | 125.7 | 10.0 | | | 40 | 0.04 | 60 | | | |

3.3 INSPECCION VISUAL

Se realizó una visita al proyecto, para categorizar los daños visibles en la vía, almacenando en video y fotografías el recorrido de los 56.9 km de longitud del tramo, este trabajo se realizó haciendo un recorrido en toda la ruta, midiendo los diferentes daños, haciendo los apuntes respectivos, observaciones y categorizando estas fallas de acuerdo al **Manual Centroamericano de Mantenimiento de Carreteras, Tomo III, Catálogo Centroamericano de Daños a Pavimentos Viales**. Tal como lo menciona en su introducción, este manual unifica la clasificación de daños en los pavimentos, utilizando una terminología común, también, hace un resumen de las fallas más comunes encontradas, incluyendo descripción, posibles causas, niveles de severidad, medición y esquemas representativos de las mismas. El Catálogo Centroamericano de Daños a Pavimentos Viales, ha dividido los diferentes tipos de daños en pavimentos flexibles en: Fisuras y Grietas, Deformaciones superficiales de pavimentos asfálticos y Desintegración en los pavimentos asfálticos, teniendo cada una de estas sub divisiones, que se incluyen en la tabla No. 1 en la simbología de la misma.

A continuación se presentan algunas imágenes de lo observado en el sitio con los daños encontrados:



*Foto No. 1 Estación 1+200
Carril Derecho, Deformación
Superficial Tipo Fisura Longitudinal
Nivel de severidad: A (Alto)*



*Foto No. 2, Deformación Tipo
Piel de Cocodrilo, Estación 0+300
Nivel de Severidad: M (Mediana)
Carril Derecho*



*Foto No. 3 Deformación Superficial
Tipo Piel de Cocodrilo, Estación
17+500, Nivel de Severidad: Alto
Carril derecho*



*Foto No. 4 Estación 0+300, carril
Derecho, Def. Superficiales de
Pavimentos Asfálticos, Ahuellamiento
Severidad: M (Mediano)*



*Foto No. 5 Estación 4+820
Carril Derecho, Deformación
Superficial Tipo Corrimiento
Carril derecho*



*Foto No. 6 Estación 19+000, carril
derecho, Fisuras y Grietas, tipo
fisura en bloque, Nivel de severidad
A (Alto)*



Foto No. 7 Estación 51+940, carril Derecho, Deformaciones Superficiales De Pavimentos Asfálticos, Tipo Hundimiento, nivel de severidad: Alto



Foto No. 8 Estación 2+400 Carril derecho, Destrucción del hombro



Foto No. 9 Estación 56+360, carril derecho, Desintegración en los Pavimentos Asfálticos, tipo: Bache Nivel de Severidad: A (Alto)

En General, podemos decir que el pavimento muestra un alto deterioro, encontrando daños de los tres tipos de nivel categorizados en el Manual Centroamericano de Mantenimiento de Carreteras, Tomo III, Catálogo Centroamericano de Daños a Pavimentos Viales.

Dentro del tipo **Fisuras y Grietas**, se incluyen fisuras longitudinales, con un nivel de severidad A (Alto), dentro de las posibles causas que menciona el Catálogo Centroamericano de Daños a Pavimentos Viales para este tipo de falla, se encuentra: instancias iniciales del fenómeno de fatiga por debilidad estructural, ocurriendo en la huella de canalización del tránsito, una defectuosa ejecución de las juntas longitudinales de construcción, contracción de la mezcla asfáltica por pérdida de flexibilidad, reflexión de fisuras causadas por grietas existentes por debajo de la superficie de rodamiento y por el deficiente confinamiento lateral.

Dentro de la categoría **Fisuras y Grietas**, también encontramos fisura piel de cocodrilo, reflejada en todos los 56.96 kilómetros en estudio, de severidad M (Mediana) en los primeros 12.5 km y de A (Alta) severidad del kilómetro 12.5 hasta el final del proyecto; Este tipo de falla tiene como posible causa según el Catálogo Centroamericano de Daños a Pavimentos Viales, la fatiga que sufren las capas asfálticas al ser sometidas a las cargas repetidas del tránsito, por lo general, el fisuramiento indica que el pavimento ya no tiene capacidad estructural de sostener las cargas de tránsito y ha llegado al fin de su vida útil, por otra parte el ligante ha envejecido y por ende ha perdido la flexibilidad de sostener cargas repetidas al tránsito sin agrietarse.

Otro tipo de daño encontrado, es el de fisuras en bloque de severidad A (Alto), según el Catálogo Centroamericano de Daños a Pavimentos Viales, estos daños son causadas principalmente por la contracción de las mezclas asfálticas debido a las variaciones diarias de temperatura; También suelen ocurrir en pavimentos bituminosos colocados sobre bases granulares estabilizadas o mejoradas con cemento portland, que se producen a raíz de la contracción eventual de la capa estabilizada, que se reflejan en la superficie del pavimento. A menudo es difícil constatar si las fisuras y grietas son debido a contracciones producidas en la capa de rodadura o en la base y sub-base. La ausencia de tráfico tiende a acelerar la formación de estas grietas de contracción. También se debe a cambios de volumen del agregado fino de las mezclas asfálticas con un ligante de penetración baja. Por lo general, el origen de estas fisuras no está asociado a las cargas de tráfico; sin embargo, dichas cargas incrementan la

severidad de las fisuras. La presencia de fisuras en bloques generalmente es indicativa de que el asfalto se ha endurecido significativamente.

Podemos decir que el tramo Jícara Galán – Choluteca presenta los siguientes porcentajes por falla tipo **Fisuras y Grietas**:

- Hay presencia de fisuras longitudinales mayores a 6 mm, en el 0.80% de la longitud total del tramo.
- Hay daño categorizado como Piel de cocodrilo de severidad M (Mediana), en el 21.95% del área total del tramo.
- Hay daño categorizado como Piel de cocodrilo de severidad A (Alto), en el 77.70% del área total del tramo.
- Hay daño categorizado como fisuras en bloque de severidad A (Alto) en el 0.07% del área total del tramo.

En cuanto a la categoría **Deformaciones Superficiales de Pavimentos Asfálticos**, encontramos: ahuellamiento, con un nivel de severidad M (Mediano); dentro de las posibles causas para que se produzca este tipo de daño, el Catálogo Centroamericano de Daños a Pavimentos Viales enumera las siguientes:

- Las repeticiones de las cargas de tránsito conducen a deformaciones permanentes en cualquiera de las capas del pavimento o en la subrasante.
- Cuando el radio de influencia de la zona ahuellada es pequeño, las deformaciones ocurren en las capas superiores del pavimento, cuando el radio de influencia es amplio, las deformaciones ocurren en la subrasante.
- Las deformaciones resultan de una compactación o movimiento lateral de los materiales (fluencia plástica o punzonamiento por corte), ambos por efecto de tránsito.
- El ahuellamiento indica una insuficiencia estructural del pavimento o una deficiente estabilidad del sistema subrasante - pavimento.
- En algunos casos se hace más evidente cuando la mezcla asfáltica se desplaza formando un cordón a cada lado del área deprimida.

Se identificó también, la presencia de fallas tipo hundimiento, categorizada siempre dentro de las **Deformaciones Superficiales de Pavimentos Asfálticos**, donde se presenta una alta incidencia en la comodidad de manejo, produciendo una severa incomodidad al momento de conducir un vehículo, requiriéndose reducir la velocidad por motivos de seguridad, por lo que se incluyó como nivel de severidad A (Alto). Según el Catálogo Centroamericano de Daños a Pavimentos Viales, dentro de las posibles causas que producen los hundimientos, están los asentamientos de la fundación, deficiencias durante la construcción o falta de un continuo mantenimiento a los drenes. La heterogeneidad constructiva puede provocar, desde simples descensos de nivel, hasta insuficiencia de espesor o estabilidad de los materiales.

Otro tipo de falla en el pavimento encontrada en el tramo Jícara Galán – Choluteca, es el corrimiento, las cuales según el catálogo que hemos citado, las describe como distorsiones de la superficie del pavimento por desplazamiento de la mezcla asfáltica, a veces acompañados por levantamientos de material formando "cordones", principalmente laterales, o bien por desplazamiento de la capa asfáltica sobre la superficie subyacente, generalmente acompañada de un levantamiento hacia el eje

de la carretera. Típicamente puede identificarse a través de la señalización horizontal del pavimento, observando demarcación de los carriles, por efecto de corrimiento.

El Catálogo Centroamericano de Daños a Pavimentos Viales, detalla como posible causa en relación a este tipo de daño lo siguiente: los desplazamientos son ocasionados por las cargas del tránsito, actuando sobre mezclas asfálticas poco estables, ya sea por exceso de asfalto, falta de vacíos, o bien, por falta de confinamiento lateral. La inadecuada ejecución del riego de liga o imprimación no permite una adecuada adherencia entre la capa asfáltica de rodadura y la subyacente, originando mayor posibilidad de corrimiento.

Podemos resumir que en el tramo Júcaro Galán – Choluteca se presentan los siguientes porcentajes por fallas del tipo **Deformaciones Superficiales de Pavimentos**:

- Se presenta ahuellamiento con un nivel de severidad Mediana (10 – 25 mm), en un 0.70% de la longitud total del tramo en estudio.
- Se presenta daño por corrimiento, en un 0.07% del área total del tramo en estudio.
- Hay hundimientos de alta severidad en 0.02% del área total del tramo.

La presencia de fallas tipo bache a lo largo del tramo en estudio, es significativa y según lo que nos menciona el Catálogo Centroamericano de Daños a Pavimentos Viales, los baches se producen por conjunción de varias causas, entre ellas podemos mencionar: fundaciones y capas inferiores inestables, espesores insuficientes, defectos constructivos, retención de agua en zonas hundidas y/o fisuradas. La acción abrasiva del tránsito sobre sectores localizados de mayor debilidad del pavimento y/o fundación, o sobre áreas en las que se han desarrollado fisuras tipo cuero de cocodrilo, que han alcanzado un alto nivel de severidad, provoca la desintegración y posterior remoción de parte de la superficie del pavimento, originando un bache; Este tipo de falla se ubica dentro de la categoría **Desintegración en los Pavimentos Asfálticos**.

También se pudo observar la desintegración superficial de la carpeta asfáltica como consecuencia de la pérdida de ligante bituminoso y del desprendimiento del agregado pétreo, aumentando la textura del pavimento y exponiendo cada vez más los agregados a la acción del tránsito y clima, lo anterior es lo que el Catálogo Centroamericano de Daños a Pavimentos Viales describe como peladura, así mismo el catálogo cita como posibles causas para este tipo de daño lo siguiente: esta anomalía es indicativa que el ligante se ha endurecido apreciablemente, perdiendo sus propiedades ligantes, o bien que la mezcla asfáltica existente es de deficiente calidad, ya sea por un contenido de ligante insuficiente, empleo de agregados sucios o muy absorbentes, como también por deficiencias durante la construcción, especialmente en tratamientos superficiales bituminosos; frecuentemente se presenta como un desprendimiento de agregados en forma de estrías longitudinales, paralelas a la dirección del riego. El desprendimiento puede ser originado también en un proceso de descubrimiento por pérdida de adherencia entre el agregado y el asfalto, cuando actúan agentes agresivos tales como solventes y otros derivados del petróleo, e inclusive, la acción del agua (pluvial).

Podemos indicar que en el tramo Júcaro Galán – Choluteca se presentan los siguientes porcentajes por fallas del tipo **Desintegración en los pavimentos Asfálticos**:

- Existen baches de todos los niveles de severidad (B, M y A) en un 0.05% del área total del tramo en estudio.

- Existe peladura en un 0.17% del área total del tramo.

En la evaluación visual llevada a cabo para el tramo Júcaro Galán – Choluteca, también se observó que los hombros en todo el tramo están dañados en un 100%, no hay presencia de los mismos a ningún lado de la vía, por lo que el ancho de la carretera se limita únicamente al ancho de ambas trochas.

A continuación se resumen los diferentes tipos de fallas encontradas en este tramo mediante la ficha de inspección visual utilizada (Tabla No. 1)

FICHA DE INSPECCIÓN VISUAL (TABLA No. 1)

TRAMO: JÚCARO GALÁN - CHOLUTECA

38

| UBICACIÓN | | FALLAS DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS | | DIMENSIONAMIENTO POR TIPO DE FALLA |
|------------|--|------------------------------------|----------|------------------------------------|
| REFERENCIA | | TIPO DE | NIVEL DE | |

FICHA DE INSPECCIÓN VISUAL (TABLA No. 1)

TRAMO: JÍCARO GALÁN - CHOLUTECA

39

| UBICACIÓN | | FALLAS DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS | | DIMENSIONAMIENTO POR TIPO DE FALLA |
|------------|--------|------------------------------------|----------|------------------------------------|
| REFERENCIA | TROCHA | TIPO DE | NIVEL DE | |

FICHA DE INSPECCIÓN VISUAL (TABLA No. 1)

TRAMO: JÚCARO GALÁN - CHOLUTECA

40

| UBICACIÓN | | FALLAS DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS | | DIMENSIONAMIENTO POR TIPO DE FALLA |
|--------------|-----------|------------------------------------|-------------------|------------------------------------|
| DEPARTAMENTO | MUNICIPIO | TIPO DE FALLA | GRADO DE GRAVEDAD | |

SIMBOLOGÍA

| | | | |
|-----|----------------------------|------|-----------------------------|
| A.1 | FISURA PIEL DE COCODRILO | C.2 | PELADURA |
| A.2 | FISURA EN BLOQUE | C.3 | DESINTEGRACION DE BORDES |
| A.3 | FISURA EN ARCO | D.1 | EXUDACION DE ASFALTO |
| A.4 | FISURA TRANSVERSAL | D.2 | PARCHADOS Y REPARACIONES DE |
| A.5 | FISURA LONGITUDINAL | | SERVICIOS PUBLICOS |
| A.6 | FISURA POR REFLEXIÓN DE LA | B | BAJO |
| | JUNTA | M | MEDIANO |
| B.1 | AHUELLAMIENTO | A | ALTO |
| B.2 | CORRIMIENTO | L.D. | LADO DERECHO |
| B.3 | CORRUGACIÓN | L.I. | LADO IZQUIERDO |
| B.4 | HINCHAMIENTO | A.L. | AMBOS LADOS |
| B.5 | HUNDIMIENTO | H.D. | HOMBRO DERECHO |
| C.1 | BACHE | H.I. | HOMBRO IZQUIERDO |

A continuación se detalla el cuadro resumen de cantidades (Tabla No. 2)

RESUMEN DE CANTIDADES EVALUACIÓN VISUAL DEL PAVIMENTO (TABLA No. 2)

TRAMO: JÍCARO GALÁN - CHOLUTECA

| No. | CONCEPTO | UNIDAD | CANTIDAD |
|-----|---|----------------|------------|
| 1 | FISURAS LONGITUDINALES MAYORES A 6 mm | m | 455.00 |
| 2 | PIEL DE COCODRILO SEVERIDAD MEDIANO (FISURAS DE 2 - 5 mm) | m ² | 91,250.00 |
| 3 | PIEL DE COCODRILO SEVERIDAD ALTO | m ² | 323,098.00 |
| 4 | AHUELLAMIENTO NIVEL DE SEVERIDAD MEDIANO (10 - 25 mm) | m | 400.00 |
| 5 | CORRIMIENTO | m ² | 280.00 |
| 6 | FISURAS EN BLOQUE | m ² | 292.00 |
| 7 | HUNDIMIENTO DE ALTA SEVERIDAD | m ² | 80.00 |
| 8 | PELADURA | m ² | 720.00 |
| 9 | BACHE | m ² | 188.00 |
| | | | |

En términos generales se concluye que el pavimento está en malas condiciones, reflejando una capa asfáltica totalmente deteriorada y envejecida.

3.4 RESULTADOS DE RUGOSIDAD

Los resultados de la rugosidad determinada cada 100 m y acumulada por cada km, se presenta en el **ANEXO 2**; el Índice de Rugosidad característico para el lado derecho es de 2.414 m/km, es decir que el 95% del lado derecho de la carretera experimenta un valor igual o menor a este valor.

El Índice de Rugosidad característico para el lado izquierdo es de 2.654 m/km, es decir que el 95% del lado izquierdo de la carretera experimenta un valor igual o menor a este valor.

| LADO DERECHO | |
|---------------------|--------------|
| IRI PROMEDIO= | 2.812 |
| DESV STD= | 0.993 |
| IRI CARACTERISTICO= | 4.445 |

| LADO IZQUIERDO | |
|---------------------|--------------|
| IRI PROMEDIO= | 2.590 |
| DESV STD= | 0.945 |
| IRI CARACTERISTICO= | 4.145 |

Los datos de rugosidad obtenida son congruentes con la condición que presenta la estructura de pavimento existente, y considerando que dicha estructura tiene alrededor de 20 años de servicio solamente con mantenimientos de emergencia en épocas donde la zona recibe mayor número de turistas _Semana Santa_ , esta condición es indicativo que la vía podría tener una vida residual

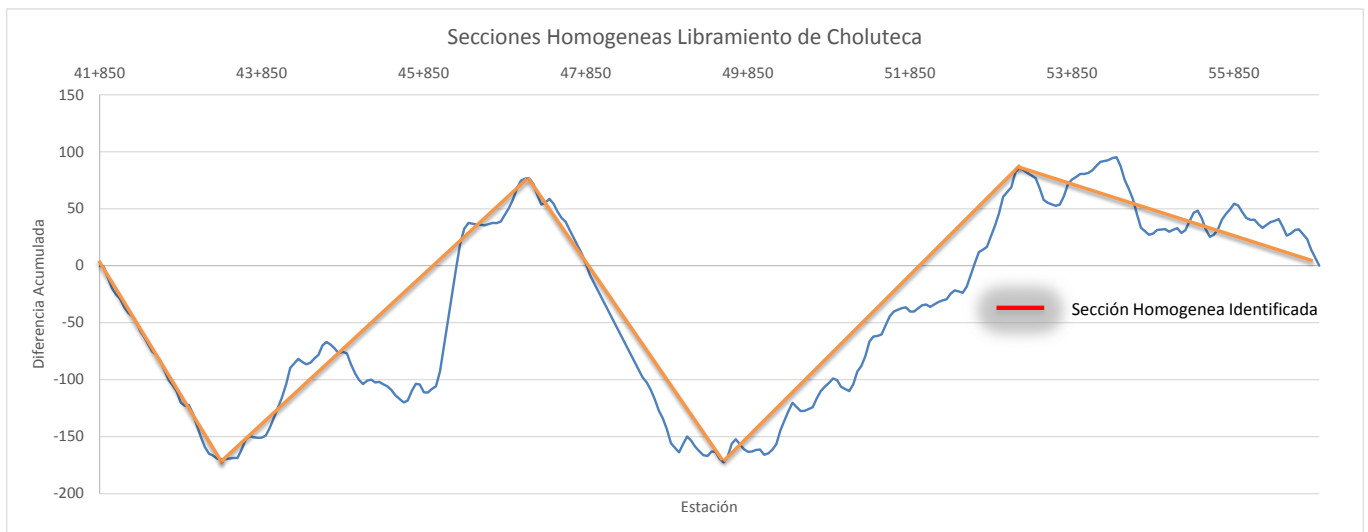
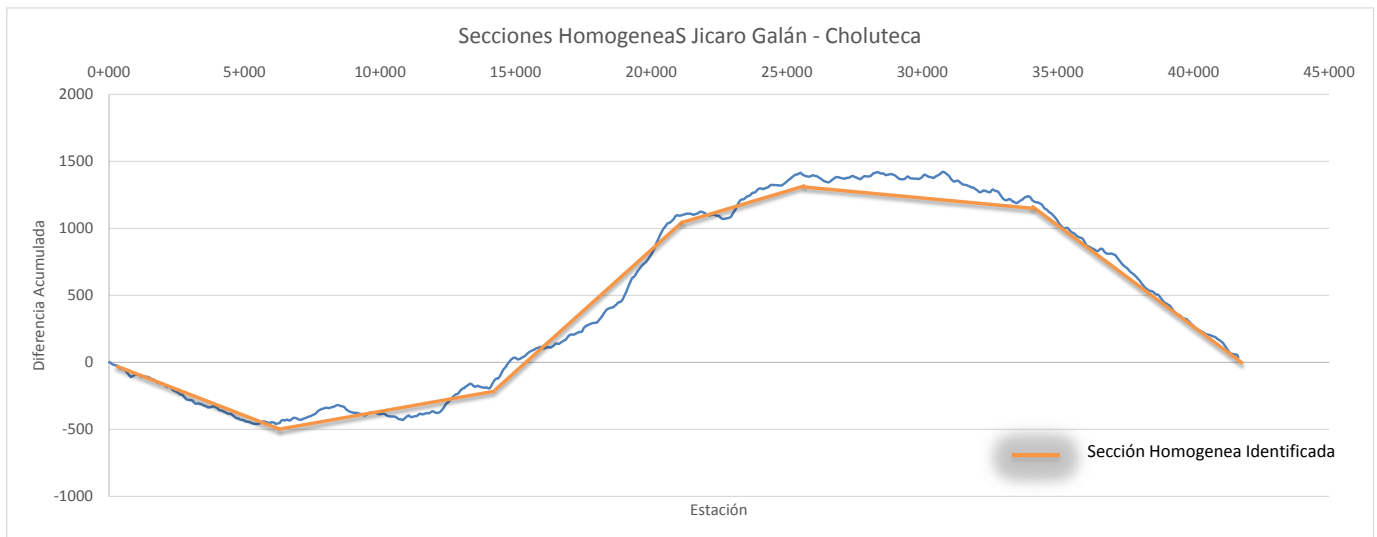
reducida, lo que podría incrementar la inversión para esta rehabilitación en relación con el tramo Jícara Galán – El Amatillo.

Nota Importante: Los datos de rugosidad presentados en este informe, corresponden a las mediciones realizadas por esta firma consultora; sin embargo los datos utilizados en la evaluación económica corresponden a valores de rugosidad suministrados por INSEP. Esto fue así a solicitud del contratante.

3.5 UNIDADES HOMOGENEAS

3.5.1 DEFLECTOMETRIA.

Se realizó una primera valoración para determinar las secciones de comportamiento homogéneo de acuerdo al numeral 2.3, utilizando la deflexión central d1; encontrando la siguiente sub división de tramos:



El cálculo de estas secciones se muestra en el ANEXO 3.1 y 3.2.

3.5.2 CONDICIONES CLIMATICAS Y DE TRANSITO

El tramo de diseño se encuentra en su totalidad en una zona de clima homogéneo, por lo cual no se considera esta variable en la definición de secciones de diseño.

En cuanto al variable tráfico coincidió su sub división con la sub división de la deflexión central (d1).

3.5.3 AUSCULTACION VISUAL DE FALLAS

Al Tramo Jícara Galán – Choluteca no se le realizó una sub división de secciones homogéneas en base a esta variable ya que las fallas son generales en toda la longitud.

El Libramiento de la ciudad de Choluteca, se creó una sección adicional (Sección Homogénea 9) correspondiente al tramo donde inicia y finaliza las aproximaciones al puente Sol Naciente, ya que se quería estudiar si la rehabilitación realizada que se pudo observar, tiene efectos en el diseño propuesto.

3.5.4 ESTRATIGRAFIA

No se considera esta variable ya que la misma se refleja implícitamente en la deflexión central.

3.5.5 UNIDADES DE DISEÑO FINALES

Considerando las variables deflexión central (d1) y el tráfico; se definen las siguientes secciones de diseño:

| SECCION HOMOGENEA | TRAMO |
|------------------------------|--------------------------|
| <i>Sección 1</i> | <i>(0+000 – 5+050)</i> |
| <i>Sección 2</i> | <i>(5+050 - 10+000)</i> |
| <i>Sección 3</i> | <i>(10+000 - 14+000)</i> |
| <i>Sección 4</i> | <i>(14+000 - 25+600)</i> |
| <i>Sección 5</i> | <i>(25+600 - 34+150)</i> |
| <i>Sección 6</i> | <i>(34+150 - 41+800)</i> |
| <i>Sección 7</i> | <i>(41+850 - 43+350)</i> |
| <i>Sección 8</i> | <i>(43+350 - 47+540)</i> |
| <i>Sección 9</i> | <i>(47+540 - 48+900)</i> |
| <i>Sección 10</i> | <i>(48+900 - 49+550)</i> |
| <i>Sección 11</i> | <i>(49+550 - 53+250)</i> |
| <i>Sección 12</i> | <i>(53+250 - 56+900)</i> |

3.6 EVALUACION DEFLECTOMETRICA

3.6.1 ANÁLISIS DEL BULBO DE ESFUERZOS.

De acuerdo a lo propuesto por AASTO en la guía de diseño para estructuras de pavimento (1993), la deflexión empleada para retro calcular el módulo de la sub rasante debe ser medida lo suficientemente lejos, de tal modo que provea un estimativo del módulo de sub rasante, independientemente de los efectos de cualquiera de las capas por encima de esta, pero también debe estar lo suficientemente cerca, de tal modo que no sea muy pequeña e impida una medición precisa. La mínima distancia debe determinarse siguiendo la siguiente relación;

$$r \geq 0.7a_e$$

$$a_e = \sqrt{a^2 + \left(D^3 \sqrt{\frac{E_p}{M_r}} \right)^2}$$

Dónde:

r : Distancia desde el centro de plato de carga.

ae : Radio del bulbo de esfuerzos en la interface estructura-subrasante, pulgadas

a : Radio del plato de carga del deflectómetro, pulgadas

D : Espesor de las capas del pavimento, pulgadas

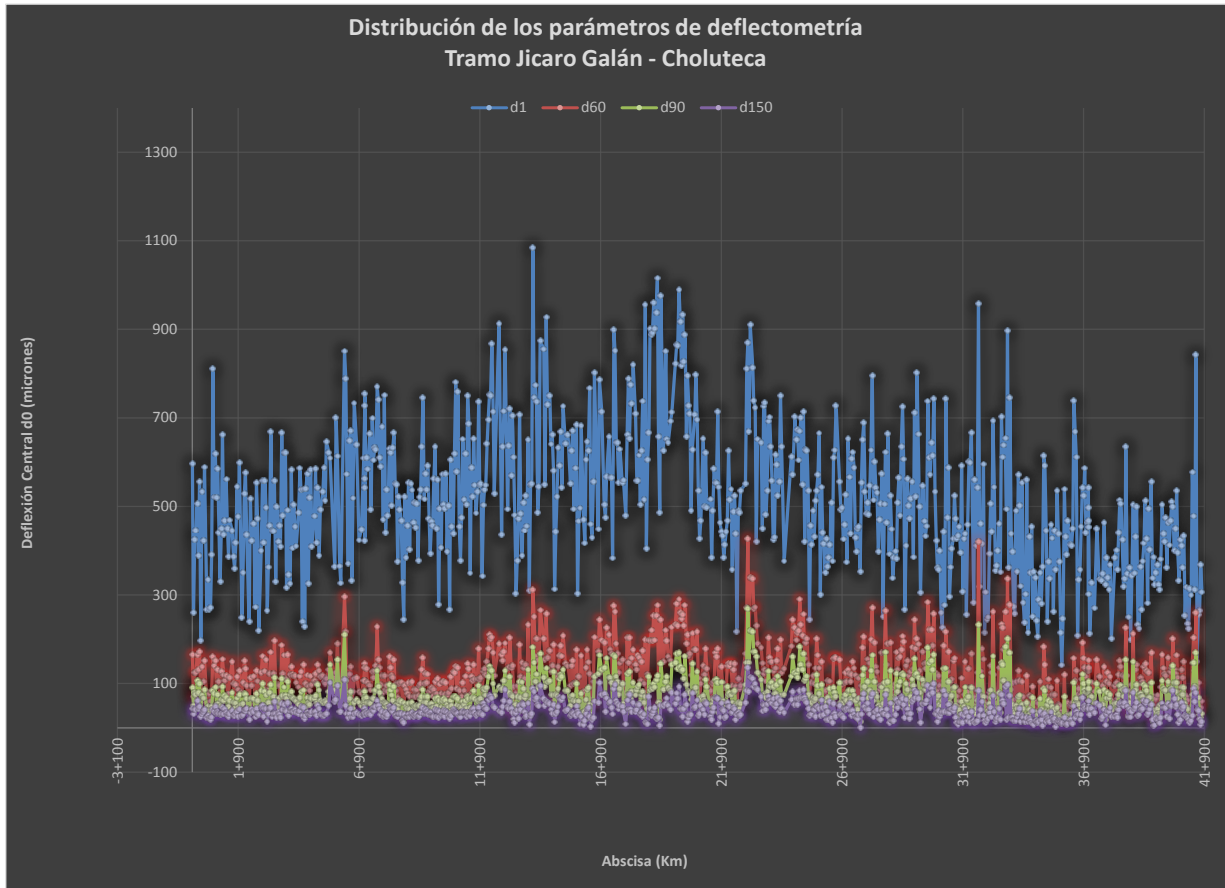
Ep : Modulo efectivo de todas las capas del pavimento por encima de la subrasante, psi

Aplicando la relación descrita anteriormente, se realizó un proceso iterativo con varios geófonos para que todos los ensayos realizados en el tramo Jícara Galán Choluteca cumplan con la misma. Se encontró que con el geófono d5 a 60 cm el 85.2% de los valores retro calculados cumplen con la relación propuesta y el 14.7% cumplen dicha relación con el geófono d6 a 90 cm y el restante 1% cumple la relación utilizando el geófono d7 a 150 cm; obteniendo así un retrocálculo de módulos que cumple en 100% la relación propuesta por AASHTO.

| | | |
|---------------------|-----|-------|
| Geofono d5 60 cm | 657 | 85.2% |
| Geofono d6 a 90 cm | 113 | 14.7% |
| Geofono d7 a 150 cm | 1 | 0.1% |

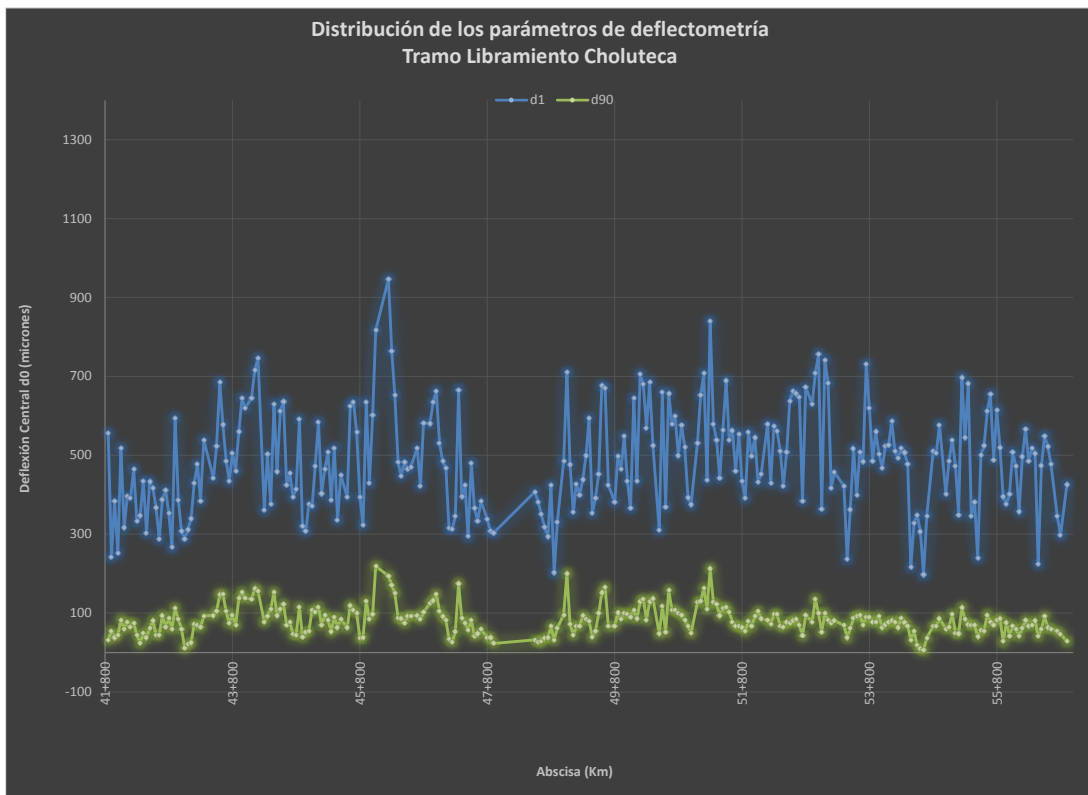
Para el tramo del libramiento se evaluó la sub rasante con el geófono d6 a 90 cm 100% de los datos; el geófono d5 a 60 cm no fue utilizado porque el espesor total de la estructura es de 61 cm.

3.6.2 RESULTADO DE LAS MEDICIONES DE DEFLEXIONES



El gráfico anterior, muestra el perfil longitudinal de la deflexión central (d1) y la deflexión utilizada para medir la subrasante (d60, d90 y d150), en el tramo Jícara Galán - Choluteca, según se cumpla la relación descrita en el apartado anterior; y los rangos de variación de cada deflexión.

De igual forma se muestra en el siguiente gráfico la distribución para el tramo del Libramiento de Choluteca.



Los resultados de las mediciones de cada sensor se presentan en el anexo 4.1 y 4.2

3.6.3 NORMALIZACION DE LAS DEFLEXIONES POR CARGA

Se realizó una corrección por carga a todas las deflexiones normalizando las mismas de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$d_i = d_{io} * \frac{Pr}{P_0}$$

Dónde:

d_i : Deflexión del sensor i, corregido a la carga Pr .

d_0 : Deflexión del sensor i, medida en el campo con la carga de aplicación P_0 .

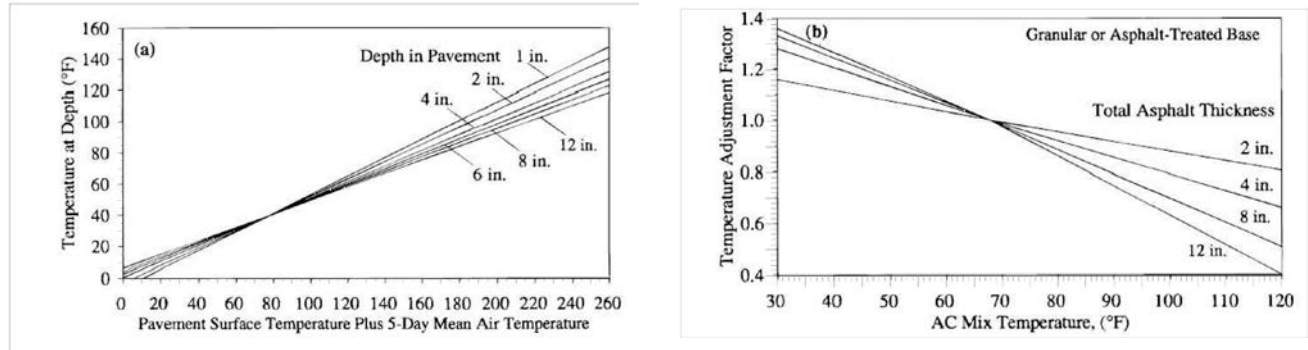
Pr : Carga de normalización (40kn)

P0: Carga aplicada en las mediciones de campo en kn.

Los resultados de esta normalización de deflexiones por carga se presentan en el anexo 1.

3.6.4 NORMALIZACION DE LAS DEFLEXIONES POR TEMPERATURA

Se realizó una corrección por temperatura del sensor d_0 , para corregir el efecto de la temperatura en la superficie del pavimento; a tal efecto se utilizaron los ábacos de la



guía de diseño AASHTO 93, para estandarizar las mediciones a una temperatura de referencia de 20 °C.

La metodología de corrección por temperatura se realizó en tramos de 4 km; la misma consistió en promediar la temperatura de la superficie del pavimento en cada tramo de 4 km y se le sumó el promedio de la temperatura de los últimos 5 días; esta temperatura se utilizó el ábaco (a) de acuerdo al espesor de la capa asfáltica y se encontró la temperatura de la capa asfáltica.

Con la temperatura de la capa asfáltica se utilizó el ábaco (b) para encontrar el factor de corrección por temperatura utilizado.

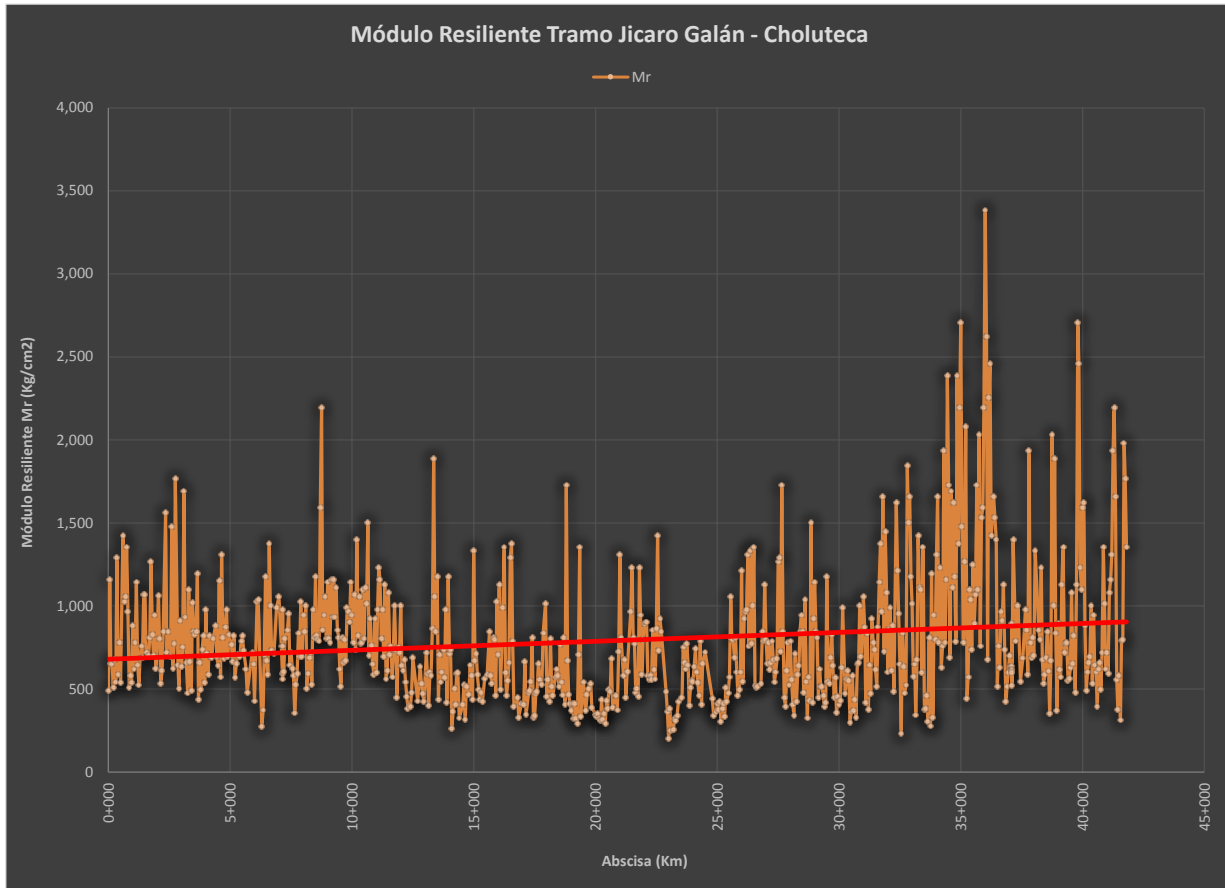
Se muestra a continuación el cuadro resumen de corrección por temperatura para el tramo Jícara Galán – Choluteca incluyendo el Libramiento:

| Estacion Inicial | Estacion Final | Espesor de CA (pulg) | °C | T aire prom | Suma °C | Suma °F | T. Capa °F | Factor de correccion por temperatura |
|------------------|----------------|----------------------|----|-------------|---------|---------|------------|--------------------------------------|
| 0+000 | 4+000 | 4 | 45 | 33 | 78 | 172 | 88 | 0.875 |
| 4+000 | 8+000 | 3 | 49 | 33 | 82 | 180 | 95 | 0.9 |
| 8+000 | 12+000 | 2 | 53 | 33 | 86 | 187 | 100 | 0.88 |
| 12+000 | 16+000 | 2 | 56 | 33 | 89 | 192 | 104 | 0.87 |
| 16+000 | 20+000 | 2 | 60 | 33 | 93 | 199 | 107 | 0.86 |
| 20+000 | 24+000 | 2 | 62 | 33 | 95 | 203 | 110 | 0.85 |
| 24+000 | 28+000 | 2 | 62 | 33 | 95 | 203 | 110 | 0.85 |
| 28+000 | 32+000 | 2 | 60 | 33 | 93 | 199 | 107 | 0.86 |
| 32+000 | 36+000 | 2 | 59 | 33 | 92 | 198 | 106 | 0.86 |
| 36+000 | 41+800 | 2 | 53 | 33 | 86 | 187 | 100 | 0.88 |
| 41+850 | 45+850 | 2 | 55 | 33 | 88 | 190 | 102.5 | 0.875 |
| 45+850 | 49+850 | 2 | 56 | 33 | 89 | 192 | 104 | 0.87 |
| 49+850 | 53+850 | 2 | 55 | 33 | 88 | 190 | 102.5 | 0.875 |
| 53+850 | 56+900 | 2 | 54 | 33 | 87 | 187 | 101 | 0.88 |

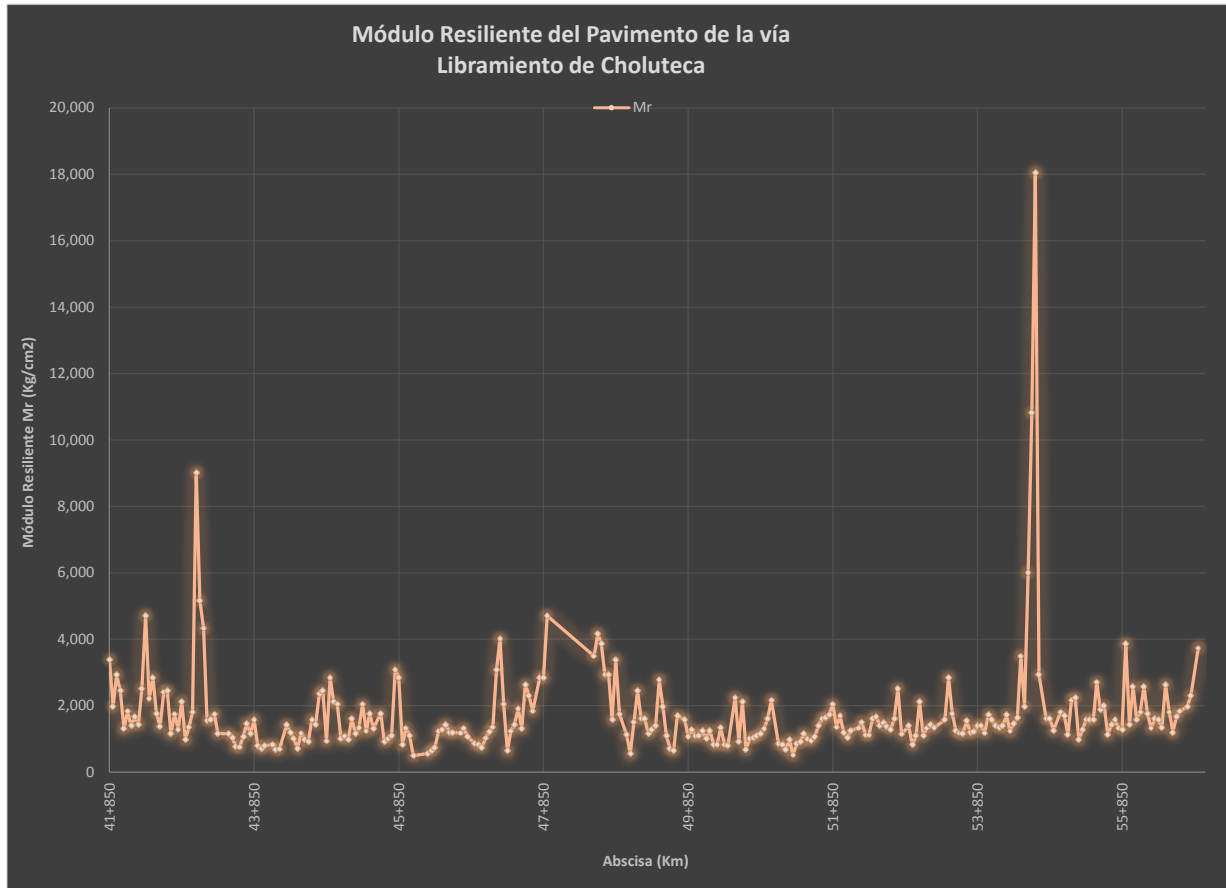
El cuadro anterior muestra los factores de corrección para el sensor d1, los cuales varían de 0.85 a 0.90.

3.7 MODULO RESILIENTE

De acuerdo con la metodología AASHTO 93, planteada en el numeral 2.5.2 se presenta a continuación un gráfico de los resultados obtenidos para el módulo resiliente de diseño.



El grafico anterior se concluye que los módulos retro calculados para el tramo Jícara Galán - Choluteca varían entre 3,384 kg/cm^2 y 201 kg/cm^2 con un promedio de 793 kg/cm^2 ; estos valores corresponden a los módulos retro calculados con modificación por el coeficiente C.

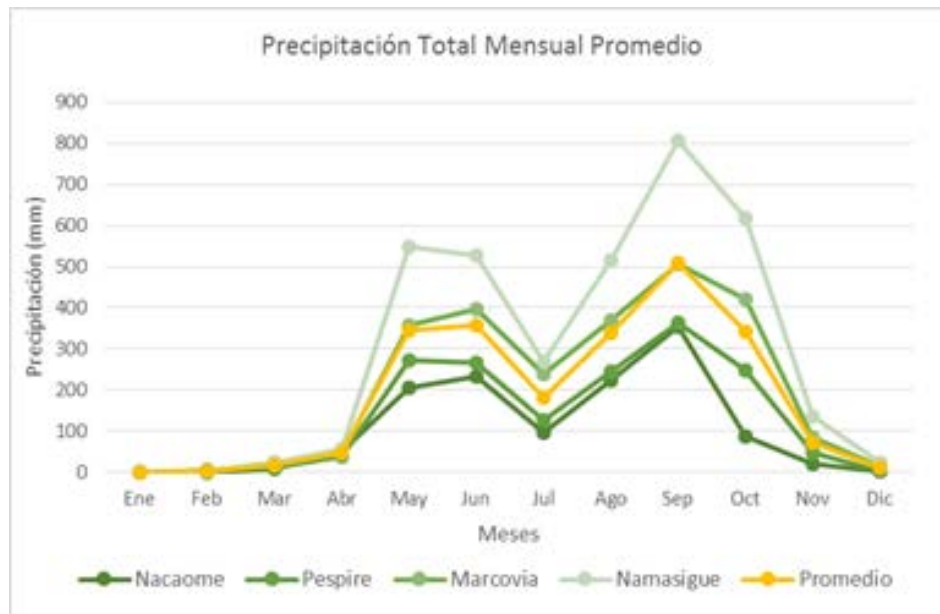


El grafico anterior se concluye que los módulos retro calculados para el tramo Libramiento de Choluteca varían entre $9,025 \text{ kg/cm}^2$ y 247 kg/cm^2 con un promedio de 872 kg/cm^2 ; estos valores corresponden a los módulos retro calculados con modificación por el coeficiente C.

De acuerdo al método AASHTO, para módulos de resiliencia obtenidos a partir de estudios deflectométricos, se utiliza un factor de corrección (**C**) de 0.33 a 1.2; para este diseño se determinó el factor de corrección $C= 0.72$ de acuerdo al siguiente análisis:

3.7.1 COEFICIENTE C UTILIZANDO RELACION DE CBR Y MODULOS RETROCALCULADOS.

Para definir el valor del coeficiente de corrección del módulo resiliente se reconstruyo una variación estacional de módulos resilientes, en base a la variación estacional de la precipitación de la zona de acuerdo al gráfico y conclusiones siguientes:



El estudio Hidrológico concluye que existe una marcada estación seca, de Noviembre a Abril, con una precipitación máxima promedio de 70.0 mm.; de Mayo a Octubre la precipitación máxima promedio es de 500.0 mm., teniendo el fenómeno de canícula en Julio, y una precipitación máxima en Septiembre.

Por otra parte para la reconstrucción de la variación estacional de módulos se fijó un valor mínimo correspondiente a un CBR de 3% cuyo módulo resiliente sería de 6, 000 psi, de acuerdo a la ecuación AASHTO 93, ($M_r = 1500 \times \text{CBR}$); por otra parte se fijó un valor máximo producto del promedio de retrocálculo de módulos de la sub rasante; este valor máximo corresponde a 1,587 kg/cm² o 22,572 psi.

Posteriormente para afinar el cálculo se promediaron los módulos de las fronteras de meses secos y lluviosos y se obtuvo una variación estacional de módulos a la cual se calculó el daño relativo que propone el método de diseño de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$U_f = 1.18 \times 10^8 \times M_r^{-2.32}$$

| MES | Clima | Mr Sub Rasante | Daño Relativo Uf |
|-----------------|--------|----------------|--------------------|
| Enero | Seca | 22567.14 | 0.009371659 |
| Febrero | Seca | 22567.14 | 0.009371659 |
| Marzo | Seca | 22567.14 | 0.009371659 |
| Abril | Seca | 22567.14 | 0.009371659 |
| Mayo | Humedo | 14283.57 | 0.027080751 |
| Junio | Humedo | 6000.00 | 0.202568124 |
| Julio | Humedo | 10141.79 | 0.059937221 |
| Agosto | Humedo | 6000.00 | 0.202568124 |
| Septiembre | Humedo | 6000.00 | 0.202568124 |
| Octubre | Humedo | 6000.00 | 0.202568124 |
| Noviembre | Seca | 14233.80 | 0.027300941 |
| Diciembre | Seca | 22467.60 | 0.009468267 |
| Promedio | | | 0.080962193 |

Seguidamente se interpoló el valor de módulo resiliente que corresponde al promedio de daño relativo calculado encontrando que dicho valor de módulo resiliente es de 16, 428.05048 psi; siendo este el valor con que se debe relacionar el modulo promedio encontrado para cada sección homogénea encontrando que los valores de C pueden variar de 0.996 a 0.536 y un promedio de 0.743 tal como se muestra en el siguiente cuadro:

| SECCION HOMOGENEA JICARO G. - CHOLUTeca | ESTACION INICIAL | ESTACION FINAL | Mr medio Kg/vm2 | Mr Medio PSI | C |
|--|------------------|-------------------|-----------------------|-----------------|--------------|
| 1 | 0+000 | 5+050 | 1622.64 | 23073.8809 | 0.712 |
| 2 | 5+050 | 10+000 | 1628.45 | 23156.5352 | 0.709 |
| 3 | 10+000 | 14+000 | 1551.56 | 22063.2228 | 0.745 |
| 4 | 14+000 | 25+600 | 1159.65 | 16490.2103 | 0.996 |
| 5 | 25+600 | 34+150 | 1522.01 | 21642.9691 | 0.759 |
| 6 | 34+150 | 41+800 | 2154.84 | 30641.822 | 0.536 |
| Promedio | | | | | 0.743 |

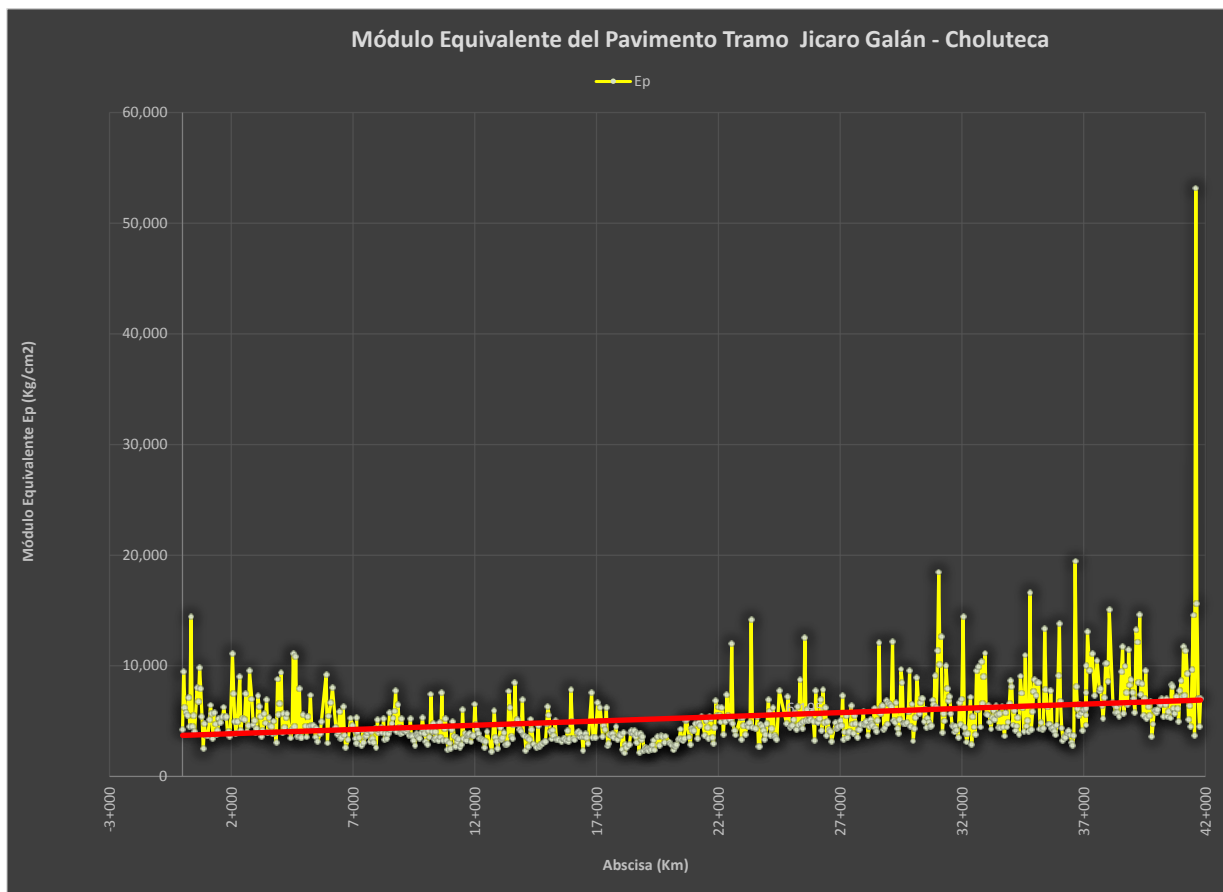
Finalmente se utilizó un coeficiente de C=0.50 para valores de módulos más conservadores.

Se detallan los resultados de módulo resiliente de diseño promedio de cada sección homogénea.

| SECCION HOMOGENEA | TRAMO | Mr (Kg/cm ²) |
|----------------------|-------------------|--------------------------|
| Sección 1 | (0+000 – 5+050) | 821 |
| Sección 2 | (5+050 - 10+000) | 815 |
| Sección 3 | (10+000 - 14+000) | 777 |
| Sección 4 | (14+000 - 25+600) | 587 |
| Sección 5 | (25+600 - 34+150) | 763 |
| Sección 6 | (34+150 - 41+800) | 1,076 |
| Sección 7 | (41+850 - 43+350) | 1,188 |
| Sección 8 | (43+350 - 47+540) | 663 |
| Sección 9 | (47+540 - 48+900) | 1,420 |
| Sección 10 | (48+900 - 49+550) | 772 |
| Sección 11 | (49+550 - 53+250) | 632 |
| Sección 12 | (53+250 - 56+900) | 1,090 |

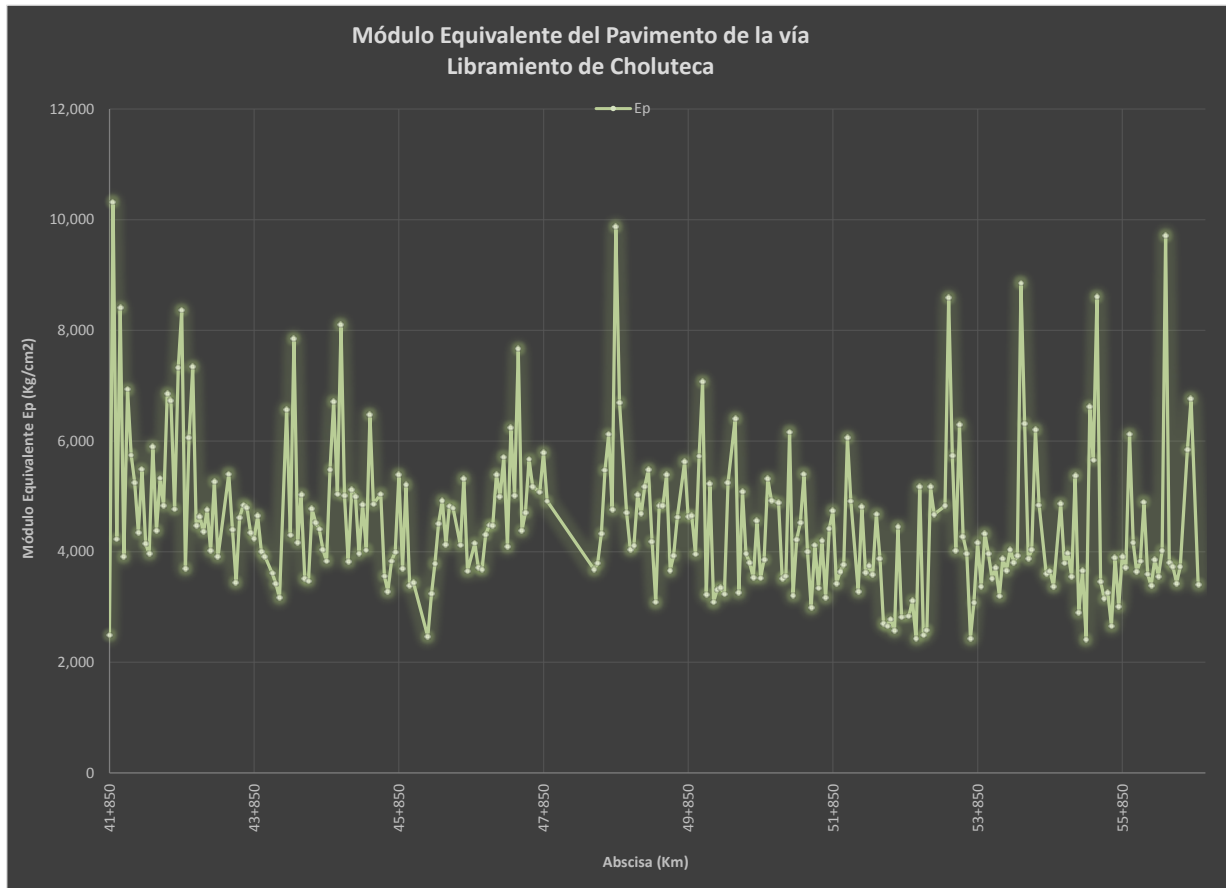
3.8 MODULO EQUIVALENTE DE LA ESTRUCTURA

De acuerdo con la metodología AASHTO 93, planteada en el numeral 2.5.3 se presenta a continuación un gráfico de los resultados obtenidos para el módulo equivalente de la estructura.



El grafico anterior se concluye que los módulos equivalentes retro calculados para el tramo Jícara Galán – Choluteca, varían entre 53,165 kg/cm² y 2,114 kg/cm² con un promedio de 5,339 kg/cm² para todo el tramo.

Para el libramiento de Choluteca se muestra el siguiente cuadro:



El grafico anterior se concluye que los módulos equivalentes retro calculados para el tramo Libramiento de Choluteca, varían entre 10,317 kg/cm² y 2,415 kg/cm² con un promedio de 4,543 kg/cm².

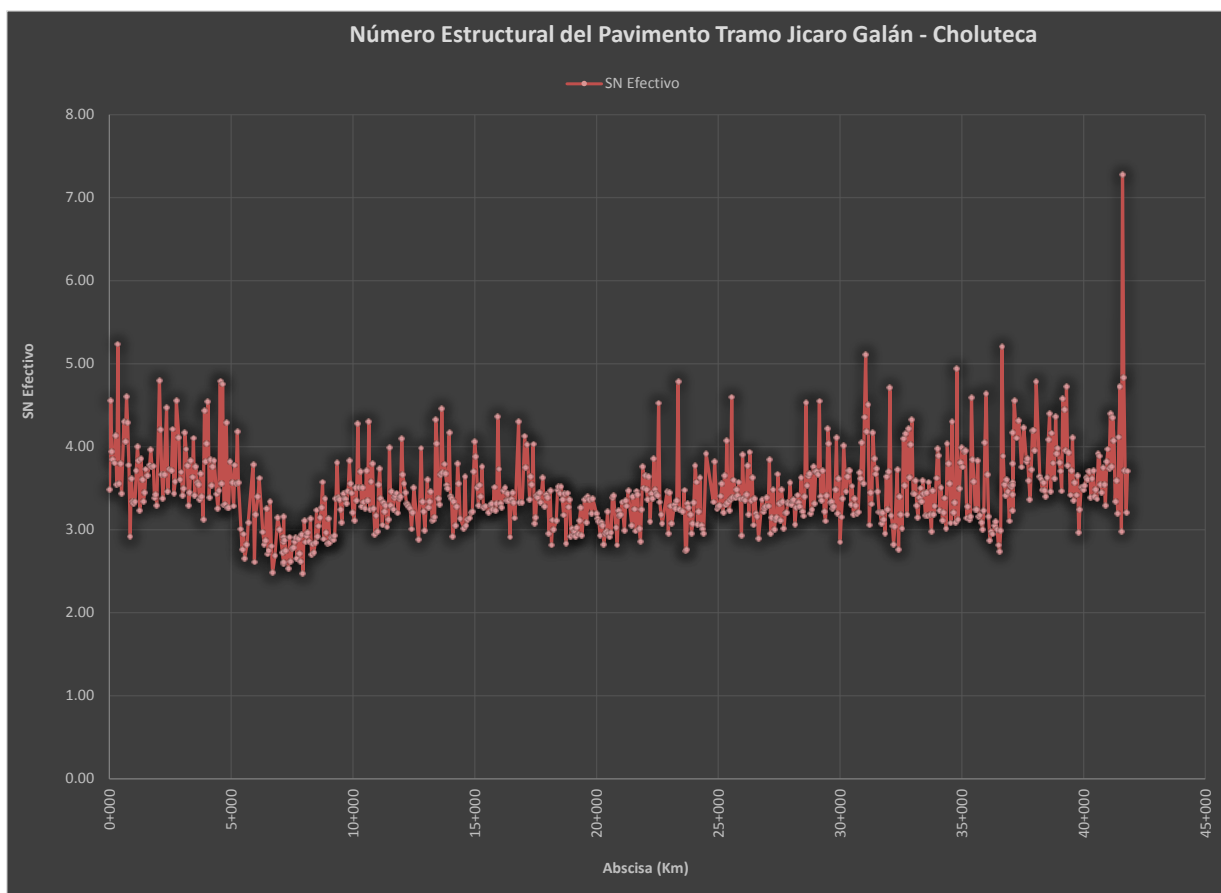
Se detallan los
módulo
diseño promedio
sección

| SECCION HOMOGENEA | TRAMO | Ep (Kg/cm²) |
|------------------------------|--------------------------|-------------------------------|
| Sección 1 | (0+000 – 5+050) | 5,556 |
| Sección 2 | (5+050 - 10+000) | 4,303 |
| Sección 3 | (10+000 - 14+000) | 4,018 |
| Sección 4 | (14+000 - 25+600) | 4,221 |
| Sección 5 | (25+600 - 34+150) | 5,792 |
| Sección 6 | (34+150 - 41+800) | 7,414 |
| Sección 7 | (41+850 - 43+350) | 5,426 |
| Sección 8 | (43+350 - 47+540) | 4,464 |
| Sección 9 | (47+540 - 48+900) | 5,362 |
| Sección 10 | (48+900 - 49+550) | 4,630 |
| Sección 11 | (49+550 - 53+250) | 4,093 |
| Sección 12 | (53+250 - 56+900) | 4,385 |

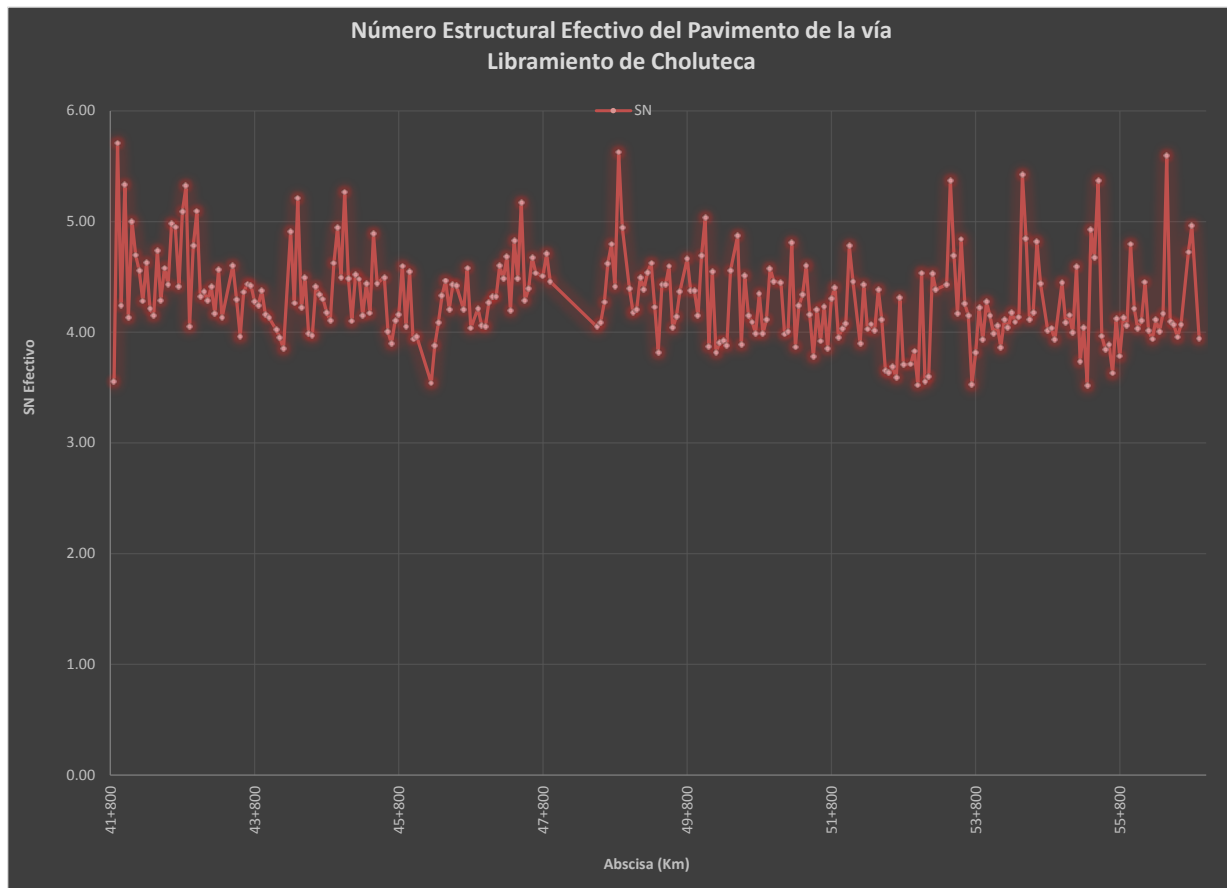
resultados de
equivalente de
de cada
homogénea.

3.9 NUMERO ESTRUCTURAL EFECTIVO

De acuerdo con la metodología AASHTO 93, planteada en el numeral 2.5.4 se presenta a continuación un gráfico de los resultados obtenidos para el número estructural efectivo o remanente.



El grafico anterior se concluye que el número estructural efectivo del tramo Jícara Galán – Choluteca, varía entre 7.27 y 2.47 con un promedio de 3.5; el valor de Sn efectivo utilizado en cada sección homogénea corresponde al percentil 15, ya que se está diseñando para que el 85% de los valores encontrados este por encima del valor de Sn efectivo encontrado. Se detallan los resultados de módulo equivalente de diseño promedio de cada sección homogénea.



El grafico anterior se concluye que el número estructural efectivo del tramo Libramiento de Choluteca, varía entre 5.71 y 3.52 con un promedio de 4.3; el valor de Sn efectivo utilizado en cada sección homogénea corresponde al percentil 15, ya que se está diseñando para que el 85% de los valores encontrados este por encima del valor de Sn efectivo encontrado. Se detallan los resultados de módulo equivalente de diseño promedio de cada sección homogénea.

Se presentan a continuación, los números estructurales de cada sección homogénea:

| SECCION HOMOGENEA | TRAMO | Sn Efectivo |
|------------------------------|--------------------------|--------------------|
| Sección 1 | (0+000 – 5+050) | 3.37 |
| Sección 2 | (5+050 - 10+000) | 2.72 |
| Sección 3 | (10+000 - 14+000) | 3.16 |
| Sección 4 | (14+000 - 25+600) | 3.01 |
| Sección 5 | (25+600 - 34+150) | 3.16 |
| Sección 6 | (34+150 - 41+800) | 3.16 |
| Sección 7 | (41+850 - 43+350) | 4.16 |
| Sección 8 | (43+350 - 47+540) | 4.00 |
| Sección 9 | (47+540 - 48+900) | 4.27 |
| Sección 10 | (48+900 - 49+550) | 4.36 |
| Sección 11 | (49+550 - 53+250) | 3.82 |
| Sección 12 | (53+250 - 56+900) | 3.93 |

3.10 RETROCALCULO DE MODULOS CON ANALISIS MECANISISTA

Se realizó un retro cálculo de módulos de la estructura de pavimento actual, utilizando la teoría elástica multicapa (Odemarks – Boussinesq); sobre todo para conocer el módulo dinámico de la capa asfáltica actual y poder utilizar este valor como de referencia en el diseño de rehabilitación;

Los valores de módulo dinámico obtenidos en el retro cálculo mecanicista varían entre 17,041 Mpa a 4,932 Mpa (2, 471,626.64 psi a 715,337.28 psi); estos valores de módulo dinámico de la capa asfáltica son indicativos del envejecimiento de la misma.

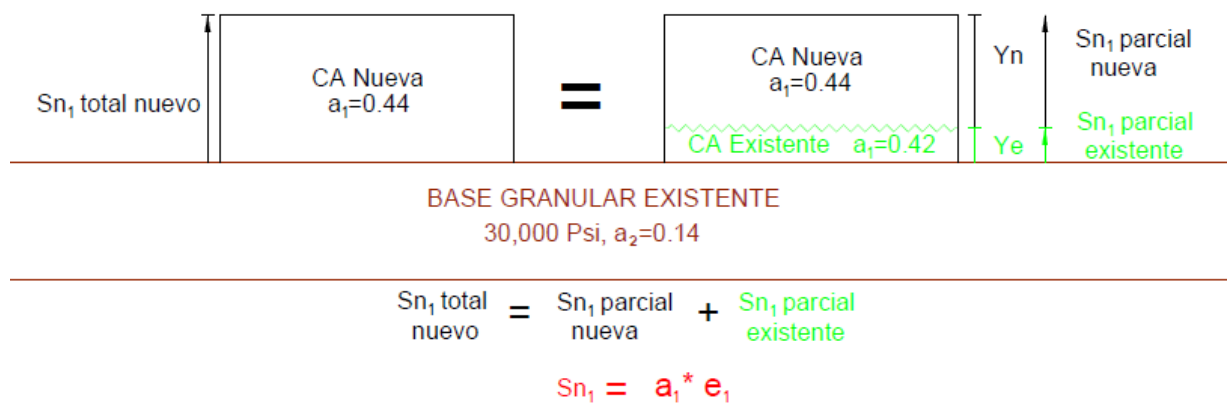
El anexo 5 muestra el retrocálculo de módulo de las capas de la estructura de pavimento.

3.11 BASES DEL CÁLCULO Y EJEMPLO TIPO PARA PAVIMENTO FLEXIBLE

3.11.1 CONCEPTO DE REHABILITACION.

Para la rehabilitación del tramo Júcaro Galán Choluteca y Libramiento Choluteca, se propone realizar un fresado de la capa asfáltica existente en un espesor variable de 3 cm a 1 cm, con el propósito de aprovechar parte del aporte estructural de la capa asfáltica existente. El propósito del fresado es corregir las deformaciones existentes y retirar el espesor de capa asfáltica más intemperizado; por otra parte se deberá realizar un bacheo, sellado de grietas y reparación de las fallas de pavimentos que se reflejen en la capa asfáltica después de fresada, para finalmente proceder a colocar el espesor que corresponde para que sumado al espesor asfáltico existente después del fresado, sea capaz de proteger de la fatiga la capa de base granular.


Se adjunta detalle del concepto descrito:



3.11.2 CÁLCULO DEL NÚMERO ESTRUCTURAL FUTURO PARA LOS PRIMEROS 10 AÑOS.

Este valor representa el número estructural total que debe tener la estructura de pavimento para proteger la sub rasante de la fatiga; está en función del número de ejes equivalentes de 18,000 psi, las variables generales para pavimento flexibles descritas en el numeral 2.5.1 y el valor de módulo resiliente de la sub rasante.

Ejemplo de SN Futuro para la sección homogénea 1 (0+000 - 5+050)



The screenshot shows the 'Ecuación AASHTO 93' software window. It contains several input fields and buttons. The 'Tipo de Pavimento' section has 'Pavimento flexible' selected. The 'Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)' section shows '80 % Zr=-0.841' and 'So = 0.44'. The 'Serviciabilidad inicial y final' section shows 'PSI inicial = 4.2' and 'PSI final = 2.5'. The 'Módulo resiliente de la subrasante' section shows 'Mr = 11687 psi'. The 'Información adicional para pavimentos rígidos' section has empty fields for 'Módulo de elasticidad del concreto - Ec (psi)', 'Módulo de rotura del concreto - Sc (psi)', 'Coeficiente de transmisión de carga - (J)', and 'Coeficiente de drenaje - (Cd)'. The 'Tipo de Análisis' section has 'Calcular SN' selected, with 'W18 = 16129934' entered. The 'Número Estructural' section shows 'SN = 4.26'. At the bottom, there are 'Calcular' and 'Salir' buttons.

Con la confiabilidad, desviación estándar y serviciabilidad Indicadas, así como un módulo resiliente de 11,687 psi y un ejes equivalentes de diseño de 16, 129934 el número estructural futuro total que requiere la sección homogénea 1 es de 4.26.

Se realizó un cálculo similar para cada sección homogénea obteniendo los siguientes resultados.

| SECCION HOMOGENEA | TRAMO | W18 1ra. Decada | Mr sub rasante PSI | SN Futuro |
|----------------------|-------------------|--------------------|-----------------------|-----------|
| Sección 1 | (0+000 – 5+050) | 1.6129934E+07 | 11,677 | 3.37 |
| Sección 2 | (5+050 - 10+000) | 1.6129934E+07 | 16,677 | 2.72 |
| Sección 3 | (10+000 - 14+000) | 1.5370248E+07 | 15,889 | 3.16 |
| Sección 4 | (14+000 - 25+600) | 1.5370248E+07 | 11,876 | 3.01 |
| Sección 5 | (25+600 - 34+150) | 1.5370248E+07 | 15,587 | 3.16 |
| Sección 6 | (34+150 - 41+800) | 1.5370248E+07 | 22,067 | 3.16 |
| Sección 7 | (41+850 - 43+350) | 5.248815E+06 | 24,334 | 4.16 |
| Sección 8 | (43+350 - 47+540) | 5.248815E+06 | 12,794 | 4.00 |
| Sección 9 | (47+540 - 48+900) | 5.248815E+06 | 22,484 | 4.27 |
| Sección 10 | (48+900 - 49+550) | 5.248815E+06 | 12,912 | 4.36 |
| Sección 11 | (49+550 - 53+250) | 5.248815E+06 | 22,321 | 3.82 |
| Sección 12 | (53+250 - 56+900) | 5.248815E+06 | 22,321 | 3.93 |

Se observa que el SN Futuro que requiere la carretera para los primeros 10 años varía según cada sección entre 2.72 y 4.36.

3.11.3 . CÁLCULO DEL SN AGREGADO PARA LOS PRIMEROS 10 AÑOS.

Este valor es la diferencia entre el SN Futuro y el Sn efectivo encontrado en el retrocálculo y presentado en el numeral; es el número estructural que se requiere agregar para que la estructura soporte la demanda de ejes equivalentes de diseño en cada sección homogénea.

$$Sn_{\text{agregado}} = SN_{\text{total}} - Sn_{\text{efectivo}}$$

 Ejemplo de Calculo Sn Agregado para la sección homogénea 1 (0+000 - 5+050)

$$Sn_{\text{agregado}} = 4.26 - 3.37 = 0.89$$

Se requiere agregar una diferencia de número estructural de 0.326 para equilibrar el número estructural actual de la carretera con el que se demanda en función del tráfico de 10 años.

Se presentan los resultados del resto de las secciones homogéneas.

| SECCION HOMOGENEA | TRAMO | SN Agregado |
|------------------------------|--------------------------|--------------------|
| Sección 1 | (0+000 – 5+050) | 0.89 |
| Sección 2 | (5+050 - 10+000) | 1.56 |
| Sección 3 | (10+000 - 14+000) | 1.15 |
| Sección 4 | (14+000 - 25+600) | 1.75 |
| Sección 5 | (25+600 - 34+150) | 1.22 |
| Sección 6 | (34+150 - 41+800) | 0.67 |
| Sección 7 | (41+850 - 43+350) | -1.06 |
| Sección 8 | (43+350 - 47+540) | -0.05 |
| Sección 9 | (47+540 - 48+900) | -1.38 |
| Sección 10 | (48+900 - 49+550) | -1.17 |
| Sección 11 | (49+550 - 53+250) | 0.12 |
| Sección 12 | (53+250 - 56+900) | -0.80 |

Para el tramo Jícara Galán - Choluteca (secciones 1 a 6) se requiere agregar números estructurales entre 0.67 y 1.56; asimismo se observa que para el Libramiento de Choluteca no se requiere agregar número estructural ya que el existente es mayor que el que se requiere para los próximos 10 años.

3.11.4 CÁLCULO DE ESPESORES DE CAPA ASFÁLTICA PARA EQUILIBRAR EL NÚMERO ESTRUCTURAL FUTURO EN LOS PRIMEROS 10 AÑOS.

Con la ecuación general de numero estructural $S_n_{agregado} = a_1 * e$ donde,

a_1 , es el coeficiente estructural de la mezcla asfáltica y

e , es el espesor que se desea encontrar e pulgadas.

El coeficiente estructural se encontró con la ecuación definida por AASHTO en función del módulo dinámico de la mezcla asfáltica, el cual se definió en 435, 000 psi considerando el clima cálido de la zona.

El coeficiente estructural es $a_1=0.44$

Propiedades de las capas

☒ Concreto asfáltico ☐ Base tratada con asfalto
☐ Base granular ☐ Base tratada con cemento
☐ Subbase granular

Copiar en la estructura

Cancelar

Concreto asfáltico

$$a_1 = 0.40 \times \log \frac{E_{CA}}{435 \text{ ksi}} + 0.44 \quad 0.20 \leq a_1 \leq 0.44$$

Módulo (ksi) a 68°F: 435

Coficiente: 0.440

- ✚ Ejemplo de Cálculo del espesor de capa asfáltica necesaria para equilibrar los números estructurales ofrecidos y demandados para la sección homogénea 1 (0+000 - 5+050) primera década.

$$e = S_n \text{ agregado} / a_1$$

$$e = 0.89 / 0.44$$

$$e = 2.022 \text{ pulgadas o } 5 \text{ cm}$$

El espesor que se requiere para completar el número estructural futuro es de 5 cm.

Se presenta el cálculo de espesor que requiere el resto de secciones homogéneas.

| SECCION HOMOGENEA | TRAMO | SN Agregado | ESPESOR CA para cumplir SN futuro(cm) |
|----------------------|-------------------|-------------|---|
| Sección 1 | (0+000 – 5+050) | 0.89 | 5 |
| Sección 2 | (5+050 - 10+000) | 1.56 | 9 |
| Sección 3 | (10+000 - 14+000) | 1.15 | 7 |
| Sección 4 | (14+000 - 25+600) | 1.75 | 10 |
| Sección 5 | (25+600 - 34+150) | 1.22 | 7 |
| Sección 6 | (34+150 - 41+800) | 0.67 | 4 |
| Sección 7 | (41+850 - 43+350) | -1.06 | -6 |
| Sección 8 | (43+350 - 47+540) | -0.05 | 0 |
| Sección 9 | (47+540 - 48+900) | -1.38 | -8 |
| Sección 10 | (48+900 - 49+550) | -1.17 | -7 |
| Sección 11 | (49+550 - 53+250) | 0.12 | 1 |
| Sección 12 | (53+250 - 56+900) | -0.80 | -5 |

Estos espesores serían los necesarios para equilibrar la demanda y oferta de numero estructural total; ***sin embargo se requiere estimar el numero estructural que debe cumplir la capa asfáltica que se requiere colocar para proteger la base granular, la cual únicamente es función del número de ejes equivalentes y el modulo elástico de la base granular triturada existente.***

3.11.5 CALCULO DEL NUMERO ESTRUCTURAL DE LA CAPA ASFALTICA PARA PROTEGER LA BASE GRANULAR.

📌 **Ejemplo de Cálculo del numero estructural requerido para la sección homogénea 1 (0+000 - 5+050) primera década.**

Para los ejes de diseño de la primera sección homogénea y un módulo elástico de la base granular de 30,000 psi, se requiere una capa asfáltica que aporte un numero estructural de 2.99.


A continuación el cálculo de número estructural que debe aportar la capa asfáltica para satisfacer el tráfico los ejes de diseño:

| SECCION HOMOGENEA | TRAMO | W18 1ra. Decada | SN requerido CA sobre BG |
|------------------------------|--------------------------|----------------------------|-------------------------------------|
| Sección 1 | (0+000 – 5+050) | 1.6129934E+07 | 2.99 |
| Sección 2 | (5+050 - 10+000) | 1.6129934E+07 | 2.99 |
| Sección 3 | (10+000 - 14+000) | 1.5370248E+07 | 2.97 |
| Sección 4 | (14+000 - 25+600) | 1.5370248E+07 | 2.97 |
| Sección 5 | (25+600 - 34+150) | 1.5370248E+07 | 2.97 |
| Sección 6 | (34+150 - 41+800) | 1.5370248E+07 | 2.97 |
| Sección 7 | (41+850 - 43+350) | 5.248815E+06 | 2.49 |
| Sección 8 | (43+350 - 47+145) | 5.248815E+06 | 2.49 |
| Sección 9 | (47+145 - 49+550) | 5.248815E+06 | 2.49 |
| Sección 10 | (49+550 - 53+250) | 5.248815E+06 | 2.49 |
| Sección 11 | (53+250 - 56+900) | 5.248815E+06 | 2.49 |

Del cuadro anterior se puede observar que se requieren un numero estructural de la capa asfáltica de entre 2.99 y 2.97 para las primeras 6 secciones homogéneas (Jícara Galán – Choluteca) y un número estructural de 2.49 desde las secciones homogéneas 7 a 12 correspondientes al tramo del Libramiento de Choluteca.

3.11.6 CALCULO DEL ESPESOR DE CAPA ASFALTICA COLOCADA SOBRE LA CAPA ASFALTICA PARCIAL EXISTENTE.

De acuerdo a lo explicado en la sección 3.11.1, se quiere aprovechar parte del aporte estructural existente, fresando de 3 a 1 cm la capa asfáltica existente determinando el espesor requerido de la siguiente forma:

 **Ejemplo de cálculo del espesor de capa asfáltica requerido sobre capa asfáltica existente después de fresada para la sección homogénea 1 (0+000 - 5+050) primera década.**

El espesor de la capa asfáltica existente es de 10 cm y se propone retirarle 3 cm, quedando un espesor de 7 cm, al cual se le colocara el siguiente espesor:

$$e_{CA \text{ nueva}} = (S_n \text{ requerido BG} - (e_{CA \text{ fresada}} * a_{1CA \text{ existente}})) / a_{1CA \text{ nueva}}$$

$$e_{CA \text{ nueva}} = ((2.99 - ((7/2.54) * 0.42)) / 0.44) * 2.54$$

$$e_{CA \text{ nueva}} = 11 \text{ cm}$$

Se adjunta cuadro resumen del espesor que requieren las demás secciones homogéneas.

| SECCION HOMOGENEA | TRAMO | W18 1ra. Decada | SN requerido CA sobre BG | ESPESOR CA para cumplir SN Requer. CA (cm) |
|----------------------|-------------------|--------------------|-----------------------------|--|
| Sección 1 | (0+000 – 5+050) | 1.6129934E+07 | 2.99 | 11 |
| Sección 2 | (5+050 - 10+000) | 1.6129934E+07 | 2.99 | 12 |
| Sección 3 | (10+000 - 14+000) | 1.5370248E+07 | 2.97 | 12 |
| Sección 4 | (14+000 - 25+600) | 1.5370248E+07 | 2.97 | 13 |
| Sección 5 | (25+600 - 34+150) | 1.5370248E+07 | 2.97 | 13 |
| Sección 6 | (34+150 - 41+800) | 1.5370248E+07 | 2.97 | 13 |
| Sección 7 | (41+850 - 43+350) | 5.248815E+06 | 2.49 | 9 |
| Sección 8 | (43+350 - 47+540) | 5.248815E+06 | 2.49 | 9 |
| Sección 9 | (47+540 - 48+900) | 5.248815E+06 | 2.49 | 8 |
| Sección 10 | (48+900 - 49+550) | 5.248815E+06 | 2.49 | 9 |
| Sección 11 | (49+550 - 53+250) | 5.248815E+06 | 2.49 | 9 |
| Sección 12 | (53+250 - 56+900) | 5.248815E+06 | 2.49 | 9 |

Del cuadro anterior se observa que se requieren espesores de capa asfáltica de entre 11 cm y 13 cm para el tramo Jícara Galán – Choluteca; así mismo se requiere una capa asfáltica con espesor de 9 cm a excepción de la sección homogénea 9, correspondiente a las aproximaciones del puente Sol Naciente, en los cuales se requiere un espesor de 8 cm.

3.11.7 CÁLCULO DE ESPESORES DE CAPA ASFÁLTICA PARA LOS ULTIMOS 10 AÑOS.

✚ Ejemplo de Cálculo espesor de capa asfáltica requerido para la sección homogénea 1 (0+000 - 5+050) segunda década.

SN Futuro 2028

Ecuación AASHTO 93

Tipo de Pavimento:
☒ Pavimento flexible ☐ Pavimento rígido

Confianza (R) y Desviación estándar (So):
 90 % Z=0.841 So 0.44

Serviciabilidad inicial y final:
 PSI inicial 4.2 PSI final 2.5

Módulo resiliente de la subrasante:
 Mr 11677 psi

Información adicional para pavimentos rígidos:
 Módulo de elasticidad del concreto - Ec (psi)
 Módulo de rotura del concreto - Sc (psi)
 Coeficiente de transmisión de carga - (J)
 Coeficiente de drenaje - (Cd)

Tipo de Análisis:
☒ Calcular SN ☐ Calcular w18

Número Estructural:
 SN = 4.50

W18 = 23107915

Calcular Salir

El número estructural futuro requerido a partir de los ejes de diseño de los últimos 10 años y el módulo resiliente de la sección homogénea 1 es de 4.50.

Seguidamente se calculó el posible número estructural efectivo que podría existir en el año 2016

$$Sn_{\text{efectivo 2028}} = 0.9 * Sn_{\text{efectivo 2015}} + Sn_{CA} \text{ colocada 1ra. Etapa}$$

$$Sn_{\text{efectivo 2028}} = (3.3651 * 0.9) + ((10.58/2.54) * 0.42) = 4.778.$$

Este valor es restado del número estructural Futuro requerido para los últimos 10 años y encontramos el valor de espesor que se requiere agregar de capa asfáltica

$$Sn_{\text{agregado 2028}} = 4.50 - 4.78 = -0.28$$

Como se puede observar para la sección homogénea 1 se tendrá un aporte estructural superior al requerido, razón por la que indica un numero estructural agregado negativo; de igual forma se calculó el numero estructural que se requiere agregar en la sección homogénea 2 encontrando un valor de 0.17 al cual corresponde un espesor de 1 cm

$$e = Sn_{\text{efectivo 2028}} / a_1$$

$$e = 0.17 / 0.44 = 0.368 \text{ pulgadas o } 1 \text{ cm}$$

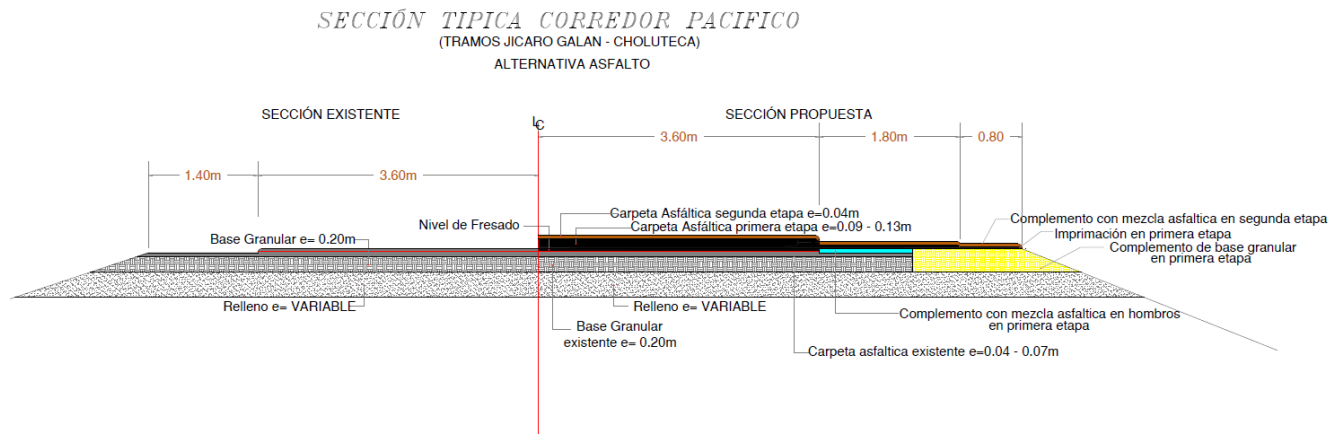
En ambos casos el espesor mínimo de capa asfáltica es de 4 cm, en consecuencia es el espesor que se colocará a las secciones con espesores inferiores a este valor para completar la vida de diseño definida en 20 años.

Se presenta cálculo de espesores de la segunda década del proyecto:

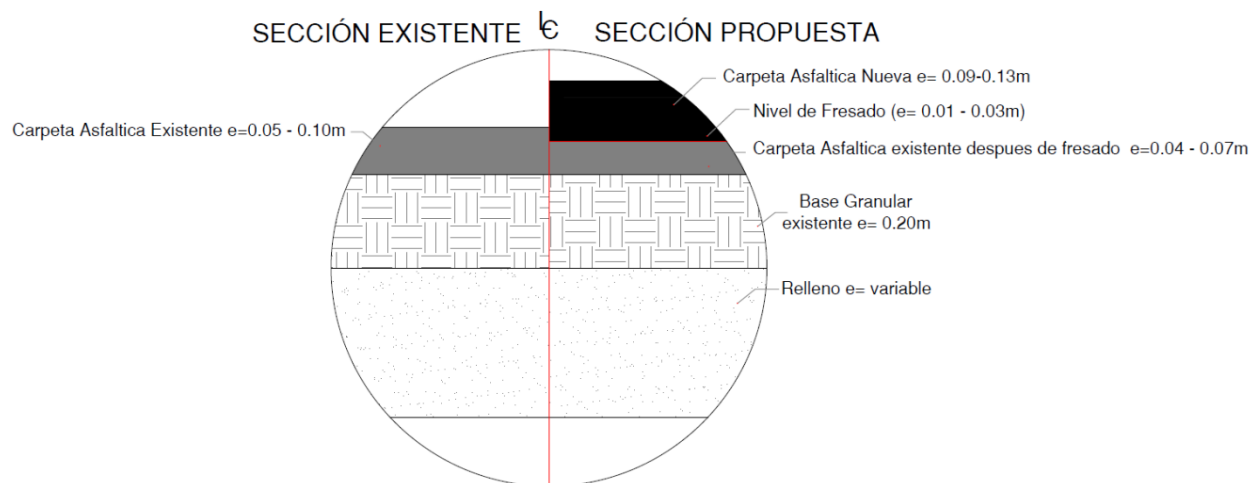
| SECCION HOMOGENEA | TRAMO | W ₁₈ 2da. Decada | SN Futuro en el 2026 | SN Efectivo año 2026 | SN Agregado | ESPEJOR CA sn total agregado | ESPEJOR TOTAL CAPA ASFALTICA 2da Etapa (cm) |
|----------------------|-------------------|--------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------|---------------------------------|---|
| Sección 1 | (0+000 - 5+050) | 2.3107915E+07 | 4.50 | 4.78 | -0.28 | -2 | 4 |
| Sección 2 | (5+050 - 10+000) | 2.3107915E+07 | 4.52 | 4.35 | 0.17 | 1 | 4 |
| Sección 3 | (10+000 - 14+000) | 2.2017604E+07 | 4.56 | 4.89 | -0.33 | -2 | 4 |
| Sección 4 | (14+000 - 25+600) | 2.2017604E+07 | 5.01 | 4.92 | 0.09 | 1 | 4 |
| Sección 5 | (25+600 - 34+150) | 2.2017604E+07 | 4.58 | 5.05 | -0.47 | -3 | 4 |
| Sección 6 | (34+150 - 41+800) | 2.2017604E+07 | 4.06 | 5.05 | -0.99 | -6 | 4 |
| Sección 7 | (41+850 - 43+350) | 7.301384E+06 | 3.27 | 5.17 | -1.90 | -11 | 4 |
| Sección 8 | (43+350 - 47+540) | 7.301384E+06 | 4.16 | 5.03 | -0.87 | -5 | 4 |
| Sección 9 | (47+540 - 48+900) | 7.301384E+06 | 3.06 | 5.23 | -2.17 | -13 | 4 |
| Sección 10 | (48+900 - 49+550) | 7.301384E+06 | 3.37 | 5.35 | -1.98 | -11 | 4 |
| Sección 11 | (49+550 - 53+250) | 7.301384E+06 | 4.15 | 4.87 | -0.72 | -4 | 4 |
| Sección 12 | (53+250 - 56+900) | 7.301384E+06 | 3.38 | 4.97 | -1.59 | -9 | 4 |

3.12 PROPUESTA ESQUEMATICA DE REHABILITACION CON PAVIMENTO FLEXIBLE

Considerando el estado actual de la carretera en términos de rugosidad y deterioros existentes y cálculo de espesor requerido producto del retrocálculo de módulos; se propone una alternativa de rehabilitación de acuerdo al siguiente esquema:

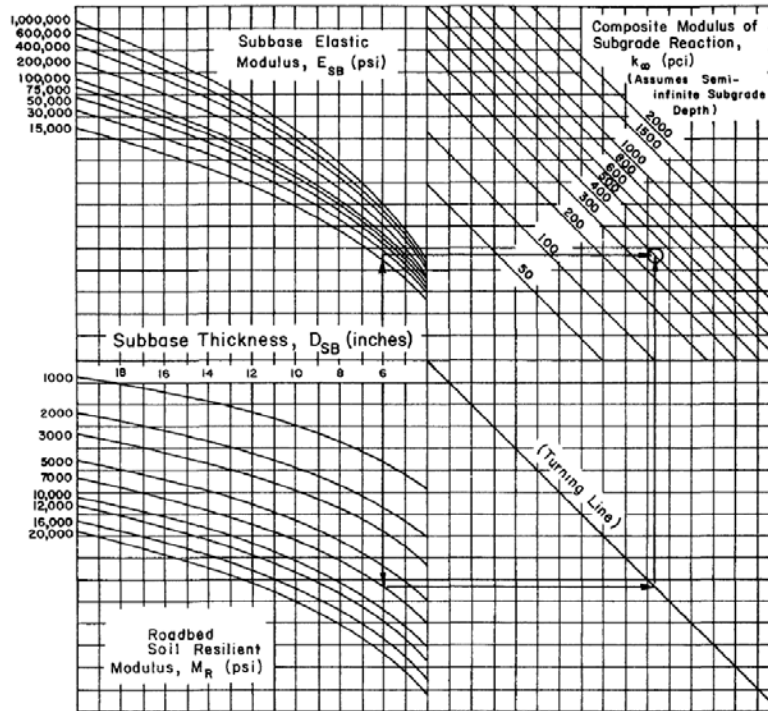


DETALLE DE REHABILITACIÓN



3.13 BASES DEL CÁLCULO Y EJEMPLO TIPO PARA PAVIMENTO RIGIDO

Este valor de módulo de reacción de la sub rasante se calculó para cada sección homogénea utilizando el módulo equivalente de la estructura encontrado con el estudio deflectométrico, el espesor de la estructura existente y el módulo resiliente de la sub rasante; con estos valores se entró al nomograma propuesto por AASHTO para encontrar el módulo de reacción de sub rasante compuesto.




A continuación los resultados obtenidos.

| SECCION HOMOGENEA | TRAMO | W18 | MODULO RESILIENTE DE DISEÑO (PSI) | MODULO EQUIVALENTE DE LA ESTRUCTURA (PSI) | MODULO DE REACCION DE LA SUB RASANTE (k) (PSI - in) |
|----------------------|-------------------|---------------|---|---|---|
| Sección 1 | (0+000 – 5+050) | 6.0330162E+07 | 16,617 | 63,966 | 1,400 |
| Sección 2 | (5+050 - 10+000) | 6.0330162E+07 | 16,677 | 48,818 | 950 |
| Sección 3 | (10+000 - 14+000) | 5.9491383E+07 | 15,889 | 47,157 | 1,200 |
| Sección 4 | (14+000 - 25+600) | 5.9491383E+07 | 11,876 | 47,672 | 900 |
| Sección 5 | (25+600 - 34+150) | 5.9491383E+07 | 15,587 | 63,645 | 1,300 |
| Sección 6 | (34+150 - 41+800) | 5.9491383E+07 | 22,067 | 79,978 | 1,700 |
| Sección 7 | (41+850 - 43+350) | 2.0743764E+07 | 24,334 | 58,224 | 1,550 |
| Sección 8 | (43+350 - 47+145) | 2.0743764E+07 | 12,794 | 46,024 | 1,000 |
| Sección 9 | (47+145 - 49+550) | 2.0743764E+07 | 22,484 | 55,644 | 1,500 |
| Sección 10 | (49+550 - 53+250) | 2.0743764E+07 | 12,912 | 42,809 | 1,000 |
| Sección 11 | (53+250 - 56+900) | 2.0743764E+07 | 22,321 | 48,053 | 1,450 |

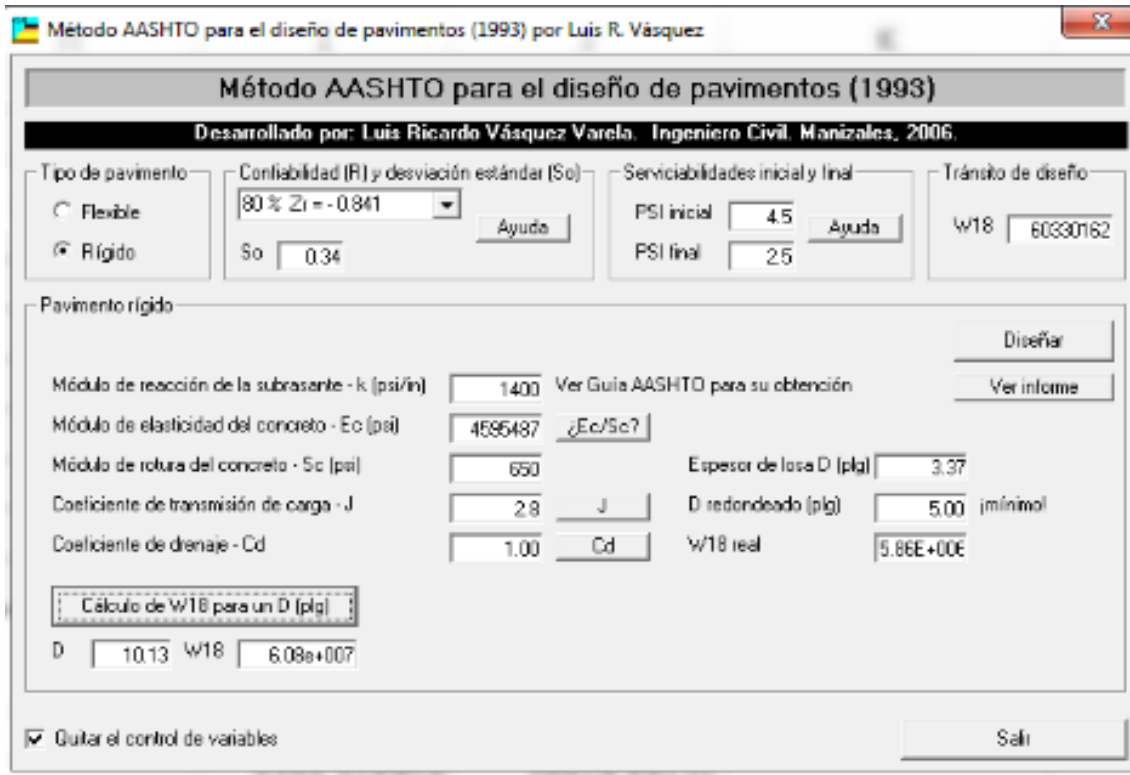
Los módulos de reacción de subrasante encontrados no se les consideraron pérdidas de soporte ya que las losas de concreto estarán colocadas sobre el asfalto existente.

3.13.1 CALCULO DEL ESPESOR DE LOSA DE CONCRETO HIDRAULICO

 **Ejemplo de Calculo espesor de losa de concreto hidráulico requerido para la sección homogénea 1 (0+000 - 5+050).**

Se utilizó la ecuación para cálculo de espesor de losa de concreto hidráulico, utilizando las siguientes variables:

| VARIABLE | PAVIMENTO RIGIDO |
|---|------------------|
| Confiabilidad (R) | 80% |
| Desviación Estándar | 0.34 |
| Serviciabilidad Inicial | 4.5 |
| Serviciabilidad Final | 2.5 |
| Módulo de Elasticidad del Concreto (Ec) psi | 4,595,487 |
| Módulo de Rotura del concreto (Sc) psi | 650 |
| Coeficiente de Transmisión de Carga (J) | 2.8 |
| Coeficiente de Drenaje (Cd) | 1 |



De la ecuación se encuentra que se requiere un espesor de losa de concreto hidráulico de 10.13 pulgadas o 26 cm, para satisfacer la demanda tráfico proyectada a 20 años.

Se adjunta diseño de espesores de las demás secciones homogéneas:

| SECCION HOMOGENEA | TRAMO | W18 | MODULO RESILIENTE DE DISEÑO (PSI) | MODULO EQUIVALENTE DE LA ESTRUCTURA (PSI) | MODULO DE REACCION DE LA SUB RASANTE (k) (PSI - in) | Espesor de Losa (cm) |
|----------------------|-------------------|---------------|---|---|---|-------------------------|
| Sección 1 | (0+000 – 5+050) | 6.0330162E+07 | 16,617 | 63,966 | 1,400 | 26 |
| Sección 2 | (5+050 - 10+000) | 6.0330162E+07 | 16,677 | 48,818 | 950 | 27 |
| Sección 3 | (10+000 - 14+000) | 5.9491383E+07 | 15,889 | 47,157 | 1,200 | 26 |
| Sección 4 | (14+000 - 25+600) | 5.9491383E+07 | 11,876 | 47,672 | 900 | 27 |
| Sección 5 | (25+600 - 34+150) | 5.9491383E+07 | 15,587 | 63,645 | 1,300 | 26 |
| Sección 6 | (34+150 - 41+800) | 5.9491383E+07 | 22,067 | 79,978 | 1,700 | 25 |
| Sección 7 | (41+850 - 43+350) | 2.0743764E+07 | 24,334 | 58,224 | 1,550 | 20 |
| Sección 8 | (43+350 - 47+145) | 2.0743764E+07 | 12,794 | 46,024 | 1,000 | 22 |
| Sección 9 | (47+145 - 49+550) | 2.0743764E+07 | 22,484 | 55,644 | 1,500 | 20 |
| Sección 10 | (49+550 - 53+250) | 2.0743764E+07 | 12,912 | 42,809 | 1,000 | 22 |
| Sección 11 | (53+250 - 56+900) | 2.0743764E+07 | 22,321 | 48,053 | 1,450 | 21 |

3.13.2 DIMENSIONAMIENTO DE LOSAS Y DOVELAS

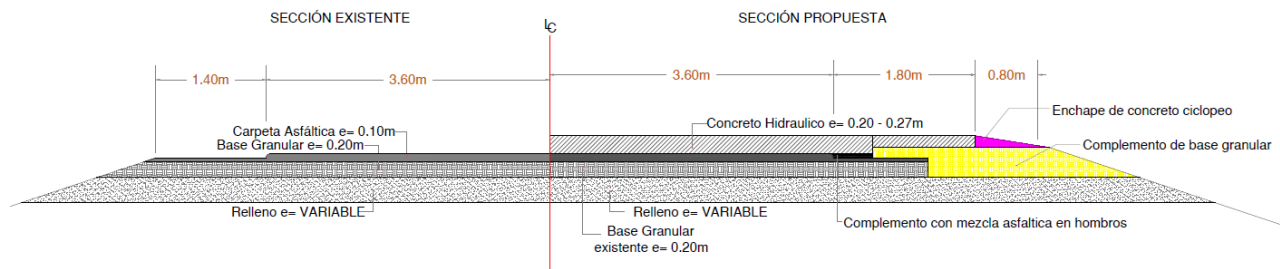
El dimensionamiento de las losas y dovelas se basa en la siguiente especificación:

1. El ancho de las losas es de 4.10 m correspondiente a el carril de diseño de 3.60 m, más un ancho adicional de 0.50 m.
2. El largo de las losas debe estar entre 24 veces el espesor y cumpliendo una relación largo ancho de 0.80.
3. El diámetro de la dovela es 1/8 del espesor de la losa en pulgadas.
4. El largo de la dovela es igual a 12 veces su diámetro más 5 cm.
5. La profundidad de instalación de la dovela es ½ del espesor de la losa.
6. La separación máxima entre dovelas es 30 cm.

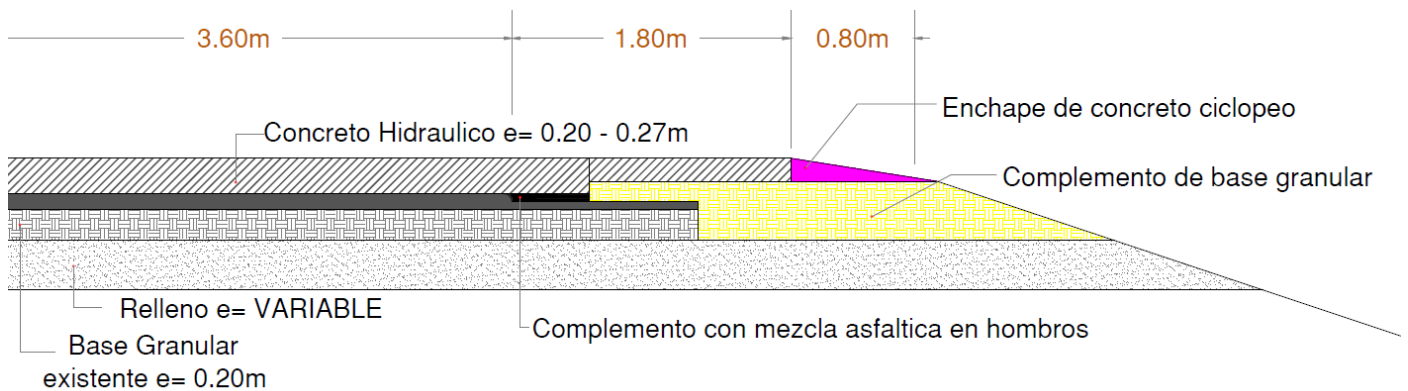
| ESPESOR (cm) | ANCHO DE LOSA (m) | LARGO MAXIMO DE LOSA (m) | LARGO MINIMO DE LOSA (m) | LARGO DOVELA (cm) | DIAMETRO DOVELA (pulg) | PROFUNDIDAD DOVELA (cm) | SEPARACION ENTRE DOVELAS (cm) |
|-----------------|-------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------|------------------------------|----------------------------|--|
| 20 | 4.10 | 4.80 | 3.28 | 36 | 1 | 10 | 30 |
| 21 | 4.10 | 5.04 | 3.28 | 37 | 1 | 10.5 | 30 |
| 22 | 4.10 | 5.28 | 3.28 | 38 | 1-1/8 | 11 | 30 |
| 24 | 4.10 | 5.76 | 3.28 | 41 | 1-1/8 | 12 | 30 |
| 25 | 4.10 | 6.00 | 3.28 | 43 | 1 -1/4 | 12.5 | 30 |
| 26 | 4.10 | 6.24 | 3.28 | 44 | 1- 1/4 | 13 | 30 |
| 27 | 4.10 | 6.48 | 3.28 | 45 | 1 1/4 | 13.5 | 30 |

3.14 PROPUESTA ESQUEMATICA DE REHABILITACION CON PAVIMENTO RIGIDO

SECCIÓN TIPICA CORREDOR PACIFICO
(TRAMOS JICARO GALAN - CHOLUTECA)
ALTERNATIVA CONCRETO HIDRAULICO



SECCIÓN PROPUESTA



4. CONCLUSION

De acuerdo a los análisis presentados en este informe, se propone una alternativa de rehabilitación con pavimento flexible que consiste en realizar un fresado variable entre 3cm y 1 cm a la capa asfáltica existente, con el propósito de generar una superficie sin deformaciones y colocar sobre el espesor remanente de la capa asfáltica existente una sobre capa de mezcla asfáltica con un espesor variable entre 8 cm y 13 cm según sea el caso de cada sección homogénea.

Los espesores de concreto hidráulico proyectados con la metodología de diseño AASHTO 93 varían de 20 cm a 27 cm para satisfacer una demanda de tráfico de 20 años.

Las dos alternativas de pavimentación son técnicamente viables, pero será en base al análisis de factibilidad económica que se seleccionará la alternativa de pavimentación.

CONTENIDO

| | | |
|-----|--|----|
| 1. | Introducción | 2 |
| 2. | Ubicación del proyecto | 2 |
| 3. | Análisis hidroclimatológico | 3 |
| 3.1 | Precipitación media anual | 3 |
| 3.2 | Precipitación total mensual | 4 |
| 3.3 | Precipitación máxima diaria | 4 |
| 3.4 | Temperatura media anual | 5 |
| 4. | Evaluación y estudio del drenaje transversal. | 6 |
| 4.1 | Estudio de campo | 6 |
| 4.2 | Criterios de actuación | 7 |
| 4.3 | Evaluación de la información hidrológica | 8 |
| 4.4 | Estudio de las cuencas hidrográficas | 9 |
| 4.5 | Determinación de la tormenta de diseño | 10 |
| 4.6 | Tiempo de concentración | 12 |
| 4.7 | Estimación del caudal | 12 |
| 4.8 | Evaluación y modelaje de las estructuras | 13 |
| 5. | Otros problemas de drenaje identificados | 15 |
| 5.1 | Alc. No. 8 – est. 9+167.6960 | 15 |
| 5.2 | Puente río guasirope - est. 4+850. | 16 |

1. INTRODUCCIÓN

El presente informe final, resume los resultados de la evaluación, estudio y diseño del drenaje transversal, incluyendo alcantarillas y cajas, del Tramo Carretero Jicaro Galán – El Amatillo.

Ya que el proyecto consiste en la rehabilitación de una vía existente, fue necesario evaluar la situación actual de las estructuras de drenaje, a través de un inventario de campo, identificando un total de 132 obras de drenaje transversal, 122 alcantarillas y 10 cajas. A partir del inventario de drenaje se establecieron los diferentes criterios de evaluación y diseño. El drenaje transversal, en su mayoría, se realiza mediante obras de sección circular, de concreto reforzado o metálicas, que en algunos casos se encuentran en mal estado de conservación, aterradas u obstruidas. Para aquellas obras en mal estado, se realizó un estudio hidrológico – hidráulico, que permitiera el dimensionamiento de una nueva obra con mayor capacidad de desagüe. Para las demás alcantarillas se propone una actuación, según sea el caso. En cuanto a las cajas, se realizó una evaluación hidrológica – hidráulica de todas ellas, proponiendo lo que fuera necesario para garantizar una capacidad hidráulica para un caudal pico a 50 años de período de retorno.

Para el estudio y diseño hidrológico – hidráulico, fue necesario delimitar cada una de las cuencas en estudio, y obtener sus características morfométricas más importantes; luego se analizaron las condiciones pluviométricas, ubicando las estaciones hidroclimatológicas más cercanas a la zona de estudio. Se desarrolló el análisis del caudal pico; para el cual, debido a la escasez de datos hidrológicos y al tamaño de las cuencas, se optó por utilizar la información y metodología proporcionada por el *Manual de Referencias Hidrológicas* del FHIS, así como la información disponible en la Dirección General de Recursos Hídricos de la Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente (SERNA). Finalmente, se empleó el software HY-8 para evaluar la capacidad hidráulica de las alcantarillas y cajas, presentando los resultados obtenidos.

2. UBICACIÓN DEL PROYECTO

El corredor vial objeto de estudio se localiza en el Departamento de Valle, en la zona suroriental del país, inicia en la ciudad de Jicaro Galán y finaliza en la ciudad de El Amatillo – ciudad fronteriza con El Salvador, con una longitud total de 40.96 Km.

El tramo carretero transcurre por las cuencas de Nacaome y Goascorán, pertenecientes a la Macrocuenca Centro – Sur.



La Cuenca del Río Goascorán está ubicada entre los Departamentos de La Paz, Comayagua, Francisco Morazán y Valle; y es cuenca internacional con El Salvador.

La Cuenca del Río Nacaome está ubicada entre los Departamentos de Francisco Morazán, El Paraíso, Choluteca y Valle.

En el proyecto en estudio intervienen 2 municipios - Goascorán y Nacaome - caracterizados por sus recursos hídricos, zonas productoras agrícolas, ganaderas, pesqueras, por ser límite fronterizo, y por sus áreas turísticas y zonas protegidas.

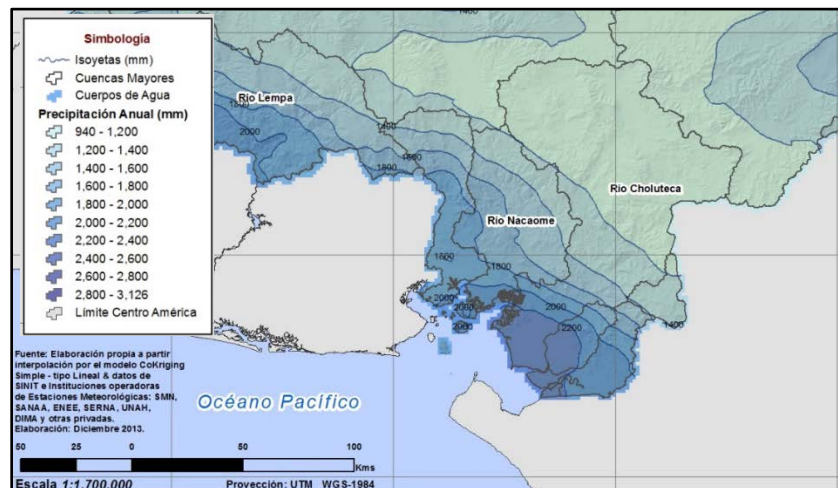
3. ANALISIS HIDROCLIMATOLÓGICO

Para el análisis hidroclimatológico se tomó información de las estaciones climáticas ubicadas a inmediaciones del emplazamiento, con el objetivo de realizar el análisis espacial y temporal del área de estudio, que permita caracterizar el comportamiento de los elementos meteorológicos de mayor importancia como son precipitación, temperatura y humedad relativa.



3.1 PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL¹

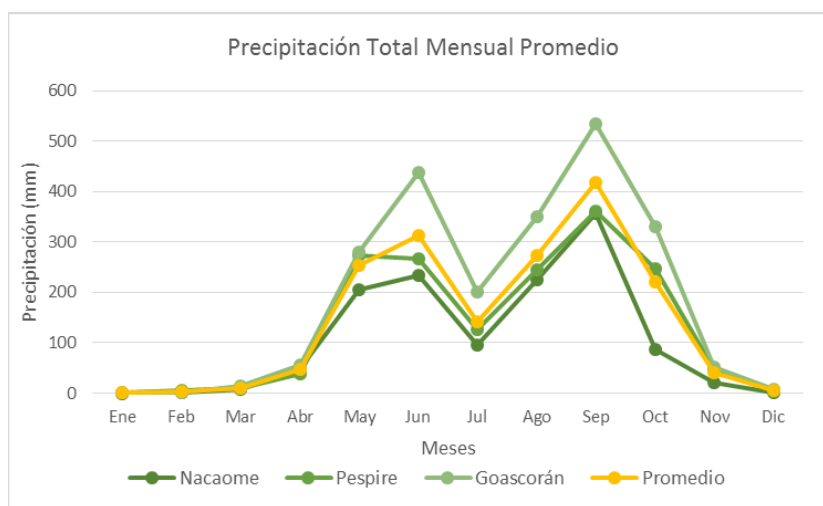
| Cuenca | Area (Km ²) | Promedio (mm/año) | Máximo (mm/año) | Mínimo (mm/año) |
|---------------|----------------------------|----------------------|--------------------|--------------------|
| Río Goascorán | 1730.7 | 1667.67 | 2124.29 | 1212.78 |
| Río Nacaome | 2808.3 | 1570.53 | 2183.74 | 1152.21 |



¹ UNAH-DGRH – Informe de Evaluación de los Recursos Hídricos en su Régimen Natural a Nivel Nacional.

3.2 PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL

| Estación | Precipitación Total Mensual (mm) | | | | | | | | | | | |
|------------------|----------------------------------|-------------|--------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|--------------|-------------|
| | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic |
| Nacaome | 0 | 0.2 | 7.3 | 50.5 | 205.4 | 233.1 | 96.6 | 225.1 | 355.7 | 86.7 | 21.8 | 2 |
| Pespire | 0.6 | 6 | 10.6 | 38.2 | 274 | 267.4 | 125.9 | 245 | 362.1 | 247 | 48 | 3.4 |
| Goascorán | 1 | 1.7 | 14.4 | 55.6 | 280.1 | 438.3 | 201.8 | 349.6 | 534 | 330.2 | 52.7 | 8.8 |
| Promedio | 0.53 | 2.63 | 10.77 | 48.10 | 253.17 | 312.93 | 141.43 | 273.23 | 417.27 | 221.30 | 40.83 | 4.73 |
| Desv. Est. | 0.50 | 3.01 | 3.55 | 8.94 | 41.48 | 109.92 | 54.29 | 66.88 | 101.14 | 123.77 | 16.65 | 3.59 |

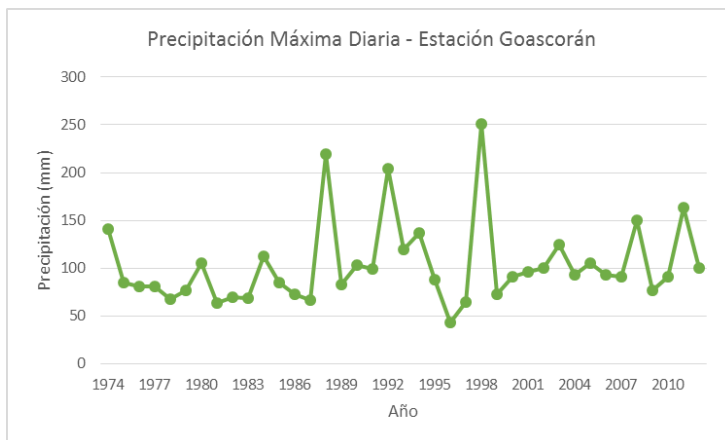


De acuerdo a los datos recabados, existe una marcada estación seca, de Noviembre a Abril, con una precipitación máxima promedio de 40.0 mm.; de Mayo a Octubre la precipitación máxima promedio es de 400.0 mm., teniendo el fenómeno de canícula en Julio, y una precipitación máxima en Septiembre.

3.3 PRECIPITACIÓN MÁXIMA DIARIA

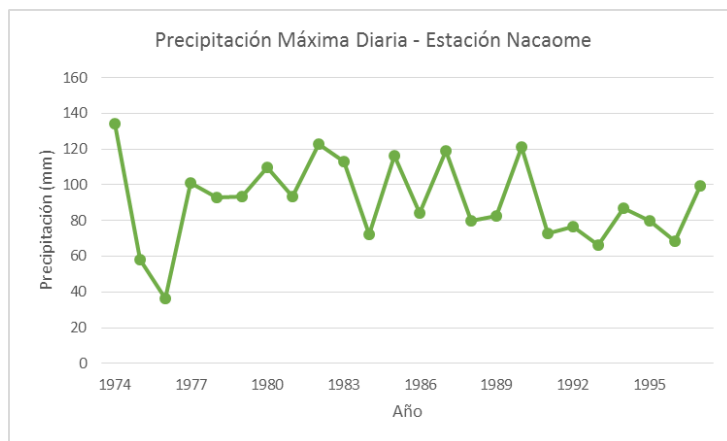
- **Estación Goascorán:** registra datos de precipitación máxima diaria desde 1973 hasta 2012 (39 años). La máxima precipitación diaria, 250.8 mm, se registró en Octubre de 1998, durante el Huracán Mitch.

| Estadística | Valor |
|---------------------|---------|
| Número de eventos | 39 |
| Rango | 207.7 |
| Promedio | 103.36 |
| Varianza | 1916.16 |
| Desviación Estándar | 43.77 |
| Sesgo | 1.84 |
| Curtosis | 3.55 |



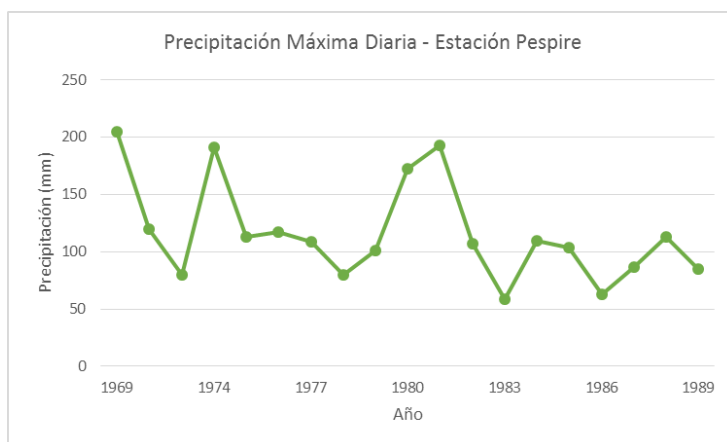
- **Estación Nacaome:** Registra datos de precipitación máxima diaria desde 1972 hasta 1995 (24 años). La máxima precipitación diaria, 121.0 mm, se registró en Agosto de 1988, un valor notablemente menor a las otras estaciones.

| Estadística | Valor |
|---------------------|--------|
| Número de eventos | 24 |
| Rango | 98.31 |
| Promedio | 90.9 |
| Varianza | 553.14 |
| Desviación Estándar | 23.52 |
| Sesgo | -0.16 |
| Curtosis | -0.12 |



- **Estación Pespire:** Registra datos de precipitación máxima diaria desde 1969 hasta 1989 (20 años). La máxima precipitación diaria, 193.0 mm, se registró en Mayo de 1981.

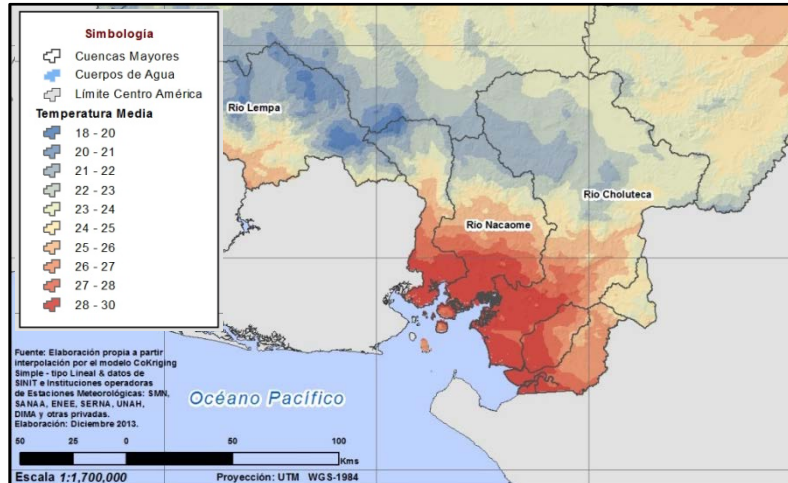
| Estadística | Valor |
|---------------------|---------|
| Número de eventos | 19 |
| Rango | 146.05 |
| Promedio | 116.04 |
| Varianza | 1876.95 |
| Desviación Estándar | 43.32 |
| Sesgo | 0.95 |
| Curtosis | 0 |



3.4 TEMPERATURA MEDIA ANUAL²

| Cuenca | Area (Km ²) | Valor Medio (°C) | Valor Máximo (°C) | Valor Mínimo (°C) |
|---------------|-------------------------|------------------|-------------------|-------------------|
| Río Goascorán | 1730.7 | 24.74 | 34.62 | 11.81 |
| Río Nacaome | 2808.3 | 25.6 | 34.62 | 14.99 |

² UNAH-DGRH – Informe de Evaluación de los Recursos Hídricos en su Régimen Natural a Nivel Nacional.



4. EVALUACIÓN Y ESTUDIO DEL DRENAJE TRANSVERSAL.

Los sistemas de drenaje transversal son aquellos elementos que transportan agua cruzando el eje de la carretera. Por lo general, el cruce se realiza de manera perpendicular al eje y transportan el aporte de la cuenca que se encuentra aguas arriba de la vía en dirección aguas abajo.

La evaluación y estudio del drenaje transversal tiene como objetivos esenciales:

- Revisar, analizar y evaluar la operatividad del sistema de drenaje existente, en la cantidad que hubiere, identificando los posibles orígenes de las fallas que se observen, proponiendo a causa de ello las mejoras u obras complementarias que se requieran para su buen funcionamiento.
- A partir del inventario de drenaje existente, ubicar e identificar aquellas estructuras de drenaje que presenten problemas graves y requieren de un estudio y diseño hidrológico – hidráulico detallado, analizando lo que necesiten para la operación segura y eficiente de la vía, garantizando las condiciones futuras del tránsito en el área del proyecto.

4.1 ESTUDIO DE CAMPO

El propósito del estudio de campo fue identificar, obtener y evaluar la información referida al estado actual de las obras de drenaje existentes, condiciones topográficas e hidrológicas del área de su emplazamiento, analizando las posibilidades de su aprovechamiento. Así mismo, permitió identificar y evaluar los sectores críticos actuales y potenciales de origen hídrico, como deslizamientos, derrumbes, erosiones, áreas inundables, asentamientos, etc. que inciden negativamente en la conservación y permanencia de la estructura vial.

De las obras de drenaje existentes, se evaluó:

- Las condiciones generales de las estructuras y sus proximidades; posibles cambios en el área de drenaje que puedan afectar las características de escorrentía.
- Las condiciones de la calzada y el terraplén, y su adecuación funcional.
- Los componentes hidráulicos de las alcantarillas:

- Alineamiento horizontal de las alcantarillas con el cauce: mala alineación puede reducir la capacidad hidráulica de la alcantarilla.
- Alineamiento vertical de la alcantarilla: puede causar problemas con la sedimentación o erosión.
- Sedimentación o socavación: relacionado con el alineamiento vertical (fuerte pendiente), alineamiento horizontal, o a flujos frecuentes de altas magnitudes que resultan de los cambios en la cuenca.
- Acumulación de desechos y sedimentos: causado por un número de factores que incluyen una abertura demasiado pequeña de la alcantarilla, instalación de la alcantarilla por debajo del lecho, obstrucciones aguas abajo, desarrollo aguas arriba.

Mediante una inspección visual de las estructuras de drenaje se determinaron sus dimensiones, se evaluó la operatividad del sistema, e identificaron los posibles orígenes de las fallas que se observaron. Con tecnología RTK (del inglés Real Time Kinematic) se tomaron las coordenadas, elevaciones invertidas a la entrada y salida, y longitudes de cada una de las estructuras de drenaje.

Para el tramo Jicaro Galán – El Amatillo, el sistema de drenaje transversal existente está formado por un 8% de cajas, y 92% de alcantarillas, las cuales se dividen en 54.92% en tubería de concreto reforzado, 40.98% en tubería metálica, 2.46% de material variable (combinación de tubería metálica y tubería de concreto reforzado), y un restante 1.64% de material desconocido – por no haberse podido evaluar.

En **Anexo 1** se adjunta *Inventario de Drenaje Existente* del tramo en estudio.

4.2 CRITERIOS DE ACTUACIÓN

Para las alcantarillas, a partir del inventario de drenaje existente se establecieron los siguientes criterios de actuación:

- Aquellas alcantarillas en mal estado o con problemas graves, como insuficiencia hidráulica, azolvamiento, mala alineación horizontal y/ vertical. De ellas se realiza un estudio hidrológico – hidráulico detallado a fin de garantizar su capacidad hidráulica y correcta operación. *Corresponden al 16.39% para el tramo en estudio.*
- Aquellas alcantarillas que operan correctamente, pero con tubería metálica dañada por óxido y corrosión. Se recomienda sustituir por tubería de concreto reforzado, del mismo diámetro existente. *Corresponden al 20.49% para el tramo en estudio.*
- Aquellas alcantarillas que operan correctamente, y con tubería metálica en buen estado o con daños menores por óxido. Se recomienda sustituir tubería metálica por tubería de concreto reforzado, para garantizar la vida útil de las obras. *Corresponden al 3.28% para el tramo en estudio.*
- Aquellas alcantarillas que operan correctamente, pero con tubería de 24" de diámetro. Se recomienda cambiar a tubería de 36", ya que por cuestiones de acceso y limpieza es el diámetro mínimo recomendado. *Corresponden al 22.95% para el tramo en estudio.*

- Alcantarillas en buen estado, pero requieren de obras para un correcto funcionamiento. Se recomiendan obras complementarias para garantizar una buena captación y evacuación de las aguas, y protección contra socavación. *Corresponden al 28.69% para el tramo en estudio.*
- Aquellas alcantarillas que no requieren ninguna atención especial. *Corresponden al 8.20% en este tramo.*

Para las cajas, a pesar de que el inventario de drenaje indica que las cajas están en buenas condiciones, y funcionan correctamente – desde el aspecto hidráulico, para cada una de ellas se realizó el estudio hidrológico – hidráulico, a partir del cual se establecieron los siguientes criterios de actuación:

- Aquellas cajas con una capacidad hidráulica insuficiente de acuerdo al período de retorno seleccionado, se propone colocar una estructura complementaria (tubería), para garantizar su óptimo funcionamiento en eventos extraordinarios. *Corresponden al 20.0% para el tramo en estudio.*
- Aquellas cajas en buen estado, pero requieren de obras para un correcto funcionamiento. Se recomiendan obras complementarias para garantizar una buena captación y evacuación de las aguas, y protección contra socavación. *Corresponden al 40.0% para el tramo en estudio.*
- Aquellas cajas que no requieren ninguna atención especial. *Corresponden al 40.0% para el tramo en estudio.*

4.3 EVALUACIÓN DE LA INFORMACIÓN HIDROLÓGICA

Se realizó la evaluación de la información hidrológica para el tramo Jicaro Galán – El Amatillo.

Dado que el país tiene limitaciones en la disponibilidad de datos, ya sea hidrométricos como pluviométricos, y la mayor parte de las cuencas hidrográficas no se encuentran instrumentadas, generalmente se utilizan métodos indirectos para la estimación del caudal de diseño. De acuerdo a la información disponible, se eligió el método más adecuado para obtener estimaciones de la magnitud del caudal, Método Racional – para cuencas menores a 200 hectáreas; en cuencas mayores se utiliza el Método del Número de Curva de SCS (del inglés Soil Conservation Service).

Como referencia, se utiliza información hidrológica de la Estación Pluviométrica de Nacaome (UTM 16P Coordenada Este: 446045, Coordenada Norte: 1495219), la más cercana a la zona del proyecto, del Manual de Referencias Hidrológicas de Honduras, mediante las curvas de intensidad – duración – frecuencia (Curvas IDF).



De acuerdo con el Manual de Carreteras de SOPTRAVI, se ha seleccionado un período de retorno de 25 años para la revisión y diseño de alcantarillas, y un período de retorno de 50 años para la revisión de cajas. Un período de retorno de 50 años tiene en promedio una probabilidad de ser igualado o superado igual a 0.02 en un año cualquiera.

Tabla 2.1 VALORES TÍPICOS DE LA RECURRENCIA DE DISEÑO PARA OBRAS DE DISTINTO TIPO

| Tipo de Estructura | Tr (años) |
|--|-------------------------|
| Puentes en caminos principales donde el remanso puede ocasionar daños a la propiedad privada o resultar en la pérdida del puente | 50 - 100 años |
| Puentes en caminos secundarios o alcantarillas en caminos principales | 25 años |
| Alcantarillas en caminos secundarios, colectores pluviales o cunetas laterales | 5 - 10 años |
| Tragantes, bordillos, conductos | 1 - 2 años ¹ |

Fuente: "Highway Engineering Handbook", Woods, Capítulo 12 Ed. Mc Graw - Hill

4.4 ESTUDIO DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS

El estudio de las cuencas está orientado a determinar sus características hídricas respecto a su aporte y el comportamiento hidrológico. El mayor conocimiento de la dinámica de las cuencas permite tomar decisiones respecto al establecimiento de las obras viales. Es importante determinar las características físicas de las cuencas como son: el área, forma de la cuenca, sistemas de drenaje, características del relieve, suelos, etc. Estas características dependen de la morfología (forma, relieve, red de drenaje, etc.), tipos de suelos, cobertura vegetal, geología, prácticas agrícolas, etc. Estos elementos físicos proporcionan la más conveniente posibilidad de conocer la variación en el espacio de los elementos del régimen hídrico.

Para esto se utilizó la información cartográfica proporcionada por el Instituto Geográfico Nacional (Hojas Cartográficas Langue 2656 I, Nacaome 2756 IV, San Lorenzo 2756 III, Orocuina 2756 II, Choluteca 2755 I, Santa María 2755 II, Somotillo 2855 III, a escala 1:50,000), donde se ubicó el trazo del tramo carretero

Jicaro Galán – El Amatillo, ubicando en ella las fuentes de agua y cursos principales que cruzan la carretera en estudio, delimitando por ello las sub-cuencas hidrográficas correspondientes a cada curso de agua, que determinan los parámetros físicos propios del terreno.

En **Anexo 2** se adjunta *Planta de Cuencas Hidrográficas* del tramo en estudio.

Independientemente de la metodología que se utilice para el cálculo de los caudales de diseño, es imprescindible caracterizar el suelo de cada una de las cuencas. Suelos con alta capacidad de infiltración, se observan bajas escorrentías; por el contrario, bajas infiltraciones generan escorrentías mayores.

Para las cuencas analizadas del Tramo Jicaro Galán – El Amatillo, de acuerdo con el mapa nacional de capacidad hidrológica de los suelos se clasifican en 97% de C y 3% de N; de acuerdo con el mapa nacional de usos de suelo se clasifican en 26.60% Matorrales, 19.65% Bosque Latifoliado, 27.82% Bosque Seco, y 25.92% Agropecuario.

El coeficiente de escorrentía (C) representa la porción de la precipitación que se convierte en caudal, es decir la relación entre el volumen de escorrentía superficial y el de precipitación total sobre un área determinada. El coeficiente de escorrentía puede tomar valores de 0 a 1, a medida que el valor tiende a 1, mayor será la cantidad de agua precipitada que se convertirá en caudal superficial.

Para determinar el coeficiente de escorrentía se utilizó como referencia la tabla de datos propuesta en el Manual de Referencias Hidrológicas del FHIS³, de acuerdo al tipo y uso de los suelos del área en estudio, y la topografía de la misma.

El número de curva (CN) es un parámetro empírico propuesto por el Soil Conservation Service (SCS, en español Servicio de Conservación de los Recursos Naturales de EE.UU.). Se representa por un número adimensional de 0 a 100, donde números de curva altos implican escorrentías elevadas, en cambio, números de curva bajos aseguran altas tasas de infiltración y baja escorrentía.

Para determinar el número de curva se utilizó como referencia la tabla de datos propuesta en el Manual de Referencias Hidrológicas del FHIS⁴, de acuerdo al uso y capacidad hidrológica de los suelos del área en estudio.

En **Anexo 3** se adjunta *Cuadro de Parámetros Morfométricos, Número de Curva y Coeficiente de Escorrentía* del tramo en estudio.

4.5 DETERMINACIÓN DE LA TORMENTA DE DISEÑO

³ Fondo Hondureño de Inversión Social – FHIS (2002). Manual de Referencias Hidrológicas de Honduras, (p. 46).

⁴ Fondo Hondureño de Inversión Social – FHIS (2002). Manual de Referencias Hidrológicas de Honduras, (p. 43).

Una tormenta de diseño es un patrón de precipitación definido para utilizarse en el diseño de un sistema hidrológico, y usualmente conforma la entrada al sistema. Las tormentas de diseño pueden basarse en información histórica de precipitación de una zona o pueden construirse utilizando las características generales de la precipitación en regiones adyacentes.

Para determinar la tormenta de diseño se utilizó el mapa de isopletas (a, b y n) y las curvas de intensidad – duración – frecuencia (Curvas IDF), que relacionan la intensidad de la lluvia, la duración de la misma y la frecuencia con la que se puede presentar, es decir su probabilidad de ocurrencia o el período de retorno.

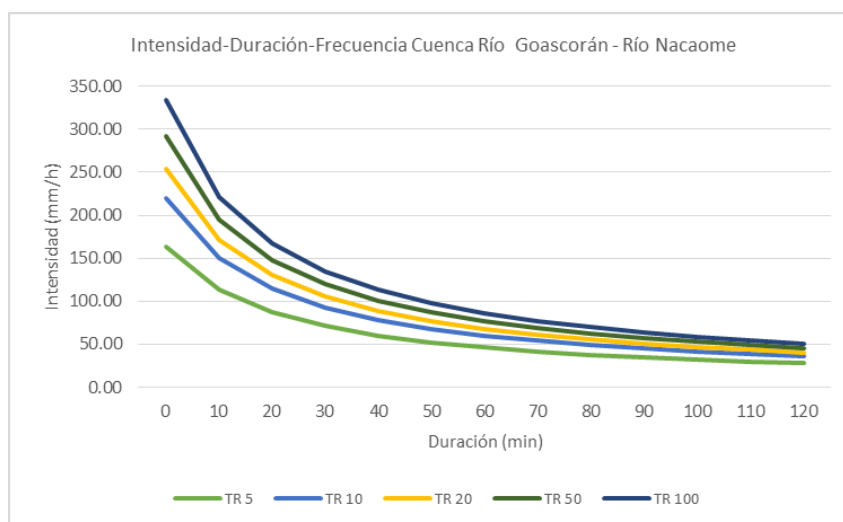
Las Curvas IDF se expresan en un juego de curvas o ecuaciones empíricas a las que se ajustan los valores de lluvia (intensidades) para las diferentes duraciones.

Un modelo general es:

$$I = \frac{a}{(b + d)^n}^5$$

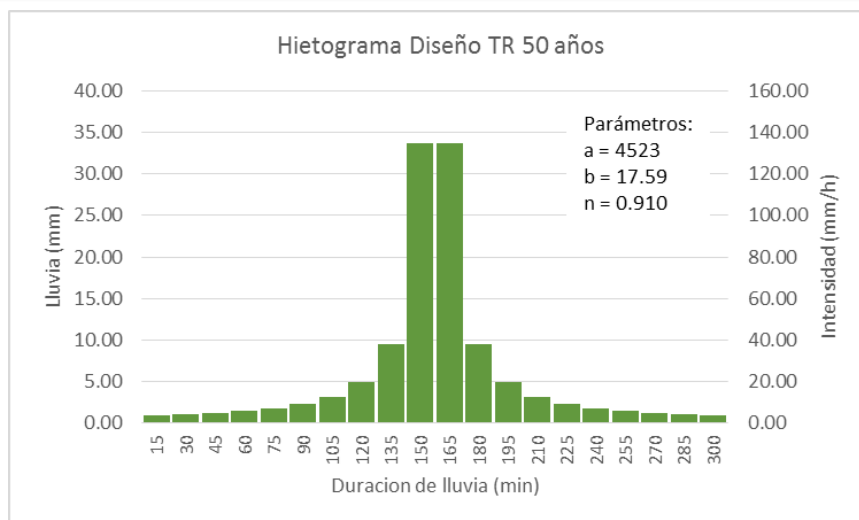
Donde *I* es la intensidad de la lluvia de diseño en mm/h, *d* es la duración de la tormenta en minutos, y *a*, *b* y *n* son coeficientes que varían con el lugar y el período de retorno.

| Cuenca Río Goascorán - Río Nacaome | | | | | | |
|------------------------------------|---------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Constantes | Período de Retorno (años) | | | | | |
| | 2 | 5 | 10 | 20 | 50 | 100 |
| a | 2,516 | 3,207 | 3,612 | 4,052 | 4,523 | 5,030 |
| b | 20.19 | 19.01 | 18.50 | 18.04 | 17.59 | 16.94 |
| n | 0.91 | 0.91 | 0.91 | 0.91 | 0.91 | 0.91 |



La distribución de la tormenta de diseño se hizo en base al método de los bloques alternos para los períodos de retorno seleccionados.

⁵ Fondo Hondureño de Inversión Social – FHIS (2002). Manual de Referencias Hidrológicas de Honduras, (p. 70).



4.6 TIEMPO DE CONCENTRACIÓN

Es el tiempo requerido por una gota para recorrer desde el punto hidráulicamente más lejano hasta la salida de la cuenca; transcurrido el tiempo de concentración se considera que toda la cuenca contribuye a la salida. Ya que existe una relación inversa entre la duración de una tormenta y su intensidad (a mayor duración la intensidad disminuye), entonces se ha asumido que la duración crítica es igual al tiempo de concentración.

El tiempo de concentración depende de muchos factores, entre otros de la geometría en planta de la cuenca, de su pendiente, área, características del suelo, cobertura vegetal, etc. Las fórmulas más comunes solo incluyen la pendiente, la longitud del cauce mayor desde la divisoria y el área.

Para estimar el tiempo de concentración se ha utilizado la fórmula de Kirpich (1940):

$$t_c = 0.01947 \left(\frac{L^{0.77}}{S^{0.385}} \right)^{67}$$

Donde t_c es el tiempo de concentración en minutos, L es la longitud del cauce en metros, y S es la pendiente promedio de la cuenca en m/m.

4.7 ESTIMACIÓN DEL CAUDAL

⁶ Chow, V., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1994). Hidrología Aplicada (p. 513). McGraw-Hill.

⁷ Fondo Hondureño de Inversión Social – FHIS (2002). Manual de Referencias Hidrológicas de Honduras, (p. 63).

El objetivo fundamental del análisis hidrológico es determinar el caudal que se espera que no sea sobrepasado en un cierto periodo de tiempo. Dicho periodo de tiempo corresponde al período de retorno, que depende del grado de importancia de las estructuras a diseñarse.

En el caso que nos ocupa, el período de retorno para la revisión y diseño de alcantarillas es de 25 años, y 50 años para cajas.

Para áreas de aportación menor a 200 hectáreas es válido la aplicación del Método Racional para la estimación del Caudal; en cuencas mayores se aplica el Método del Número de Curva del SCS (del inglés Soil Conservation Service).

4.7.1 Método Racional

El método racional estima el caudal máximo a partir de las precipitaciones, abarcando todas las abstracciones en un solo coeficiente, coeficiente de escorrentía, estimado sobre la base de las características de la cuenca. La descarga máxima de diseño, según esta metodología, se obtiene a partir de la aplicación de la fórmula.

$$Q = \frac{CIA}{360}^8$$

Donde Q es el caudal máximo de diseño en m^3/s , C es el coeficiente de escorrentía, I es la intensidad de precipitación máxima horaria en mm/h , y A es el área de la cuenca en hectáreas.

4.7.2 Método del Número de Curva del Soil Conservation Service (SCS)

El método del número de curva, fue desarrollado para el cálculo de las abstracciones de una tormenta. En este método, la profundidad de escorrentía o precipitación efectiva, está en función de la precipitación total y de un parámetro de abstracción referido al número de curva (CN)

Para la estimación del caudal a través del método de número de curva se utilizó el Programa HEC-HMS v. 4.0.

El caudal pico se estimó para el mismo período de retorno en base al hietograma construido, que sirvió como dato de entrada para el modelo HEC-HMS, además de los parámetros de tiempo del hidrograma unitario y el valor ponderado del CN, representativos de la misma cuenca.

En **Anexo 4** se adjunta *Memoria de Cálculo del Caudal de Diseño*.

4.8 EVALUACIÓN Y MODELAJE DE LAS ESTRUCTURAS

⁸ Fondo Hondureño de Inversión Social – FHIS (2002). Manual de Referencias Hidrológicas de Honduras, (p. 75).

Para el diseño y evaluación hidráulica de las estructuras se utilizó el modelo hidráulico HY-8 (Hydraulic Design of Highway Culverts, nombre en inglés), desarrollado por la Administración Federal de Carreteras de los Estados Unidos de América (Federal Highway Administration – FHWA, nombre y siglas en inglés).

Para el análisis hidráulico se aplicó la fórmula de Manning y la ecuación de continuidad para tuberías de concreto reforzado.

$$V = \frac{R^{2/3} S^{1/2}}{n}$$

Donde V es la velocidad en m/s, n es el coeficiente de rugosidad de Manning para tuberías de concreto reforzado (0.016¹⁰), R es el radio hidráulico en m, A es el área del flujo en m², P es el perímetro húmedo en m, y S es la pendiente del tramo en %.

Las alcantarillas se dimensionaron bajo los siguientes criterios:

- Se aceptan que el nivel de agua alcance una cota máxima a la cota clave de la alcantarilla, con una probabilidad de ocurrencia igual a la del período de retorno usado para diseño, es decir una vez en promedio cada 25 años.
- Velocidad mínima de 0.5 m/s para evitar sedimentación, e inferior a 6.0 m/s para evitar erosión de la estructura.

En busca de la solución técnico-económica más conveniente, se ha considerado como aceptable un nivel de agua en la entrada de la alcantarilla mayor a la cota máxima de la alcantarilla, siempre y cuando no ponga en peligro de falla estructural, ni funcional la estructura que desea atravesar, ni daños humanos ni materiales; en cuanto a la velocidad máxima permisible, en casos donde la velocidad sobrepase los límites admisibles, será necesario dar tratamiento especial a la salida con el fin de proteger el cauce aguas abajo y disipar la velocidad del agua.

En **Anexo 5** se adjunta los *Resultados a la Evaluación y Modelaje de las Estructuras*.

En **Anexo 6** se adjunta *Cuadro de Drenaje Propuesto* del tramo en estudio.

⁹ Chow, V., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1994). Hidrología Aplicada (p. 34). McGraw-Hill.

¹⁰ Aunque el valor del Coeficiente de Rugosidad de Manning recomendado por el fabricante para TCR es de 0.015, se utiliza 0.016 como seguridad por la variabilidad en la calidad de fabricación de las tuberías.

5. OTROS PROBLEMAS DE DRENAJE IDENTIFICADOS

A lo largo del tramo en estudio, Jicaro Galán – El Amatillo, se identificaron dos sitios que presentan falla por drenaje. Se realizó una evaluación de campo para determinar la causa y definir una solución. Se detallan los resultados:

5.1 ALC. NO. 8 – EST. 9+167.6960

| | |
|--------------------------------|--|
| Lugar: | Nacaome, Valle |
| Referencia: | Alc. 18 - Est. 9+167.6960 |
| Dirección de Flujo: | D-I |
| Estructura existente: | Tubería variable (concreto reforzado y metálica) de 60" |
| Coordenadas: | 444298.489 m. E., 1496104.004 m. N. |
| Problema: | Socavación de hombro derecho de la carretera, debido a falla de la estructura de drenaje existente. |
| Observaciones de Campo: | Estructura de drenaje existente de 60", de material variable (concreto reforzado y metálica). Según lo observado en campo, la tubería en la entrada de la alcantarilla era metálica, y se asume que fue robada. La ubicación de la alcantarilla en su entrada y salida, es correcta de acuerdo al corredero existente. Al lado izquierdo del corredero se ubican las instalaciones del basurero municipal, y al lado derecho una edificación abandonada. |
| Solución: | Se realizó un estudio hidrológico - hidráulico con el que se comprobó incapacidad hidráulica de la estructura existente (1 x 60"). Para garantizar la capacidad de la estructura para una avenida de 25 años de período de retorno, se recomienda una estructura de TCR 2 x 72". |



Obsérvese la falta de tubería metálica, que provocó la falla del hombro de la carretera

5.2 PUENTE RÍO GUASIROPE - EST. 4+850.

| | |
|--------------------------------|---|
| Lugar: | Nacaome, Valle |
| Nombre de Río o Puente: | Río Guasirope |
| Dirección de Flujo: | D-I |
| Estructura existente: | Puente metálico |
| Coordenadas: | 448200.44 m. E., 1497343.54 m. N. |
| Problema: | Socavación de hombro izquierdo de la carretera, producto de la escorrentía que corre por el sitio. |
| Observaciones de Campo: | Falta de cuneta al lado derecho de la carretera, por lo que el agua de escorrentía rebosa la vía, hacia el lado izquierdo de la misma, corriendo por el margen hasta desaguar en un punto bajo. |
| Solución: | De acuerdo al diseño geométrico, en este tramo se construirá cuneta en el margen derecho de la carretera, evitando con ello que el agua sobrepase el nivel de la rasante. |



Lado izquierdo de la carretera.



Lado derecho de la carretera. Obsérvese la falta de drenaje longitudinal – cuneta.



Uno de los accesos que conduce gran cantidad de escorrentía que cruza hacia el margen izquierdo.



Socavación del hombro izquierdo.



Corredero en la pata del talud del lado izquierdo de la carretera.



Vista hacia atrás, donde se ubica el puente metálico sobre el Río Guasirope. Véase socavación hombro izquierdo.

CONTENIDO

| | | |
|-----|---|----|
| 1. | Introducción | 2 |
| 2. | Ubicación del proyecto | 2 |
| 3. | Análisis hidroclimatológico | 3 |
| 3.1 | Precipitación media anual | 3 |
| 3.2 | Precipitación total mensual | 4 |
| 3.3 | Precipitación máxima diaria | 4 |
| 3.4 | Temperatura media anual | 6 |
| 4. | Evaluación y estudio del drenaje transversal. | 6 |
| 4.1 | Estudio de campo | 7 |
| 4.2 | Criterios de actuación | 8 |
| 4.3 | Evaluación de la información hidrológica | 9 |
| 4.4 | Estudio de las cuencas hidrográficas | 10 |
| 4.5 | Determinación de la tormenta de diseño | 11 |
| 4.6 | Tiempo de concentración | 13 |
| 4.7 | Estimación del caudal | 14 |
| 4.8 | Evaluación y modelaje de las estructuras | 15 |
| 5. | Sitios de vulnerabilidad identificados por copeco | 16 |
| 5.1 | Sitio 1 – est. 13+085.34 | 16 |
| 5.2 | Sitio 2 – est. 14+400.32 | 19 |
| 5.3 | Sitio 3 – est. 21+322.86 | 21 |

1. INTRODUCCIÓN

El presente informe final, resume los resultados de la evaluación, estudio y diseño del drenaje transversal, incluyendo alcantarillas y cajas, del Tramo Carretero Jicaro Galán – Choluteca.

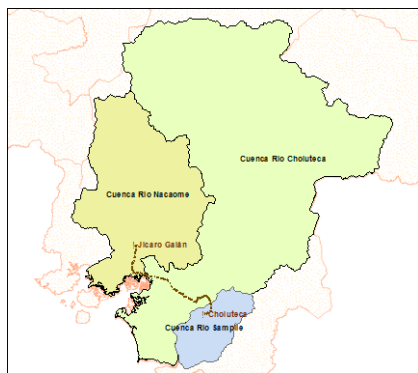
Ya que el proyecto consiste en la rehabilitación de una vía existente, fue necesario evaluar la situación actual de las estructuras de drenaje, a través de un inventario de campo, identificando un total de 173 obras de drenaje transversal, 154 alcantarillas y 19 cajas. A partir del inventario de drenaje se establecieron los diferentes criterios de evaluación y diseño. El drenaje transversal, en su mayoría, se realiza mediante obras de sección circular, de concreto reforzado o metálicas, que en algunos casos se encuentran en mal estado de conservación, aterradas u obstruidas. Para aquellas obras en mal estado, se realizó un estudio hidrológico – hidráulico, que permitiera el dimensionamiento de una nueva obra con mayor capacidad de desagüe. Para las demás alcantarillas se propone una actuación, según sea el caso. En cuanto a las cajas, se realizó una evaluación hidrológica – hidráulica de todas ellas, proponiendo lo que fuera necesario para garantizar una capacidad hidráulica para un caudal pico a 50 años de período de retorno.

Para el estudio y diseño hidrológico – hidráulico, fue necesario delimitar cada una de las cuencas en estudio, y obtener sus características morfométricas más importantes; luego se analizaron las condiciones pluviométricas, ubicando las estaciones hidroclimatológicas más cercanas a la zona de estudio. Se desarrolló el análisis del caudal pico; para el cual, debido a la escasez de datos hidrológicos y al tamaño de las cuencas, se optó por utilizar la información y metodología proporcionada por el *Manual de Referencias Hidrológicas* del FHIS, así como la información disponible en la Dirección General de Recursos Hídricos de la Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente (SERNA). Finalmente, se empleó el software HY-8 para evaluar la capacidad hidráulica de las alcantarillas y cajas, presentando los resultados obtenidos.

2. UBICACIÓN DEL PROYECTO

El corredor vial objeto de estudio se localiza en los Departamentos de Valle y Choluteca, inicia en la ciudad de Jicaro Galán, Departamento de Valle, y finaliza en la ciudad de Choluteca, Departamento de Choluteca, con una longitud total de 56.84 Km.

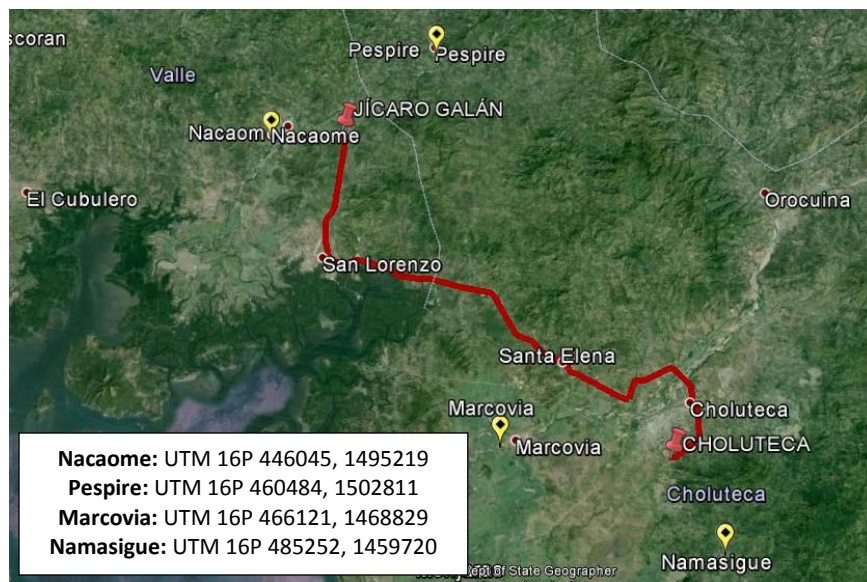
El tramo carretero transcurre por las cuencas de Nacaome, Choluteca y Sampire, pertenecientes a la Macrocuena Centro – Sur.



La Cuenca del Río Nacaome está ubicada entre los Departamentos de Francisco Morazán, El Paraíso, Choluteca y Valle. La Cuenca del Río Choluteca está ubicada entre los Departamentos de Francisco Morazán, El Paraíso, Choluteca, Valle y es cuenca internacional con Nicaragua. La Cuenca del Río Sampire está ubicada en el Departamento de Choluteca, y es cuenca internacional con Nicaragua. En el proyecto en estudio, intervienen 3 municipios – Nacaome, San Lorenzo y Choluteca - caracterizados por sus recursos hídricos, zonas agrícolas, ganaderas y pesqueras.

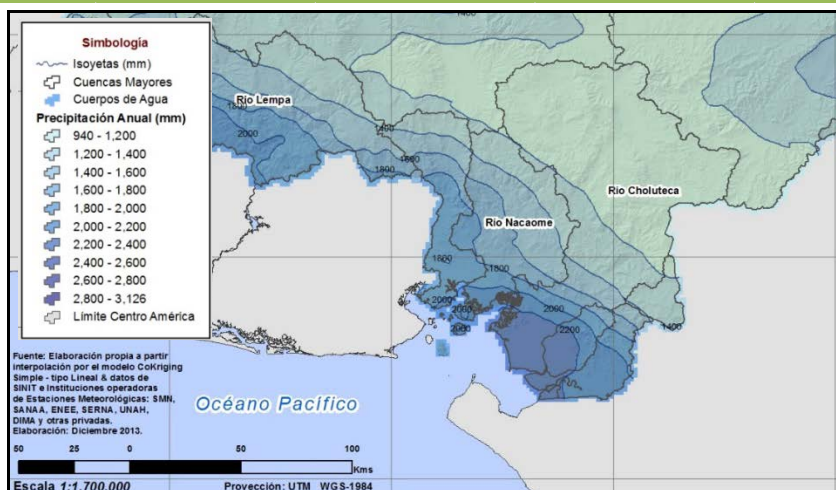
3. ANALISIS HIDROCLIMATOLÓGICO

Para el análisis hidroclimatológico se tomó información de las estaciones climáticas ubicadas a inmediaciones del emplazamiento, con el objetivo de realizar el análisis espacial y temporal del área de estudio, que permita caracterizar el comportamiento de los elementos meteorológicos de mayor importancia como son precipitación, temperatura y humedad relativa.



3.1 PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL¹

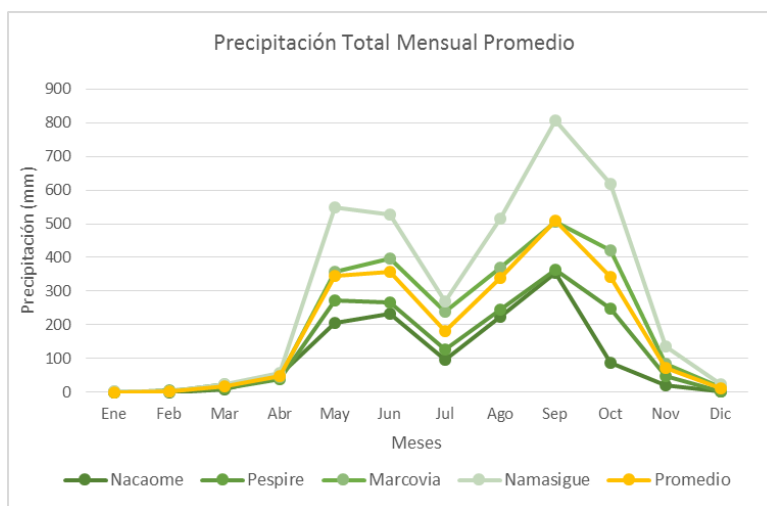
| Cuenca | Area (Km ²) | Promedio (mm/año) | Máximo (mm/año) | Mínimo (mm/año) |
|---------------|-------------------------|-------------------|-----------------|-----------------|
| Río Nacaome | 2808.3 | 1570.53 | 2183.74 | 1152.21 |
| Río Choluteca | 7575.6 | 1263.37 | 2345.48 | 999.74 |
| Río Sampire | 593.11 | 2110.58 | 2306.2 | 1585.74 |



¹ UNAH-DGRH – Informe de Evaluación de los Recursos Hídricos en su Régimen Natural a Nivel Nacional.

3.2 PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL

| Estación | Precipitación Total Mensual (mm) | | | | | | | | | | | |
|------------------|----------------------------------|-------------|--------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|--------------|--------------|
| | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic |
| Nacaome | 0 | 0.2 | 7.3 | 50.5 | 205.4 | 233.1 | 96.6 | 225.1 | 355.7 | 86.7 | 21.8 | 2 |
| Pespire | 0.6 | 6 | 10.6 | 38.2 | 274 | 267.4 | 125.9 | 245 | 362.1 | 247 | 48 | 3.4 |
| Marcovia | 1.1 | 3.1 | 22.7 | 44.7 | 356.5 | 396.1 | 239.2 | 370.9 | 507.2 | 420.9 | 84.5 | 13.3 |
| Namasigue | 1.9 | 3.4 | 24.5 | 56.4 | 549.5 | 528 | 269.3 | 515.9 | 806.9 | 618.3 | 135.3 | 22.6 |
| Promedio | 0.90 | 3.18 | 16.28 | 47.45 | 346.35 | 356.15 | 182.75 | 339.23 | 507.98 | 343.23 | 72.40 | 10.33 |
| Desv. Est. | 0.80 | 2.37 | 8.60 | 7.80 | 148.86 | 134.35 | 84.32 | 134.31 | 211.21 | 228.59 | 49.19 | 9.61 |

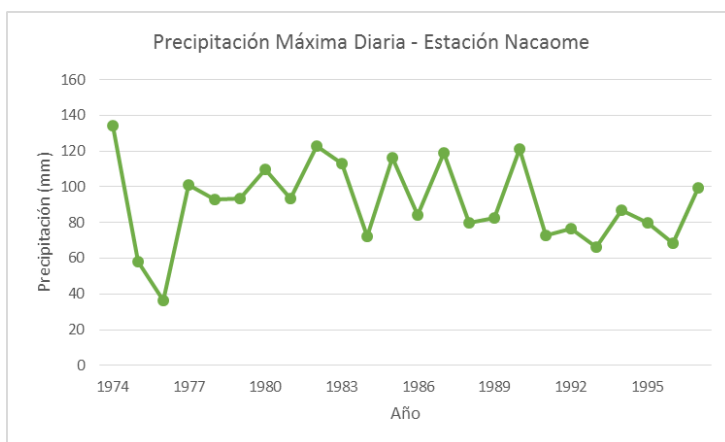


De acuerdo a los datos recabados, existe una marcada estación seca, de Noviembre a Abril, con una precipitación máxima promedio de 70.0 mm.; de Mayo a Octubre la precipitación máxima promedio es de 500.0 mm., teniendo el fenómeno de canícula en Julio, y una precipitación máxima en Septiembre.

3.3 PRECIPITACIÓN MÁXIMA DIARIA

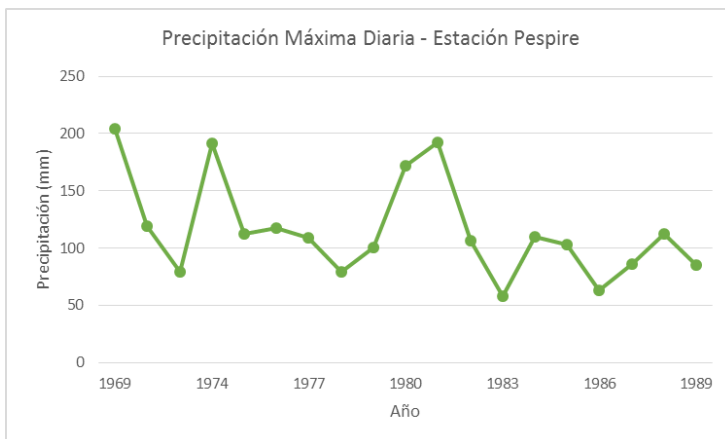
- **Estación Nacaome:** Registra datos de precipitación máxima diaria desde 1972 hasta 1995 (24 años). La máxima precipitación diaria, 121.0 mm, se registró en Agosto de 1988, un valor notablemente menor a las otras estaciones.

| Estadística | Valor |
|---------------------|--------|
| Número de eventos | 24 |
| Rango | 98.31 |
| Promedio | 90.9 |
| Varianza | 553.14 |
| Desviación Estándar | 23.52 |
| Sesgo | -0.16 |
| Curtosis | -0.12 |



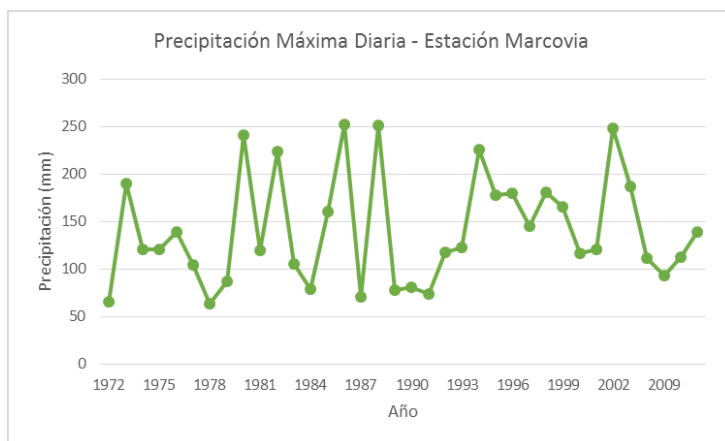
- **Estación Pespire:** Registra datos de precipitación máxima diaria desde 1969 hasta 1989 (20 años). La máxima precipitación diaria, 193.0 mm, se registró en Mayo de 1981.

| Estadística | Valor |
|---------------------|---------|
| Número de eventos | 19 |
| Rango | 146.05 |
| Promedio | 116.04 |
| Varianza | 1876.95 |
| Desviación Estándar | 43.32 |
| Sesgo | 0.95 |
| Curtosis | 0 |



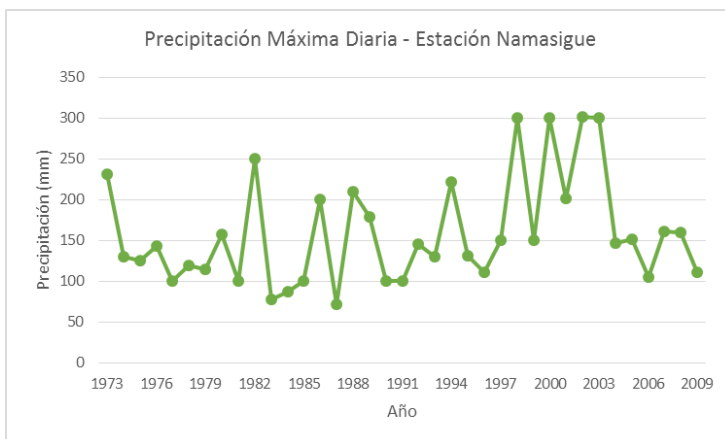
- **Estación Marcovia:** Registra datos de precipitación máxima diaria desde 1972 hasta 2011 (36 años). La máxima precipitación diaria, 259.0 mm, se registró en Septiembre de 2004.

| Estadística | Valor |
|---------------------|---------|
| Número de eventos | 36 |
| Rango | 188.7 |
| Promedio | 140.79 |
| Varianza | 3287.22 |
| Desviación Estándar | 57.33 |
| Sesgo | 0.62 |
| Curtosis | -0.68 |



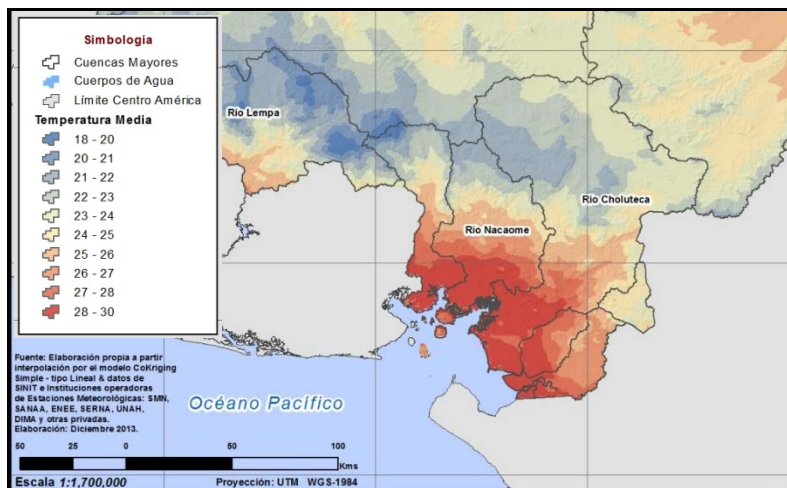
- **Estación Namasigue:** Registra datos de precipitación máxima diaria desde 1973 hasta 2009 (37 años). La máxima precipitación diaria, 300.9 mm, se registró en Abril de 2002.

| Estadística | Valor |
|---------------------|---------|
| Número de eventos | 37 |
| Rango | 229.2 |
| Promedio | 158.84 |
| Varianza | 4328.52 |
| Desviación Estándar | 65.79 |
| Sesgo | 1.01 |
| Curtosis | 0.14 |



3.4 TEMPERATURA MEDIA ANUAL²

| Cuenca | Area (Km ²) | Valor Medio (°C) | Valor Máximo (°C) | Valor Mínimo (°C) |
|---------------|----------------------------|---------------------|----------------------|----------------------|
| Río Nacaome | 2808.3 | 25.6 | 34.62 | 14.99 |
| Río Choluteca | 7575.6 | 24.07 | 34.5 | 15.15 |
| Río Sampile | 593.11 | 27.65 | 34.13 | 20.56 |



4. EVALUACIÓN Y ESTUDIO DEL DRENAJE TRANSVERSAL.

Los sistemas de drenaje transversal son aquellos elementos que transportan agua cruzando el eje de la carretera. Por lo general, el cruce se realiza de manera perpendicular al eje y transportan el aporte de la cuenca que se encuentra aguas arriba de la vía en dirección aguas abajo.

La evaluación y estudio del drenaje transversal tiene como objetivos esenciales:

- Revisar, analizar y evaluar la operatividad del sistema de drenaje existente, en la cantidad que hubiere, identificando los posibles orígenes de las fallas que se observen, proponiendo a causa de ello las mejoras u obras complementarias que se requieran para su buen funcionamiento.
- A partir del inventario de drenaje existente, ubicar e identificar aquellas estructuras de drenaje que presenten problemas graves y requieren de un estudio y diseño hidrológico – hidráulico detallado, analizando lo que necesiten para la operación segura y eficiente de la vía, garantizando las condiciones futuras del tránsito en el área del proyecto.

² UNAH-DGRH – Informe de Evaluación de los Recursos Hídricos en su Régimen Natural a Nivel Nacional.

4.1 ESTUDIO DE CAMPO

El propósito del estudio de campo fue identificar, obtener y evaluar la información referida al estado actual de las obras de drenaje existentes, condiciones topográficas e hidrológicas del área de su emplazamiento, analizando las posibilidades de su aprovechamiento. Así mismo, permitió identificar y evaluar los sectores críticos actuales y potenciales de origen hídrico, como deslizamientos, derrumbes, erosiones, áreas inundables, asentamientos, etc. que inciden negativamente en la conservación y permanencia de la estructura vial.

De las obras de drenaje existentes, se evaluó:

- Las condiciones generales de las estructuras y sus proximidades; posibles cambios en el área de drenaje que puedan afectar las características de escorrentía.
- Las condiciones de la calzada y el terraplén, y su adecuación funcional.
- Los componentes hidráulicos de las alcantarillas:
 - Alineamiento horizontal de las alcantarillas con el cauce: mala alineación puede reducir la capacidad hidráulica de la alcantarilla.
 - Alineamiento vertical de la alcantarilla: puede causar problemas con la sedimentación o erosión.
 - Sedimentación o socavación: relacionado con el alineamiento vertical (fuerte pendiente), alineamiento horizontal, o a flujos frecuentes de altas magnitudes que resultan de los cambios en la cuenca.
 - Acumulación de desechos y sedimentos: causado por un número de factores que incluyen una abertura demasiado pequeña de la alcantarilla, instalación de la alcantarilla por debajo del lecho, obstrucciones aguas abajo, desarrollo aguas arriba.

Mediante una inspección visual de las estructuras de drenaje se determinaron sus dimensiones, se evaluó la operatividad del sistema, e identificaron los posibles orígenes de las fallas que se observaron. Con tecnología RTK (del inglés Real Time Kinematic) se tomaron las coordenadas, elevaciones invertidas a la entrada y salida, y longitudes de cada una de las estructuras de drenaje.

Para el tramo Jicaro Galán – Choluteca, el sistema de drenaje transversal existente está formado por un 11% de cajas, y 89% de alcantarillas, las cuales se dividen en 33.77% en tubería de concreto reforzado, 61.69% en tubería metálica, 3.90% de material variable (combinación de tubería metálica y tubería de concreto reforzado), y un restante 0.65% de material desconocido – por no haberse podido evaluar.

En **Anexo 1** se adjunta *Inventario de Drenaje Existente* del tramo en estudio.

4.2 CRITERIOS DE ACTUACIÓN

Para las alcantarillas, a partir del inventario de drenaje existente se establecieron los siguientes criterios de actuación:

- Aquellas alcantarillas en mal estado o con problemas graves, como insuficiencia hidráulica, azolvamiento, mala alineación horizontal y/ vertical. De ellas se realiza un estudio hidrológico – hidráulico detallado a fin de garantizar su capacidad hidráulica y correcta operación. *Corresponden al 15.53% para el tramo en estudio.*
- Aquellas alcantarillas que operan correctamente, pero con tubería metálica dañada por óxido y corrosión. Se recomienda sustituir por tubería de concreto reforzado, del mismo diámetro existente. *Corresponden al 32.47% para el tramo en estudio.*
- Aquellas alcantarillas que operan correctamente, y con tubería metálica en buen estado o con daños menores por óxido. Se recomienda sustituir tubería metálica por tubería de concreto reforzado, para garantizar la vida útil de las obras. *Corresponden al 11.04% para el tramo en estudio.*
- Aquellas alcantarillas que operan correctamente, pero con tubería de 24" de diámetro. Se recomienda cambiar a tubería de 36", ya que por cuestiones de acceso y limpieza es el diámetro mínimo recomendado. *Corresponden al 10.39% para el tramo en estudio.*
- Alcantarillas en buen estado, pero requieren de obras para un correcto funcionamiento. Se recomiendan obras complementarias para garantizar una buena captación y evacuación de las aguas, y protección contra socavación. *Corresponden al 17.53% para el tramo en estudio.*
- Aquellas alcantarillas que no requieren ninguna atención especial. *Corresponden al 11.04% en este tramo.*

Para las cajas, a pesar de que el inventario de drenaje indica que las cajas están en buenas condiciones, y funcionan correctamente – desde el aspecto hidrológico – hidráulico, para cada una de ellas se realizó el estudio hidrológico – hidráulico, a partir del cual se establecieron los siguientes criterios de actuación:

- Aquellas cajas con una capacidad hidráulica insuficiente de acuerdo al período de retorno seleccionado, se propone colocar una estructura complementaria (tubería), para garantizar su óptimo funcionamiento en eventos extraordinarios. *Corresponden al 10.53% para el tramo en estudio.*
- Aquellas cajas en buen estado, pero requieren de obras para un correcto funcionamiento. Se recomiendan obras complementarias para garantizar una buena captación y evacuación de las aguas, y protección contra socavación. *Corresponden al 42.11% para el tramo en estudio.*
- Aquellas cajas que no requieren ninguna atención especial. *Corresponden al 47.37% para el tramo en estudio.*

4.3 EVALUACIÓN DE LA INFORMACIÓN HIDROLÓGICA

Se realizó la evaluación de la información hidrológica para el tramo Jicaro Galán – Choluteca.

Dado que el país tiene limitaciones en la disponibilidad de datos, ya sea hidrométricos como pluviométricos, y la mayor parte de las cuencas hidrográficas no se encuentran instrumentadas, generalmente se utilizan métodos indirectos para la estimación del caudal de diseño. De acuerdo a la información disponible, se eligió el método más adecuado para obtener estimaciones de la magnitud del caudal, Método Racional – para cuencas menores a 200 hectáreas; en cuencas mayores se utiliza el Método del Número de Curva de SCS (del inglés Soil Conservation Service).

Como referencia, se utiliza información hidrológica de la Estación Pluviométrica de Nacaome (UTM 16P Coordenada Este: 446045, Coordenada Norte: 1495219), la más cercana a la zona del proyecto, del Manual de Referencias Hidrológicas de Honduras, mediante las curvas de intensidad – duración – frecuencia (Curvas IDF).



De acuerdo con el Manual de Carreteras de SOPTRAVI, se ha seleccionado un período de retorno de 25 años para la revisión y diseño de alcantarillas, y un período de retorno de 50 años para la revisión de cajas. Un período de retorno de 50 años tiene en promedio una probabilidad de ser igualado o superado igual a 0.02 en un año cualquiera.

Tabla 2.1 VALORES TÍPICOS DE LA RECURRENCIA DE DISEÑO PARA OBRAS DE DISTINTO TIPO

| Tipo de Estructura | Tr (años) |
|--|-------------------------|
| Puentes en caminos principales donde el remanso puede ocasionar daños a la propiedad privada o resultar en la pérdida del puente | 50 - 100 años |
| Puentes en caminos secundarios o alcantarillas en caminos principales | 25 años |
| Alcantarillas en caminos secundarios, colectores pluviales o cunetas laterales | 5 - 10 años |
| Tragantes, bordillos, conductos | 1 - 2 años ¹ |

Fuente: "Highway Engineering Handbook", Woods, Capítulo 12 Ed. Mc Graw - Hill

4.4 ESTUDIO DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS

El estudio de las cuencas está orientado a determinar sus características hídricas respecto a su aporte y el comportamiento hidrológico. El mayor conocimiento de la dinámica de las cuencas permite tomar decisiones respecto al establecimiento de las obras viales. Es importante determinar las características físicas de las cuencas como son: el área, forma de la cuenca, sistemas de drenaje, características del relieve, suelos, etc. Estas características dependen de la morfología (forma, relieve, red de drenaje, etc.), tipos de suelos, cobertura vegetal, geología, prácticas agrícolas, etc. Estos elementos físicos proporcionan la más conveniente posibilidad de conocer la variación en el espacio de los elementos del régimen hídrico.

Para esto se utilizó la información cartográfica proporcionada por el Instituto Geográfico Nacional (Hojas Cartográficas Langué 2656 I, Nacaome 2756 IV, San Lorenzo 2756 III, Orocuina 2756 II, Choluteca 2755 I, Santa María 2755 II, Somotillo 2855 III, a escala 1:50,000), donde se ubicó el trazo del tramo carretero Jicaro Galán – Choluteca, ubicando en ella las fuentes de agua y cursos principales que cruzan la carretera en estudio, delimitando por ello las sub-cuencas hidrográficas correspondientes a cada curso de agua, que determinan los parámetros físicos propios del terreno.

En **Anexo 2** se adjunta *Planta de Cuencas Hidrográficas* del tramo en estudio.

Independientemente de la metodología que se utilice para el cálculo de los caudales de diseño, es imprescindible caracterizar el suelo de cada una de las cuencas. Suelos con alta capacidad de infiltración, se observan bajas escorrentías; por el contrario, bajas infiltraciones generan escorrentías mayores.

Para las cuencas analizadas del Tramo Jicaro Galán – Choluteca, de acuerdo con el mapa nacional de capacidad hidrológica de los suelos se clasifican en 63% de C y 37% de N; de acuerdo con el mapa nacional de usos de suelo se clasifican en 10.08% Matorrales, 4.04% Bosque Latifoliado, 10.55% Bosque Seco, 0.99% AgroComercial, y 74.34% Agropecuario.

El coeficiente de escorrentía (C) representa la porción de la precipitación que se convierte en caudal, es decir la relación entre el volumen de escorrentía superficial y el de precipitación total sobre un área determinada. El coeficiente de escorrentía puede tomar valores de 0 a 1, a medida que el valor tiende a 1, mayor será la cantidad de agua precipitada que se convertirá en caudal superficial.

Para determinar el coeficiente de escorrentía se utilizó como referencia la tabla de datos propuesta en el Manual de Referencias Hidrológicas del FHIS³, de acuerdo al tipo y uso de los suelos del área en estudio, y la topografía de la misma.

El número de curva (CN) es un parámetro empírico propuesto por el Soil Conservation Service (SCS, en español Servicio de Conservación de los Recursos Naturales de EE.UU.). Se representa por un número adimensional de 0 a 100, donde números de curva altos implican escorrentías elevadas, en cambio, números de curva bajos aseguran altas tasas de infiltración y baja escorrentía.

Para determinar el número de curva se utilizó como referencia la tabla de datos propuesta en el Manual de Referencias Hidrológicas del FHIS⁴, de acuerdo al uso y capacidad hidrológica de los suelos del área en estudio.

En **Anexo 3** se adjunta *Cuadro de Parámetros Morfométricos, Número de Curva y Coeficiente de Escorrentía* del tramo en estudio.

4.5 DETERMINACIÓN DE LA TORMENTA DE DISEÑO

Una tormenta de diseño es un patrón de precipitación definido para utilizarse en el diseño de un sistema hidrológico, y usualmente conforma la entrada al sistema. Las tormentas de diseño pueden basarse en información histórica de precipitación de una zona o pueden construirse utilizando las características generales de la precipitación en regiones adyacentes.

Para determinar la tormenta de diseño se utilizó el mapa de isopletas (a, b y n) y las curvas de intensidad – duración – frecuencia (Curvas IDF), que relacionan la intensidad de la lluvia, la duración de la misma y la frecuencia con la que se puede presentar, es decir su probabilidad de ocurrencia o el período de retorno.

Las Curvas IDF se expresan en un juego de curvas o ecuaciones empíricas a las que se ajustan los valores de lluvia (intensidades) para las diferentes duraciones.

Un modelo general es:

$$I = \frac{a}{(b + d)^n}^5$$

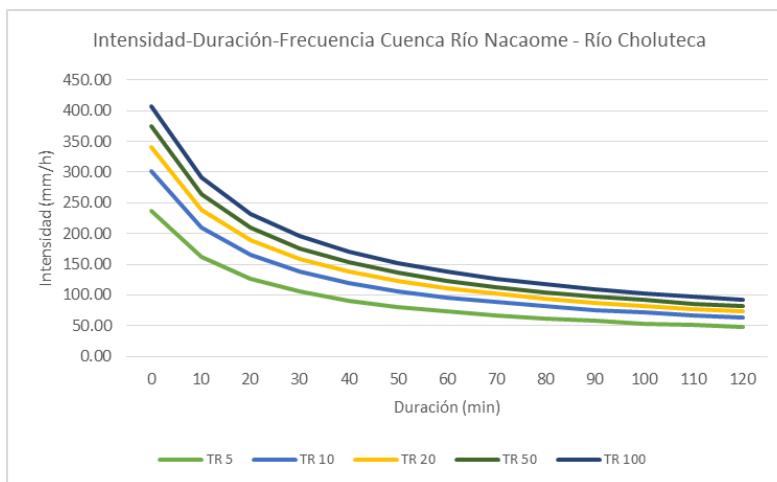
³ Fondo Hondureño de Inversión Social – FHIS (2002). Manual de Referencias Hidrológicas de Honduras, (p. 46).

⁴ Fondo Hondureño de Inversión Social – FHIS (2002). Manual de Referencias Hidrológicas de Honduras, (p. 43).

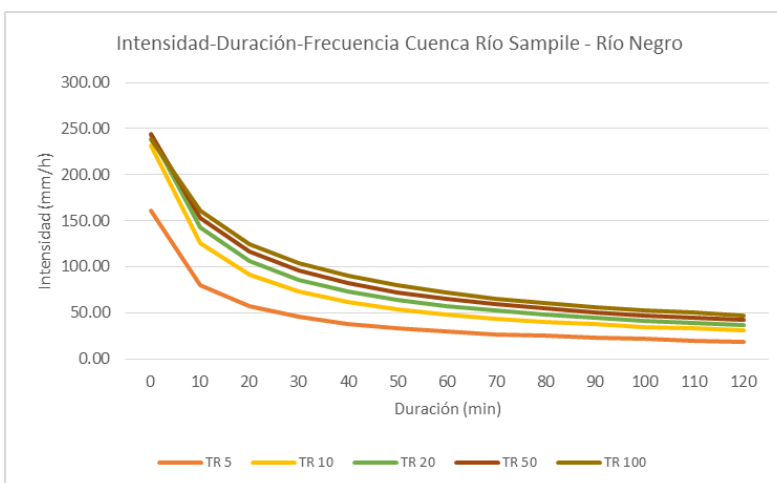
⁵ Fondo Hondureño de Inversión Social – FHIS (2002). Manual de Referencias Hidrológicas de Honduras, (p. 70).

Donde I es la intensidad de la lluvia de diseño en mm/h, d es la duración de la tormenta en minutos, y a , b y n son coeficientes que varían con el lugar y el período de retorno.

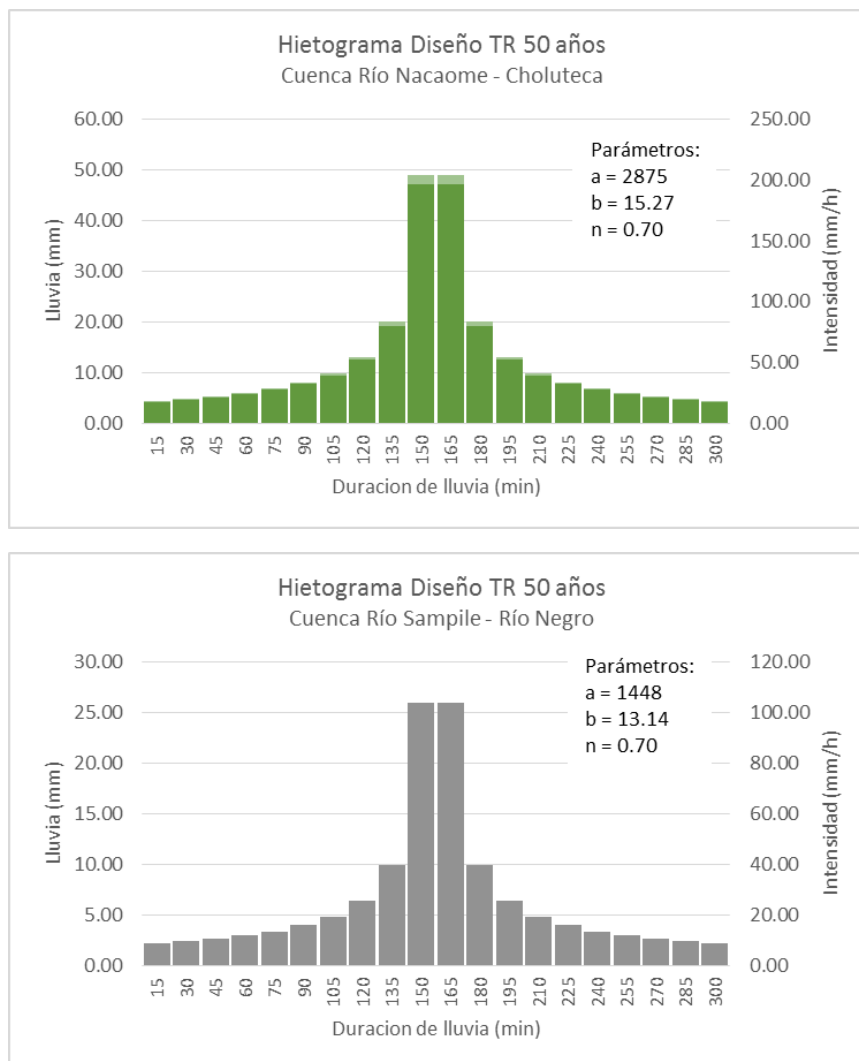
| Cuenca Río Nacaome - Río Choluteca | | | | | | |
|------------------------------------|---------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Constantes | Período de Retorno (años) | | | | | |
| | 2 | 5 | 10 | 20 | 50 | 100 |
| a | 1,488 | 1,972 | 2,286 | 2,545 | 2,875 | 3,226 |
| b | 13.79 | 14.66 | 15.13 | 15.44 | 16.27 | 16.90 |
| n | 0.70 | 0.70 | 0.70 | 0.70 | 0.70 | 0.70 |



| Cuenca Río Sampile - Río Negro | | | | | | |
|--------------------------------|---------------------------|------|-------|-------|-------|-------|
| Constantes | Período de Retorno (años) | | | | | |
| | 2 | 5 | 10 | 20 | 50 | 100 |
| a | 558 | 918 | 1,111 | 1,276 | 1,448 | 1,693 |
| b | 5.89 | 7.15 | 8.79 | 10.62 | 13.14 | 15.56 |
| n | 0.70 | 0.70 | 0.70 | 0.70 | 0.70 | 0.70 |



La distribución de la tormenta de diseño se hizo en base al método de los bloques alternos para los períodos de retorno seleccionados.



4.6 TIEMPO DE CONCENTRACIÓN

Es el tiempo requerido por una gota para recorrer desde el punto hidráulicamente más lejano hasta la salida de la cuenca; transcurrido el tiempo de concentración se considera que toda la cuenca contribuye a la salida. Ya que existe una relación inversa entre la duración de una tormenta y su intensidad (a mayor duración la intensidad disminuye), entonces se ha asumido que la duración crítica es igual al tiempo de concentración.

El tiempo de concentración depende de muchos factores, entre otros de la geometría en planta de la cuenca, de su pendiente, área, características del suelo, cobertura vegetal, etc. Las fórmulas más comunes solo incluyen la pendiente, la longitud del cauce mayor desde la divisoria y el área.

Para estimar el tiempo de concentración se ha utilizado la fórmula de Kirpich (1940):

$$t_c = 0.01947 \left(\frac{L^{0.77}}{S^{0.385}} \right)^{67}$$

Donde t_c es el tiempo de concentración en minutos, L es la longitud del cauce en metros, y S es la pendiente promedio de la cuenca en m/m.

4.7 ESTIMACIÓN DEL CAUDAL

El objetivo fundamental del análisis hidrológico es determinar el caudal que se espera que no sea sobrepasado en un cierto periodo de tiempo. Dicho periodo de tiempo corresponde al período de retorno, que depende del grado de importancia de las estructuras a diseñarse.

En el caso que nos ocupa, el período de retorno para la revisión y diseño de alcantarillas es de 25 años, y 50 años para cajas.

Para áreas de aportación menor a 200 hectáreas es válido la aplicación del Método Racional para la estimación del Caudal; en cuencas mayores se aplica el Método del Número de Curva del SCS (del inglés Soil Conservation Service).

4.7.1 Método Racional

El método racional estima el caudal máximo a partir de las precipitaciones, abarcando todas las abstracciones en un solo coeficiente, coeficiente de escorrentía, estimado sobre la base de las características de la cuenca. La descarga máxima de diseño, según esta metodología, se obtiene a partir de la aplicación de la fórmula.

$$Q = \frac{CIA}{360}^8$$

Donde Q es el caudal máximo de diseño en m^3/s , C es el coeficiente de escorrentía, I es la intensidad de precipitación máxima horaria en mm/h, y A es el área de la cuenca en hectáreas.

4.7.2 Método del Número de Curva del Soil Conservation Service (SCS)

El método del número de curva, fue desarrollado para el cálculo de las abstracciones de una tormenta. En este método, la profundidad de escorrentía o precipitación efectiva, está en función de la precipitación total y de un parámetro de abstracción referido al número de curva (CN)

Para la estimación del caudal a través del método de número de curva se utilizó el Programa HEC-HMS v. 4.0.

⁶ Chow, V., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1994). Hidrología Aplicada (p. 513). McGraw-Hill.

⁷ Fondo Hondureño de Inversión Social – FHIS (2002). Manual de Referencias Hidrológicas de Honduras, (p. 63).

⁸ Fondo Hondureño de Inversión Social – FHIS (2002). Manual de Referencias Hidrológicas de Honduras, (p. 75).

El caudal pico se estimó para el mismo período de retorno en base al hietograma construido, que sirvió como dato de entrada para el modelo HEC-HMS, además de los parámetros de tiempo del hidrograma unitario y el valor ponderado del CN, representativos de la misma cuenca.

En **Anexo 4** se adjunta *Memoria de Cálculo del Caudal de Diseño*.

4.8 EVALUACIÓN Y MODELAJE DE LAS ESTRUCTURAS

Para el diseño y evaluación hidráulica de las estructuras se utilizó el modelo hidráulico HY-8 (Hydraulic Design of Highway Culverts, nombre en inglés), desarrollado por la Administración Federal de Carreteras de los Estados Unidos de América (Federal Highway Administration – FHWA, nombre y siglas en inglés).

Para el análisis hidráulico se aplicó la fórmula de Manning y la ecuación de continuidad para tuberías de concreto reforzado.

$$V = \frac{R^{2/3} S^{1/2}}{n}^9$$

Donde V es la velocidad en m/s, n es el coeficiente de rugosidad de Manning para tuberías de concreto reforzado (0.016^{10}), R es el radio hidráulico en m, A es el área del flujo en m^2 , P es el perímetro húmedo en m, y S es la pendiente del tramo en %.

Las alcantarillas se dimensionaron bajo los siguientes criterios:

- Se aceptan que el nivel de agua alcance una cota máxima a la cota clave de la alcantarilla, con una probabilidad de ocurrencia igual a la del período de retorno usado para diseño, es decir una vez en promedio cada 25 años.
- Velocidad mínima de 0.5 m/s para evitar sedimentación, e inferior a 6.0 m/s para evitar erosión de la estructura.

En busca de la solución técnico-económica más conveniente, se ha considerado como aceptable un nivel de agua en la entrada de la alcantarilla mayor a la cota máxima de la alcantarilla, siempre y cuando no ponga en peligro de falla estructural, ni funcional la estructura que desea atravesar, ni daños humanos ni materiales; en cuanto a la velocidad máxima permisible, en casos donde la velocidad sobrepase los límites admisibles, será necesario dar tratamiento especial a la salida con el fin de proteger el cauce aguas abajo y disipar la velocidad del agua.

En **Anexo 5** se adjunta los *Resultados a la Evaluación y Modelaje de las Estructuras*.

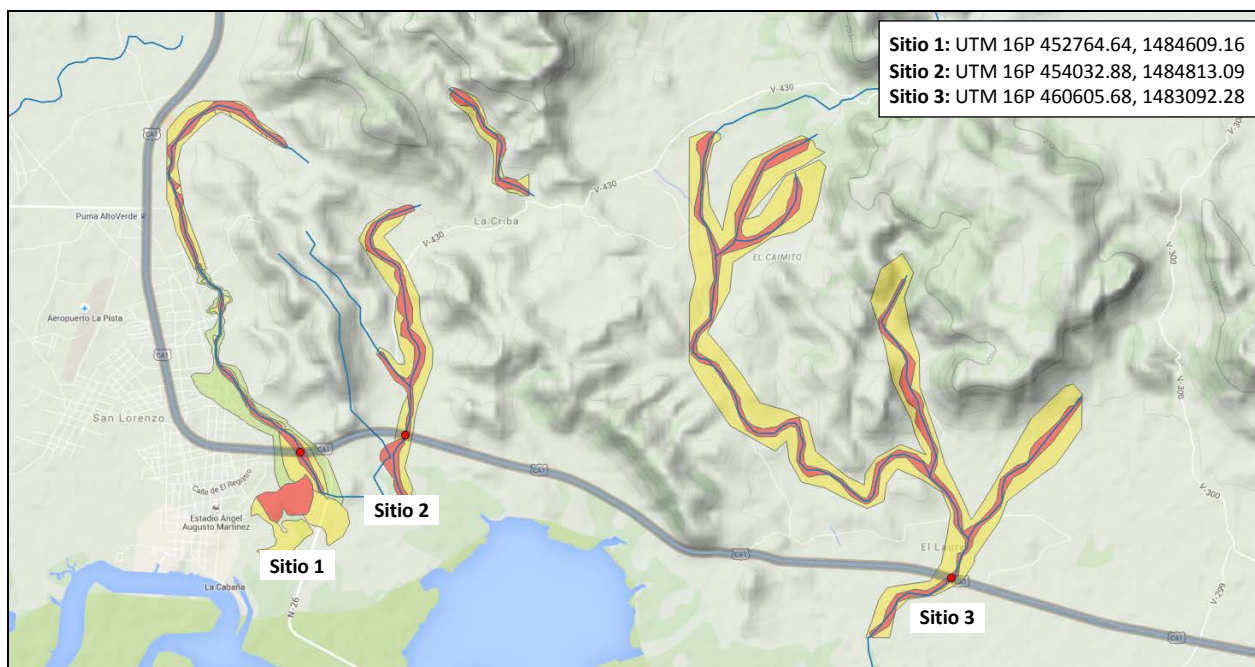
En **Anexo 6** se adjunta *Cuadro de Drenaje Propuesto* del tramo en estudio.

⁹ Chow, V., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1994). Hidrología Aplicada (p. 34). McGraw-Hill.

¹⁰ Aunque el valor del Coeficiente de Rugosidad de Manning recomendado por el fabricante para TCR es de 0.015, se utiliza 0.016 como seguridad por la variabilidad en la calidad de fabricación de las tuberías.

5. SITIOS DE VULNERABILIDAD IDENTIFICADOS POR COPECO

La Comisión Permanente de Contingencias (COPECO), ha identificado tres sitios de vulnerabilidad para Corredor Pacífico, del Tramo Jicaro Galán – Choluteca.



Para cada uno de los sitios, se realizó una investigación de campo, a fin de indagar sobre la posible causa; a continuación se detallan los hallazgos:

5.1 SITIO 1 – EST. 13+085.34

| | |
|--------------------------------|---|
| Lugar: | San Lorenzo, Valle |
| Nombre de Río o Puente: | Puente de la ENEE |
| Dirección de Flujo: | I-D |
| Estructura: | Puente de concreto reforzado |
| Coordenadas: | 452764.64 m. E., 1484609.16 m. N. |
| Observaciones de Campo: | Según lo indicaron pobladores del sector, en eventos extraordinarios, la quebrada no sigue el cauce de verano definido, sino que toma otro rumbo - cauce derecho, provocando inundaciones a las casas que están a la margen derecha del puente (aguas abajo), las cuales están próximas al nivel del río. Sin embargo, afirman nunca ha habido un desbordamiento que alcance el nivel de rasante de la carretera. |



Vista sobre puente, hacia Jicaro Galán.



Vista sobre puente, hacia Choluteca.



Vista aguas arriba.



Vista aguas arriba.



Vista aguas arriba.



Vista aguas abajo.



Vista aguas abajo.



Vista aguas abajo.

5.2 SITIO 2 – EST. 14+400.32

| | |
|--------------------------------|---|
| Lugar: | San Lorenzo, Valle |
| Nombre de Río o Puente: | Río Caucara |
| Dirección de Flujo: | I-D |
| Estructura: | Puente de concreto reforzado |
| Coordenadas: | 454032.88 m. E., 1484813.09 m. N. |
| Observaciones de Campo: | Según lo indicado por pobladores, incluso con altas precipitaciones - como la del fenómeno de El Mitch - el río no desbordó, provocando en aquella ocasión únicamente algunas inundaciones en viviendas. Sin embargo, dijeron que, si bien el nivel del río asciende rápidamente ante altas precipitaciones, también desciende rápidamente, por lo que no suele provocar daños graves. |



Vista sobre el puente, hacia Jicaro Galán.



Vista sobre el puente, hacia Choluteca.



Vista aguas arriba.



Vista aguas arriba.



Vista aguas abajo.



Vista aguas abajo.

5.3 SITIO 3 – EST. 21+322.86

| | |
|-------------------------|---|
| Lugar: | San Lorenzo, Valle |
| Nombre de Río o Puente: | Río Laure |
| Dirección de Flujo: | I-D |
| Estructura: | Puente de concreto reforzado |
| Coordenadas: | 460605.68 m. E., 1483092.28 m. N. |
| Observaciones de Campo: | <p>Según pobladores de la zona, el río siempre provoca inundaciones en las viviendas del sector, mismas que están a la orilla del río, y casi al mismo nivel del mismo. Aducen que lo anterior ocurre principalmente cuando la marea sube, y ya que el río no tiene donde descargar, se provoca un reflujo que produce inundaciones agua arriba.</p> <p>Además informaron que aguas arriba de este sitio, dos ríos se unen al Río Laure, que en ocasiones provocan inundaciones a los poblados de aquellas zonas; sin embargo esto está lejos del sitio en estudio.</p> |



Vista sobre el puente, hacia Choluteca.



Vista sobre el puente, hacia Jicaro Galán.



Vista aguas arriba.



Vista aguas arriba.



Vista aguas abajo.



Vista aguas abajo.



Vista aguas abajo. Casas abajo del nivel de la rasante, y casi al mismo nivel del río.



Vista aguas arriba. Zona plana a la margen izquierda del río.

CONTENIDO

| | | |
|-----|--|----|
| 1. | Introducción..... | 2 |
| 1. | Resumen de los tramos evaluados | 3 |
| 1.1 | Jicaro Galán - Choluteca | 3 |
| 1.2 | Jicaro Galán – El Amatillo | 5 |
| 1.3 | Choluteca - Guasaule..... | 10 |
| 2. | Problemas estructurales detectados | 14 |

1. INTRODUCCIÓN

En el presente informe de avance correspondiente al Proyecto “Estudios Finales y Diseños del Programa de Pre-inversión Vial de Honduras: CA-1 y CA-3 (Corredor Sur) Tramos Jicaro Galán – El Amatillo, Jicaro Galán - Choluteca, Choluteca – Guasaule” se muestran los progresos realizados en el análisis y evaluación de estructuras.

Se adjuntan además las fichas de evaluación de las estructuras de drenaje mayor, como ser puentes y cajas, que están ubicados en los tramos carreteros CA-1 y CA-3:

- Jicaro Galán – El Amatillo (40.96 km)
- Jicaro Galán – Choluteca (56.85 km)
- Choluteca – Guasaule (40.6 km)

La metodología utilizada fue la siguiente:

- Toma de los Datos de las dimensiones de las Superestructuras o Caja (Anchos de losas, banquetas, pretilos y vigas).
- Inspección visual del Estado físico de cada elemento de la Superestructura, donde se identifican: fisuras, fallas, grietas y estado de los elementos de drenaje del puente (Localización y levantamiento de lesiones, desprendimientos y descasamientos).
- Inspección de la Subestructura (Estribos, pilastras, elementos de apoyo del puente, apoyos de Neopreno, existencia de bloques de restricción o elementos antisísmicos) de igual forma se miden y toman los datos relevantes a un levantamiento de lesiones (Estribos, zapatas, pilastras y socavación de los elementos).
- Inspección de la Caja (Losa superior, inferior, paredes, alas y losas de aproximación), medición y toma de datos relevantes a un levantamiento de lesiones de la estructura.
- Inspección del cauce del río: verificar que no existen obstrucciones para el libre escurrimiento del cauce. Se indican las recomendaciones, si se requiere canalización o si es necesario un análisis por parte del hidrólogo.
- Consultar con los pobladores cercanos que crecida máxima ha tenido el río para ver si la capacidad del puente se mantiene tal como fue diseñado y que problemas adicionales han surgido.

1. RESUMEN DE LOS TRAMOS EVALUADOS

1.1 JÍCARO GALÁN - CHOLUTECA

En este tramo se encuentran veinte y cuatro (24) estructuras en total, siendo éstas ocho (8) puentes y diez y seis (16) cajas puente. Las estructuras que se encuentran en las estaciones 5+700, 12+266, 12+930, 14+310, 14+436, 16+100, 19+660, 20+010 , 21+309 , 22+681, 25+834 , 26+634, 27+669, 28+485, 29+662, 30+790, 31+200, 32+175, 33+918, 35+000, 37+069, 37+980, 38+651 y 40+579.

Se encuentran en buen estado, solo se necesita realizar las recomendaciones especificadas en las fichas para optimizar su vida útil.

A continuación se presenta un resumen de las observaciones realizadas en campo por estructura, como se mencionó antes las recomendaciones se encontrarán en las fichas de cada una de las estructuras:

- **Puente Est. 6+034:** Superestructura de vigas de acero, losa de hormigón reforzado presenta daños en pretilas, juntas de expansión sin sellar, falta de señalización, los elementos de acero presentan oxidación, suciedades y el cauce necesita ser canalizado.
- **Caja Est. 12+266:** Caja de una sola celda de 3.00X2.20 m, presenta socavación y suciedades.
- **Puente Est. 12+930:** Superestructura de vigas y losa de hormigón reforzado muestra juntas de expansión sin sellar, falta de señalización, los elementos de acero presentan oxidación, suciedades, golpe en el estribo de entrada, junta fría en estribo de salida, fisuras en vigas por flexión y el cauce necesita ser canalizado.
- **Caja Est. 14+310:** Caja de una sola celda de 1.83X1.83 m, presencia de grietas en alas por crecimiento de árboles.
- **Puente El Caucara Est. 14+436:** Superestructura de vigas de sección variable, losa de hormigón reforzado presenta pretilas dañados, juntas de expansión sin sellar, grieta en viga intermedia derecha y fisuras en vigas externas, suciedades y el cauce necesita ser canalizado.
- **Caja Est. 16+100:** Caja de una sola celda de 3.00X2.45 m, presencia de acero expuesto en losa de aproximación, fisura en ala de salida y suciedades.

- **Caja Est. 19+660:** Caja de doble celda de 2.45X1.85 m, muestra suciedades, golpes y filtraciones en paredes exteriores a la salida de la estructura y su cauce requiere canalización.
- **Caja Est. 20+010:** Caja de una sola celda de 2.43X1.85 m, presencia de acero expuesto en ala de entrada y suciedades.
- **Puente El Laure Est. 21+309:** Superestructura de vigas de sección variable, losa de hormigón reforzado muestra pretilos dañados, juntas de expansión sin sellar, falta de señalización, suciedades y el cauce necesita ser canalizado.
- **Puente Quebrada La Castaña Est. 22+681:** Superestructura de vigas de sección variable, losa de hormigón reforzado muestra deterioro en la pintura de pretilos, juntas de expansión sin sellar, falta de señalización, suciedades y el cauce necesita ser canalizado.
- **Caja Est. 25+834:** Caja de una sola celda de 2.44X1.83 m, se encuentra fracturada la losa de aproximación de salida, socavaciones a la salida y suciedades.
- **Puente Agua Caliente Est. 26+634:** Superestructura de vigas de sección I, losa de hormigón reforzado muestra daño en pretilos, pintura deteriorada de pretilos, socavación en pretil, suciedades, falta de tubería en imbornal y el cauce necesita ser canalizado.
- **Caja Est. 27+669:** Caja de una sola celda de 2.43X1.83 m, presenta socavación a la salida y suciedades.
- **Caja Est. 28+485:** Caja de una sola celda de 2.45X2.15 m, presenta suciedades, fisura en ala izquierda de entrada, socavada ala derecha, socavación a la salida.
- **Caja Est. 29+672:** Caja de una sola celda de 1.84X1.86 m, presencia de suciedades, golpe en ala izquierda de salida, socavación.
- **Caja Est. 30+790:** Caja de una sola celda de 3.05X2.45 m, presenta suciedades, formación de junta fría aproximadamente a la mitad de la estructura, golpe en pared derecha, socavaciones a la salida, desprendimiento del material del hombro y el talud a la salida quedó incompleto y por lo tanto la caja está descubierta y estructura de un puente sin terminar (solo estribos), a la salida de la estructura.
- **Caja Est. 31+200:** Caja de una sola celda de 3.05X2.45 m, presenta suciedades, socavaciones tanto en la entrada como la salida y fisuras en la unión alas-pared a la entrada.

- **Puente El Marillal Est. 32+175:** Superestructura de vigas de acero, losa de hormigón reforzado presenta daños en pretiles, juntas de expansión sin sellar, falta de señalización, los elementos de acero presentan oxidación y suciedades.
- **Caja Est. 33+918:** Caja de una sola celda de 4.00X2.80 m, muestra grieta en losa inferior, socavación en la entrada que ha dañado la losa de aproximación de entrada.
- **Caja Est. 35+000:** Caja de doble celda de 3.00X3.00 m, muestra suciedades.
- **Caja Est. 37+069:** Caja de una sola celda de 2.45X2.20 m, muestra ala izquierda a la entrada dañada con acero expuesto, alcantarilla de 60" al lado izquierdo de la estructura a unos tres (3) metros aproximadamente de la caja, entre esa área se presenta socavaciones a la entrada, socavada ala izquierda de entrada, el cauce necesita canalización y presenta socavación a la salida de la estructura.
- **Puente Est. 37+980:** Superestructura de vigas de sección variable, losa de hormigón reforzado muestra pretiles dañados, juntas de expansión sin sellar, falta de señalización, suciedades, pilares socavados extraen material del cauce y necesita ser canalizado.
- **Caja Est. 38+651:** Caja de una sola celda de 3.05X2.45 m, el cauce necesita ser canalizado y presenta suciedades y un golpe en la pared derecha a la salida.
- **Caja Est. 40+579:** Caja de doble celda de 3.00X2.50 m, muestra suciedades y socavación a la salida.

1.2 JÍCARO GALÁN – EL AMATILLO

En este tramo se encuentran veintidós (22) estructuras en total, siendo éstas once (11) puentes, diez (10) cajas puente y una estructura tipo caja abovedada. Las estructuras que se encuentran en las estaciones: 2+861, 4+400, 4+762, 5+700, 6+460, 10+480, 11+270, 12+970, 13+455, 15+704, 17+615, 19+853, 20+500, 22+370, 25+300, 26+843, 29+760, 31+700, 33+417, 36+500, 38+600, 40+000. La mayor parte de las estructuras se encuentra en buenas condiciones, aunque requieren de mantenimiento preventivo para extender su vida útil.

A continuación se presenta un resumen de las observaciones realizadas en campo a cada estructura, como se mencionó antes, las recomendaciones y acciones a realizar en cada estructura se adjuntará en las fichas correspondientes cada una de estas:

- **Puente Nacaome Est. 2+861:** Superestructura de cinco luces con vigas de hormigón prefabricado, losa de hormigón reforzado, pretiles metálicos y barreras metálicas tipo *flex*

beam las cuales presentan daños por impactos de vehículos, hay viviendas a inmediaciones del puente en el derecho de vía y en el cauce del río.

- **Caja Est. 4+400:** estructura tipo caja de una sola celda de 3x3m, de 26.3 m de longitud, paredes y losa de hormigón reforzado, requiere limpieza general.
- **Puente río Guacirope Est. 4+762:** superestructura metálica (armadura tipo Warren) de tres luces, losa de hormigón reforzado y pilas de hormigón. Las uniones de los elementos metálicos requieren limpieza, ajuste y resocado (tornillos), así como limpieza mantenimiento para la protección de toda la estructura metálica, reparación de protección de hormigón ciclópeo en las bases de las pilas intermedias, instalación de las señales verticales respectivas.
- **Caja Est. 5+700:** estructura tipo caja de una celda de 1.84x1.25 m, paredes y losas de hormigón reforzado, en buen estado, requiere limpieza e instalación de una colchoneta de gaviones en la salida.
- **Puente sobre quebrada Los Indios Est. 6+460:** superestructura conformada por vigas rectangulares de hormigón reforzado, una sola luz, losa de hormigón reforzado y estribos de mampostería. La estructura requiere de limpieza general, limpieza en el cauce, instalación de señales verticales correspondientes, colocación de sello en las juntas de expansión entre otras actividades que serán descritas en las fichas técnicas.
- **Caja abovedada Est. 10+480:** en ese sitio se localiza una estructura abovedada (forma arco) de mampostería de 5.3m de altura y 7.35m de ancho, se observa en buen estado, no se evidencian fisuras o lesiones severas ni asentamientos en el relleno a nivel de calzada que comprometan su estabilidad estructural.
- **Caja Est. 11+270:** estructura tipo caja puente con losa de hormigón reforzado y paredes de mampostería con una longitud de 11.70 m, y una sección transversal de 2.70x2.46 m, la estructura se ve en buen estado pero requiere limpieza general y limpieza en el cauce.
- **Puente Est. 12+970:** puente de una sola luz de 9.50m, vigas rectangulares de hormigón reforzado, losa de hormigón reforzado, la subestructura está conformada por dos estribos de mampostería. La estructura se ve en buenas condiciones, sin embargo las vigas presentan manchas por eflorescencia en el hormigón y deben ser tratadas, el puente no cuenta con apoyos elastoméricos adecuados para las vigas.

- **Puente Est. 13+455:** puente de una luz con vigas rectangulares de 15.50 m de longitud, losa de hormigón reforzado y estribos de mampostería. Los apoyos de las vigas son metálicos y presentan signos de corrosión por lo que requieren de limpieza y tratamiento preventivo, se localizó una fisura en una de las vigas externas a 1.2m de distancia desde el apoyo, la fisura parece no estar activa, debe monitorearse para proceder a inyectarla y proteger la armadura de la viga. Hay una estructura (pozo) justo en el cauce de la quebrada, cercano al estribo de entrada del puente, es necesario limpiar y canalizar el cauce de la quebrada.
- **Puente Est. 15+704:** superestructura conformada por vigas rectangulares y losa de hormigón reforzado, los estribos del puente son de mampostería, el puente tiene una luz de 9.20 m de longitud. El estado de la estructura es bueno, requiere limpieza general, sin embargo el estribo de salida presenta signos de socavación, por lo que debe canalizarse adecuadamente el cauce de la quebrada y construir una protección en la base del estribo que comienza a socavarse, de igual forma se debe proveer de la señalización vertical necesaria para el puente.
- **Caja doble tipo bóveda Est. 17+615:** en esta estación se localiza una estructura tipo caja de 21.15m de longitud, con dos celdas (1.10x2.5m) con paredes de mampostería las cuales se observan en buen estado, la parte superior o losa de la caja en forma de bóveda está constituida por dos secciones de tubería metálica que deberá ser tratada para evitar que esta se corra con el tiempo, se recomienda una evaluación hidrológica para verificar si el área de esta sección es suficiente para dar paso al agua que pasa por el corredero, aunque preliminarmente no se observaron signos de socavación o daños provocados por crecidas anteriores en el sitio. El sesgo de la caja no está orientado al cauce del corredero por lo que sería recomendable realizar una canalización para orientar mejor el flujo del agua a la entrada de la caja.
- **Puente Est. 19+853:** estructura de una sola luz con una longitud de 27.80 m, las vigas del puente son metálicas (sección I) con un peralte de 0.90m, los diafragmas son vigas metálicas sección I soldadas a las vigas principales del puente, la losa de la superestructura es de hormigón reforzado y los estribos son de mampostería. El puente se ve en buenas condiciones, sin embargo los elementos metálicos requieren de limpieza y protección

contra la corrosión, hay daños en los pretiles que deben ser reparados, sección faltante de 5.2m de longitud a reconstruir.

- **Puente Est. 20+500:** puente de una sola luz de 15.6m, vigas rectangulares y losa de hormigón reforzado, hay daños en uno de los pretiles, los estribos del puente son de mampostería, se evidenció una fisura en una de las vigas exteriores, la fisura (inferior a 1mm) se localiza a 1.2m desde la cara del apoyo en un ángulo estimado de 45º, la fisura aparenta estar inactiva por lo que deberá monitorearse a fin de determinar si debe realizarse una inyección en la fisura para proteger el acero de refuerzo de la viga.
- **Caja Est. 22+370:** caja de una sola celda de 2.65x3.20 m, y una longitud de 12.20, la caja está en buenas condiciones. La estructura está conformada por paredes y losas de hormigón reforzado.
- **Caja Est. 25+300:** caja doble celda de 3x2.45m y 10.43m de longitud. Las paredes y losa superior e inferior son de hormigón reforzado, la caja está en buen estado. Requiere de una colchoneta de gaviones en la salida para minimizar la socavación hidráulica en la losa de salida.
- **Puente Est. 26+843:** estructura de tres luces conformado por una superestructura (vigas y losa) de hormigón reforzado, las vigas son rectangulares, estas presentan manchas por eflorescencia que deben ser tratadas, los estribos de entrada, salida e intermedios son de mampostería, solamente una luz del puente se encuentra funcionando, el cauce debe ser canalizado a fin de aprovechar toda el área hidráulica del puente. Hay signos de socavación en uno de los estribos del puente (salida).
- **Caja Est. 29+760:** caja doble de 2.80x2.80m, la losa superior es de hormigón reforzado, las paredes y piso de la caja son de mampostería, no se evidencian daños en la estructura que la pongan en riesgo, hay socavación en la salida de la caja por lo que es necesario colocar una colchoneta de gaviones en la salida para reducir el impacto del agua en la caída.
- **Caja Est. 31+700:** caja de una sola celda de 4x2.80m y una longitud de 10.20m. La losa superior es de hormigón reforzado, entre tanto las paredes y piso son de mampostería. El cauce requiere limpieza y se deberán instalar las señales verticales respectivas a nivel de calzada.
- **Puente Est. 33+417:** puente de dos luces de 28m de longitud, vigas de hormigón reforzado de sección variable y losa de hormigón reforzado. Los estribos de entrada y salida son de

mampostería, el estribo intermedio es de hormigón reforzado, la subestructura se ve en buen estado, el cauce necesita ser canalizado para dar uso a toda el área hidráulica del puente ya que solamente una luz está completamente libre, hay manchas de eflorescencia en las vigas que deben limpiarse y tratarse, además es necesario instalar la señalización vertical respectiva a inmediaciones del puente para brindar mayor seguridad a los usuarios de la vía.

- **Caja Est. 36+500:** la estructura es una caja de una sola celda de 2.95x3.38m y una longitud de 13.00m, la losa superior es de hormigón reforzado y las paredes y piso de mampostería. La estructura requiere limpieza y la instalación de una colchoneta de gaviones o relleno de mampostería en la salida de la caja para reducir la socavación hidráulica al final de la losa de salida.
- **Caja Est. 38+600:** la caja es de una sola celda de 3.08x3.08m, tiene una longitud de 14.35m y se observa en buen estado. Las losas superior e inferior así como las paredes y alas de la caja son de hormigón reforzado.
- **Puente río Goascorán Est. 40+000:** esta estructura es un puente sobre el río Goascorán el cual es limítrofe entre las repúblicas de Honduras y El Salvador, la superestructura del puente está conformada por tres luces, compuestas por armaduras metálicas que dan soporte a la losa de hormigón reforzado. A su vez las estructuras metálicas se apoyan en estribos de mampostería. La estructura se ve en buenas condiciones, a excepción de los elementos metálicos que la conforman, ya que requieren limpieza y tratamiento contra la corrosión, así como un tratamiento de impermeabilización a la losa de rodadura, e instalación de sellos en las juntas de expansión del puente que evite el ingreso de material extraño en las juntas del puente. Los pretiles requieren de limpieza y repintado, así como de la instalación de señales verticales correspondientes en el puente.

1.3 CHOLUTECA - GUASAULE

- **Puente Est.1+500:** Puente con Vigas Presforzadas y Losa de Hormigón reforzado apoyado sobre estribos y pilastras de hormigón. Se observó socavación en la primera pilastra, producto del paso restringido de la corriente por la luz central del puente, ya que las luces a los extremos del puente no están canalizadas y consecuentemente el área hidráulica del puente se ve reducida a un tercio del total disponible por lo que la velocidad de la corriente aumenta en ese punto.
- **Puente Est.5+860:** Puente con Vigas Pres-forzadas y Losa de Hormigón reforzado. En buen estado pero precisa reparaciones menores.
- **Puente Est. 6 +200:** Puente con diferentes tipos de vigas para la superestructura, Vigas Pres-forzadas, vigas cajón, vigas de geometría variable y Losa de Hormigón reforzado. Se recomienda la limpieza de todas las partes del puente y la reparación de la barandilla y otros elementos.
- **Caja Est. 8+600:** Caja de doble celda de 3.00X2.50m de Hormigón Reforzado, Paredes, Alas y Losa Superior. Se observó socavación en la salida de la caja por lo que se recomienda la colocación de una colchoneta de gaviones.
- **Puente Est.11+500:** Puente con Vigas de hormigón sección I y Losa de Hormigón reforzado. Se recomienda limpieza y reparación de juntas entre otras acciones.
- **Caja Est. 13+400:** Caja de doble celda de 3.00X2.00m de Hormigón Reforzado, Paredes, Alas y Losa Superior. En buen estado, solo se recomienda una limpieza general.
- **Caja Est. 16+700:** Caja de una celda de 3.00X2.00m de Hormigón Reforzado, Paredes, Alas y Losa Superior. La caja se encuentra en buen estado, salvo la unión entre las alas de entrada de la caja y el cuerpo de la caja, ya que hay una fisura vertical producto probablemente a una junta fría de construcción y a la pobre conexión del acero del cuerpo de la caja hacia las alas, que ya se ha observado en otras cajas en la misma zona.
- **Caja 17 + 300:** Caja de una celda de 2.00X2.00m de Hormigón Reforzado, Paredes, Alas y Losa Superior. La recomendación para esta caja es una limpieza general y el Resane de las fisuras verticales en junta fría en las alas, conexión al cuerpo de la caja, ya que no se observa un desplazamiento del ala o que se vea afectada su estabilidad, por lo que el resane o masilla do recomendado es para proteger el acero de refuerzo de la corrosión.
- **Caja Est. 18+600:** Caja puente de una luz de 3.00m x 2.00m de Hormigón Reforzado, Paredes, Alas y Losa Superior. A la par de la caja puente hay una alcantarilla doble TCR-30" cuyo cabezal

presenta algunas lesiones como fisuras y socavación bajo las alcantarilla en la entrada (lado izquierdo de la carretera). Deberá repararse este cabezal y además realizar las reparaciones indicadas en la ficha para la caja.

- **Caja Est. 19+700:** Caja de una celda de 2.50X2.00m de Hormigón Reforzado, Paredes, Alas y Losa Superior. Estado general bueno pero además de limpieza se debe • Colocación de gaviones y colchoneta de gaviones en la caída a la salida de la caja para minimizar el efecto de socavación en el cauce a largo plazo.
- **Caja Est. 21 + 800:** Caja de una celda de 2.50X2.50m de Hormigón Reforzado, Paredes, Alas y Losa Superior. La caja se encuentra en buen estado. Solo es preciso una limpieza general a la estructura.
- **Puente Est. 26 +000:** Puente con Vigas de hormigón sección I y Losa de Hormigón reforzado en primera luz, losa de vigueta y bovedilla en luces 2 y 3. • Se observaron los siguientes daños: daño en losa de rodadura (carpeta asfáltica) en junta de puente, daño en pretil derecho sección de 2m, se observaron golpes y delineamiento en sección de pretil lado izquierdo y daño en la losa del en los tramos de vigueta y bovedilla, con una sección de bloques que se han desprendido de su sitio en la segunda y tercera luz del puente. Se debe acometer estas reparaciones entre otras indicadas en la ficha correspondiente.
- **Puente Est. 39+300:** Puente de losa de hormigón reforzado, soportada por estribos de mampostería y hormigón. Se recomienda la limpieza del cauce, de la estructura y de los pretilos. Además de proveer de la correcta señalización a la entrada y salida de la estructura e inspeccionar los sitios periódicamente a fin de evitar que se extraiga material a las inmediaciones de los estribos de los puentes.
- **Caja Est. 29+600:** Caja de doble celda de 2.00X2.00 m, muestra suciedades, azolvada celda derecha y grietas en unión alas-pared a la entrada de la estructura.
- **Caja Est. 30+100:** Caja de una sola celda de 3.00X2.50 m, la estructura se encuentra en buen estado solo requiere limpieza, el mayor problema en este lugar es la extracción de material, la población cercana extrae el material circundante a la caja por lo tanto a la salida hay una caída de 1.50 m.
- **Caja Est. 31+700:** Caja de doble celda de 2.02X2.00 m, muestra suciedades, segregación en las paredes, socavación a la entrada ya que un árbol quedo atascado y no deja entrar libremente el flujo de agua, socavación a la salida con una caída de 1.00 m y la losa de aproximación de salida se fracturó en unos 0.70m a causa de la socavación.

- **Caja Est. 34+500:** Caja de una sola celda de 2.50X2.50 m, presenta suciedades y fisuras en la unión alas-pared en la entrada como la salida.
- **Caja Est. 35+400:** Caja de una sola celda de 3.00X2.06 m, presenta suciedades, desprendimiento en losa inferior, un poco de socavación a la salida de la estructura con una caída de 0.30 m y fisuras en la unión alas-pared en la entrada como la salida.
- **Puente Est. 37+000:** Superestructura de vigas de hormigón reforzado sección I, losa de hormigón reforzado presenta suciedades, fisuras y huecos en la superficie de desgaste, pretils fisurados, imbornales obstruidos, juntas de expansión sin sellar, carece de señalización vertical, los estribos están contruidos en dos etapas y materiales, 5.00 m mampostería y 3.90 m hormigón, las vigas que se encuentran sobre estribos de hormigón tienen más peralte, y los diafragmas en la transición están fisurados.
- **Caja Est. 37+900:** Caja de una sola celda de 2.50X2.04 m, presenta suciedades, fisuras en la unión alas-pared en la entrada como la salida y socavación a la salida de la estructura con una caída de 0.65 m.
- **Caja Est. 39+100:** Caja de una sola celda de 3.00X3.00 m, presenta suciedades, fisuras en la unión alas-pared en la entrada como la salida, raíz de árbol sobre ala izquierda de salida, hueco en pared, socavación de una salida con una caída de 1.50 m y extraen cauce de material.
- **Caja Est. 39+800:** Caja de una sola celda de 2.00X2.00 m, presenta suciedades, fisuras en la unión alas-pared en la entrada como la salida y socavación con una caída de 1.00m.
- **Puente Las Hormigas Est. 42+400:** Superestructura de vigas de hormigón reforzado sección I, losa de hormigón reforzado presenta suciedades, fisuras en la superficie de desgaste a la entrada y salida, la pintura de los pretils está deteriorada y carece de señalización vertical.
- **Caja Est. 44+100:** Caja de una sola celda de 2.00X3.00 m, presenta suciedades, fisuras en la unión alas-pared en la entrada como la salida, acero expuesto en ala izquierda de entrada, golpe ala derecha de entrada y socavación con una caída de 1.00m.
- **Caja Est. 45+800:** Caja de una sola celda de 2.00X2.00 m, presenta suciedades, fisuras en la unión alas-pared en la entrada como la salida y poca socavación con una caída de 0.30 m.
- **Caja Est. 46+400:** Caja de una sola celda de 3.00X2.00 m, presenta suciedades, fisuras en la unión alas-pared en la entrada como la salida y socavación con una caída de 0.60 m.

- **Caja Est. 47+200:** Caja de una sola celda de 2.00X2.00 m, presenta suciedades, fisuras en la unión alas-pared en la entrada como la salida, socavación con una caída de 1.00m, material depositado a la entrada de la caja entra por lado izquierdo, por lo tanto el ala izquierda de entrada se encuentra socavada.
- **Caja Est. 47+700:** Caja de una sola celda de 3.00X2.00 m, presenta suciedades, fisuras en la unión alas-pared en la entrada como la salida, poca socavación a la entrada y salida con una caída de 0.40 m.
- **Caja Est. 48+500:** Caja de doble celda de 3.00X3.50m, muestra suciedades, fisura en ala izquierda de entrada, segregación en paredes y alas, árbol obstruyendo entrada de la celda izquierda y poca socavación a la salida con una caída de 0.20 m.
- **Caja Est. 52+300:** Caja de una sola celda de 3.00X3.00 m, presenta suciedades, fisuras en la unión alas-pared en la entrada como la salida y socavación a la salida con una caída de 1.50 m.
- **Puente Est. 37+000:** Superestructura de vigas de hormigón reforzado sección I, losa de hormigón reforzado presenta suciedades, fisuras y huecos en la superficie de desgaste, pretils fisurados, bornales obstruidos, juntas de expansión sin sellar, carece de señalización vertical, los estribos están contruidos en dos etapas y materiales, 5.00 m mampostería y 3.90 m hormigón, las vigas que se encuentran sobre estribos de hormigón tienen más peralte, y los diafragmas en la transición están fisurados.
- **Puente Est. 52+800:** Superestructura de vigas de hormigón reforzado sección I, losa de hormigón reforzado presenta suciedades, fisuras y huecos en la superficie de desgaste, pretils fisurados y su pintura deteriorada, acera izquierda fisurada a la entrada, señalización vertical incompleta, socavación en los estribos por extracción de material debajo del puente y el cauce necesita ser canalizado.

2. PROBLEMAS ESTRUCTURALES DETECTADOS

Como se indica en el resumen de las estructuras investigadas existen dos puentes cuyos defectos o patologías son sensiblemente más importantes que las reparaciones menores y mantenimiento de las demás.

Se consultó por Tanto al Especialista en estructuras el Dr. Joaquín Torres.

Con él se realizó una inspección más detallada y se concluyó lo siguiente: si bien las estructuras no corren peligro de colapso. Las patologías encontradas son progresivas y pueden fallar a largo plazo; si no se realizan las acciones pertinentes.

Como se explicara en cada uno de los puentes a continuación se deben realizar además de acciones preventivas un tipo de evaluación más profunda.

Tramo Jicaró – Galán – Choluteca

➤ Puente el Caucara

Este puente presenta fisuras en las vigas externas y en una grieta en la viga interna derecha con acero expuesto. Además se observa eflorescencias en toda la longitud del puente.

El dictamen del especialista es que se tiene la teoría de que se usó una mala mezcla de cemento (posiblemente por realizar la mezcla In situ con agua del propio río con gran cantidad de Sulfatos). Esto se evidencia en la gran cantidad de eflorescencias. Estas reaccionan con el Acero provocando el desconchamiento y la aparición de grietas.

Estas grietas observadas presentan segregación y actúan provocando malas juntas de contracción.

Acciones preventivas e inmediatas son el relleno de las fisuras con Epoxicos.

Además para certificar esta posible causa y/o encontrar otras posibles (como una reacción Alkali – Sílice) se debe proceder a la extracción de varios núcleos de concreto. Algunos de ellos deberían ser sometidos a pruebas de compresión para evaluar su resistencia y otros deben ser llevados a un laboratorio especializado para su análisis químico. Así se podrá estudiar si existen reacciones químicas de degradación o descomposición.

Estos procesos de descomposición pueden dar lugar a fallas mayores en un plazo de 8 a 15 años.

Tramo Choluteca – Guasaule

➤ Puente Km. 37 +000

Este puente presentaba Fisuras en los diafragmas ubicados en la transición de peraltes de vigas y material de estribos.

Según el especialista las fisuras son fallas de torsión. Estas provocaron una separación viga – portin y los diafragmas.

Las hipótesis es que el puente se amplió o se construyó de manera que la estructura no trabaja como un bloque si no como dos diferenciados. Esto provoco los esfuerzos de torsión entre ambos elementos.

Una parte del estribo (que además se ve que usaron dos tipologías diferentes) sufrió un asentamiento y transmitió esos esfuerzos a las vigas; que por torsión afectaron a los diafragmas.

Según el especialista la probabilidad de colapso del puente es baja y recomienda las siguientes actuaciones:

- Construir bloques de restricción lateral
- Inyectar resina Epóxica en las fisuras y grietas.
- Proteger los estribos
- Realizar una prueba de carga y evaluar las deflexiones y evaluar si están dentro del rango de la normativa el puente cumple.

Como anexo a este informe se adjuntas las Fichas individuales de evaluación. En ellas se encuentran todo el análisis y las recomendación