

- *Laboratorio*
- *Estudios básicos*
- *Diseño*

ACCESOS DE APROXIMACIÓN



**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PUENTE VEHICULAR
A DOS CARRILES CON PASO PEATONAL
SOBRE QUEBRADA CARAÑA
Y RECARPETEO EN CALLE CANELOS”**

Distrito: Piedades

Cantón: Santa Ana

Provincia: San José

Calle Canelos

CD-ITP-292-2023-03-C01

Marzo 2023

1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El presente proyecto corresponde al diseño de la estructura de pavimento para los accesos de aproximación al puente/alcantarilla que se encuentra sobre Quebrada Caraña, en Calle Canelos, Distrito Piedades, Santa Ana. Por esta sección transitan principalmente vehículos livianos, de carga liviana, así como buses y camiones de dos ejes C-2, que se trasladan desde la Ruta Nacional 121, viniendo del sector de Piedades de Santa Ana y Escazú. La Figura 1 muestra la ubicación de la ruta que se desea intervenir.



Figura 1: Ubicación del puente/aproximación Quebrada Caraña/Calle Canelos (tomado de cartel de requerimientos técnicos, Municipalidad de Santa Ana, Estudios y diseño Quebrada Caraña)

2. SITUACIÓN DEL PROYECTO

En un corto plazo, se espera que la estructura de drenaje sobre Quebrada Caraña, en Calle Canelos, sea rehabilitada fuertemente para incrementar su capacidad hidráulica y estructural. Parte de estos trabajos vienen acompañados de la reconstrucción del pavimento que compone los accesos de aproximación a la nueva estructura. De allí la necesidad de realizar el dimensionamiento apropiado de la estructura de pavimento para sobrellevar las cargas vehiculares que se espera transiten sobre la nueva estructura.

3. PROPUESTA DE MITIGACIÓN

Se decide proponer la alternativa de diseño en estructura de pavimento semirígido, tomando como referencia la estructura propuesta por la Municipalidad de Santa Ana, la cual consiste en un pavimento semirígido de 30,0 cm de subbase granular, 20,0 cm de capa de base estabilizada con cemento hidráulico BE-25 y 5,0 cm de capa asfáltica. La propuesta contenida en el presente informe pretende dimensionar una estructura de pavimento con una capacidad estructural suficiente para acarrear los esfuerzos producto de las cargas vehiculares y los efectos de expansión y contracción del suelo (subrasante) los cuales pueden ser causantes de agrietamientos, socavación o escalonamientos a corto plazo. Cabe destacar que el periodo de diseño será de 10 y 15 años, que corresponden a períodos típicos de diseño para pavimentos flexibles y semirígidos nuevos, pues al revisar el cartel de requerimientos técnicos, éste no contaba con ninguna indicación al respecto.

4. OBJETIVO Y ALCANCE DEL ESTUDIO

4.1.1. Objetivo General

Proponer una estructura de pavimento para los accesos a la nueva estructura sobre Quebrada Caraña, Calle Canelos, considerando criterios empíricos y mecanicistas que permitan concluir sobre la factibilidad de dicha propuesta para proveer una estructura capaz de desempeñarse adecuadamente durante un período de tiempo determinado (10 años).

4.1.2. Alcance del diseño

Los siguientes cuadros resumen las dimensiones obtenidas en el presente diseño para cada una de las estructuras propuestas para los accesos a la estructura sobre Quebrada Caraña.

Cuadro 1: Espesores para accesos al puente sobre Quebrada Caraña 10 años	
Capa	Espesor de capas de pavimento convencional, cm
Capa asfáltica convencional AC-30	10,5
Base granular sin tratar	22,0
Subbase granular CBR > 30 %	26,0

Cuadro 2: Espesores para accesos al puente sobre Quebrada Caraña 15 años	
Capa	Espesor de capas de pavimento convencional, cm
Capa asfáltica convencional AC-30	8,0
Base granular estabilizada con cemento hidráulico $f'c > 30$ kg/cm ²	25,0
Subbase granular CBR > 30 %	20,0

El presente documento contiene los resultados de la campaña de evaluación la cual comprendió la auscultación visual de la superficie existente, la medición de espesores de estructura existente, así como la caracterización de materiales granulares y subrasante en el laboratorio. Con base en los resultados de dicha campaña, se procedió a dimensionar una estructura de pavimento mediante la metodología AASHTO, y comprobar su cumplimiento con criterios mecanicistas utilizando los criterios de desempeño establecidos en literatura aplicable para pavimentos rígidos respecto a fatiga y escalonamiento.

Es importante destacar que en las zonas aledañas al sitio del proyecto los meses de febrero-marzo y octubre, son los meses más secos y lluviosos, respectivamente (*Instituto Meteorológico Nacional, 2023 Estación Aeropuerto Pavas*). Por lo tanto, se debe tomar en cuenta que la ruta está expuesta a condiciones lluviosas importantes que deben ser consideradas en el dimensionamiento de las capas. Bajo estas condiciones, las capas que más sufren son las capas compuestas por materiales granulares, así como la subrasante puesto que sus propiedades físicas y mecánicas son altamente susceptibles a la humedad. Por lo que se puede concluir que durante el mes de octubre se podría presentar la mayor reducción del módulo resiliente de la subrasante mientras que en el mes de febrero-marzo se presentaría el caso opuesto. Por lo tanto, es importante mencionar que el desempeño adecuado de la estructura de pavimento está ligado directamente a la capacidad real de los drenajes superficiales y subsuperficiales para minimizar la presencia de agua en las capas granulares.

El diseño de estos elementos no es parte de este informe de diseño y es imprescindible contar los mismos a lo largo de la ruta.

A continuación, se presenta la metodología y los resultados del diseño de pavimento para cada una de las propuestas.

5. CONDICION SUPERFICIAL DE PAVIMENTO EXISTENTE

Se realizó una visita al sitio del proyecto para realizar un levantamiento de los deterioros superficiales existentes en los accesos de aproximación a la actual estructura sobre Quebrada Caraña, el día 15/11/2022. Dentro de los resultados de la auscultación realizada, se pudo identificar una estructura de pavimento flexible en condiciones superficiales que no son críticas para la transitabilidad para el flujo vehicular de la zona. Sin embargo, dentro de los defectos encontrados, fue posible encontrar desgaste superficial, envejecimiento del cemento asfáltico y algunas discontinuidades similares a un corte con sierra. Estas pueden estar asociadas a la longevidad del cemento asfáltico en operación, así como la pérdida de durabilidad de la mezcla asfáltica producto del contacto con el agua.

A criterio del Consultor y dado el proceso constructivo del futuro puente, es necesario realizar el dimensionamiento de una nueva estructura de pavimento la cual, para esta propuesta, estará dirigida hacia la alternativa de pavimento flexible o semirrígido. Esto, de acuerdo con los requerimientos del cartel. Todo esto, precedido de la remoción del pavimento existente en las aproximaciones, así como de los materiales granulares que conforman la actual estructura de pavimento.



Figura 2: Estado de la superficie de ruedo Accesos de aproximación y tablero de alcantarilla



Figura 3: Superficie de ruedo con desgaste superficial



Figura 4: Superficie de ruedo Acceso de aproximación Calle Canelos

6. ESTIMACIONES DE TRANSITO Y CÁLCULO DE EJES EQUIVALENTES DE DISEÑO ($N_{\text{diseño}}$)

Para la estimación de los ejes equivalentes de diseño, se utilizó el software *ITP-ESAL* creado para tales fines, así como la información recopilada por ITP, donde se muestra el TPDA calculado durante el mes de noviembre 2022.

Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA)

El Tránsito Promedio Diario Anual (en adelante TPDA) fue obtenido mediante los conteos vehiculares realizados por la empresa ITP, en la estación ubicada contiguo al comercio cercano a las aproximaciones de Quebrada Caraña, en horarios de 6:00 am a 7:00 pm, durante 7 días consecutivos. El Cuadro 3 muestra los resultados reportados y los cuales serán tomados como base:

Cuadro 3: Resumen de conteos vehiculares										
Día	Liviano	Carga Liviana	Buses	C-2	C-3	C-4	T3-S3	T3-S2	Otros	TOTAL
14/11/2022	905	149	86	38	1	0	0	0	0	1179
15/11/2022	941	159	109	41	0	2	0	0	0	1252
16/11/2022	912	154	100	40	0	2	0	0	0	1208
17/11/2022	893	165	94	52	0	1	0	0	0	1205
18/11/2022	874	174	108	46	0	0	0	0	0	1202
19/11/2022	380	77	62	25	0	0	0	0	0	544
20/11/2022	310	89	70	20	0	0	0	0	0	489
Promedio	745	138	90	37	0	1	0	0	0	1011
Máximo (TPD a utilizar)	941	174	109	52	1	2	0	0	0	1279
Factor de expansión	10%									
TPD Amplificado	1035	191	120	57	1	2	0	0	0	1407
% Frecuencia	73,57%	13,60%	8,52%	4,07%	0,08%	0,16%	0,00%	0,00%	0,00%	100,0%

Asumiendo que la construcción del pavimento se realizará en el 2023, se realizó un aumento del TPD, por lo que se utilizará un valor de tránsito promedio diario anual de 1.463 vehículos por día, considerando un índice de crecimiento de 4,0%, de acuerdo con el análisis de crecimiento que se indica más adelante.

Para la estimación de los ejes equivalentes de diseño, se consideró un período de diseño de 10 y 15 años a partir del año 2023 (año tentativo para construcción del proyecto). Generalmente, los índices de crecimiento o decrecimiento anual del tráfico para cada tipo de vehículo se obtienen con base en regresiones históricas basadas en datos de TPD previos (al menos 5 años antes de la fecha del diseño) que permitan describir el comportamiento anual del volumen del tráfico en una ruta específica. Dado que para esta ruta no se contaba con tal información, se decidió tomar el índice de crecimiento anual estimado de 4,0%, recomendado por LanammeUCR en su artículo "*Desarrollo de una guía de diseño para pavimentos de bajo volumen de tránsito en Costa Rica*" (Leiva-Villacorta, 2008). Este índice fue aplicado para proyectar el crecimiento vehicular de cada tipo de vehículo pues no se cuenta con un índice de crecimiento propio para cada vehículo en específico. Se asume "un crecimiento" pues se proyecta el crecimiento de establecimientos residenciales en este complejo, en un corto mediano plazo, generando un potencial incremento del tránsito promedio diario proyectado. El Cuadro 4 muestra un resumen de los datos utilizados para el análisis.

El Cuadro 4 muestra los resultados obtenidos, así como la distribución del tránsito pesado y liviano presente en la ruta:

Cuadro 4: Distribución de tránsito para los accesos a Quebrada Caraña				
Estación No.	TPD (2023)	Tramo	% Vehículos Livianos	% Vehículos Pesados
1	1.463	Accesos a estructura Quebrada Caraña	87,2	12,8

Composición vehicular actual de la Calle Canelos

La composición porcentual del tránsito vehicular adoptada para diseño, tomando como base los conteos realizados por Ingeniería Técnica de Proyectos se muestra en el Cuadro 5:

Cuadro 5: Accesos a Quebrada Caraña									
Composición vehicular									
Estación No.	% Livianos	% Carga Liviana	% Buses	% C2	% C3	% C4	% T3-S3	% T3-S2	Otros
1	73,57	13,6	8,5	4,1	0,08	0,16	0,00	0,00	0,00

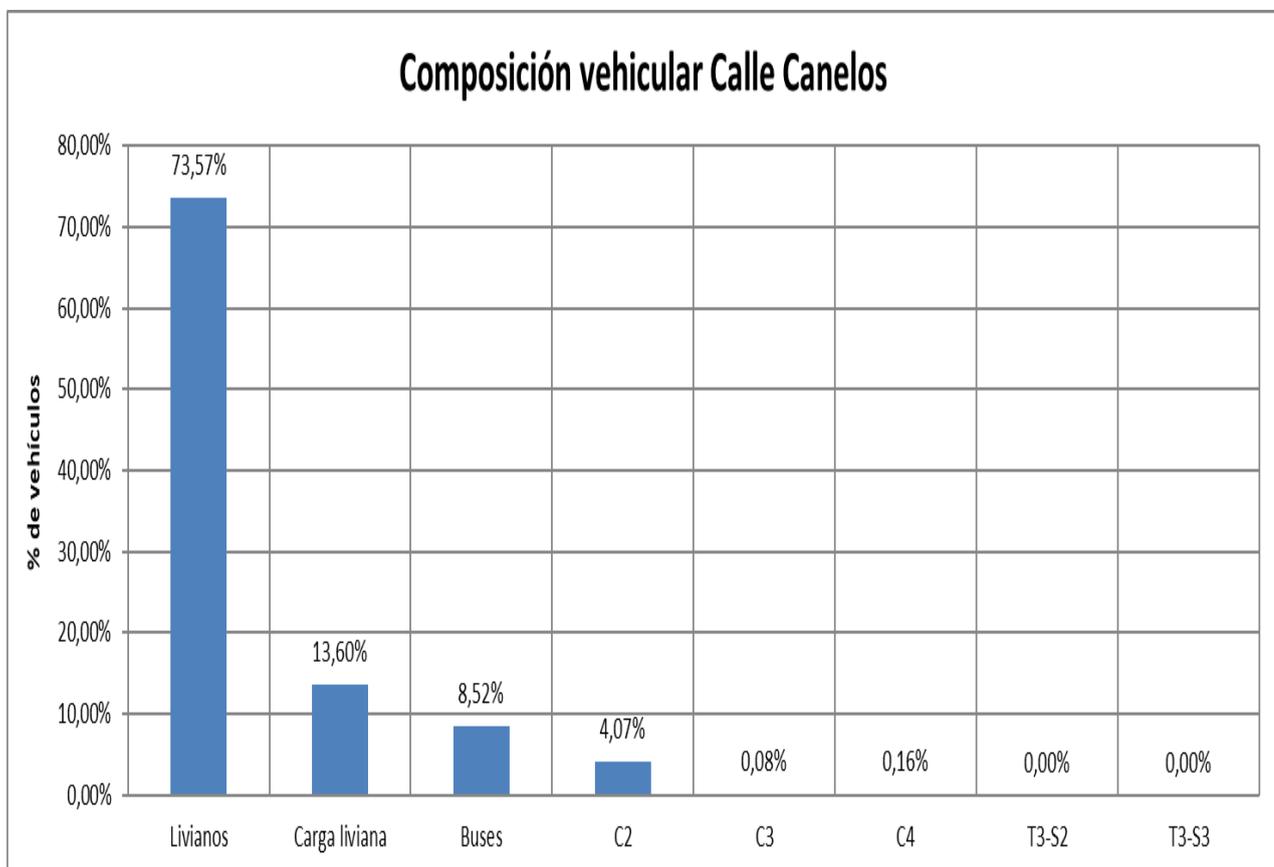


Figura 5: Composición vehicular de accesos al puente Quebrada Caraña – Calle Canelos

Factores equivalentes de carga y factores camión

Debido a la ausencia de información sobre tipos de eje y magnitudes de carga por eje para los vehículos característicos de la ruta, no fue posible determinar los ejes equivalentes de carga y los factores camión calibrados para el tipo de tráfico característico de la ruta. Por esa razón, se utilizaron los factores camión recomendados por el Consejo Nacional de Vialidad (en adelante CONAVI), de conformidad con los lineamientos y directrices emitidos por el Despacho del viceministro de Obras Públicas, mediante oficio No. DVOP-5170-07 de fecha 10 de Setiembre del 2007. El Cuadro 6 muestra dichos factores.

Tipo de vehículo	Factor camión
Livianos	0,004
Bus	2,290
Carga Liviana	0,020
Camión C2	0,630
Camión C3	1,280
Camión C-4 (*)	1,000
Camión T3-S2	2,380
Camión T3-S3 (**)	2,490
Chapulines	0,0014

(*): Tomado de "Recomendaciones técnicas para el diseño estructural de pavimentos flexibles con la incorporación de criterios mecánico – empíricos", LanammeUCR, Octubre 2014.

(**): Tomado de "Incidencia De Las Estaciones De Pesaje Móvil En Los Factores Camión En Pavimentos De Costa Rica", LanammeUCR, 2007.

Se seleccionaron para todos los tipos de vehículos los valores máximos recomendados. La razón para aumentar los valores de "factor camión" responde a la poca cantidad de controles de los camiones pesados que circulan con sobrepeso en las vías nacionales y vías cantonales.

Ejes equivalentes de diseño

El Cuadro 7 presenta un resumen de los ejes equivalentes de diseño ($N_{\text{diseño}}$) estandarizados a un eje patrón simple de 18,000 lb, para un período de diseño de 10 y 15 años. El Apéndice 2 presenta la memoria de cálculo que llevó a la determinación de los $N_{\text{diseño}}$. Se utiliza un factor direccional de 0,5 dado que son 2 carriles en ambos sentidos y un factor carril de 1,00 ya que son 2 carriles por sentido.

Año Base	F. carril	F. sentido	Período de diseño	ESAL's Diseño
2023	1,00	0,50	10 años	733.335
2023	1,00	0,50	15 años	1.223.044

DEFINICIÓN DEL ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD FINAL Y EL NIVEL DE CONFIABILIDAD DEL DISEÑO

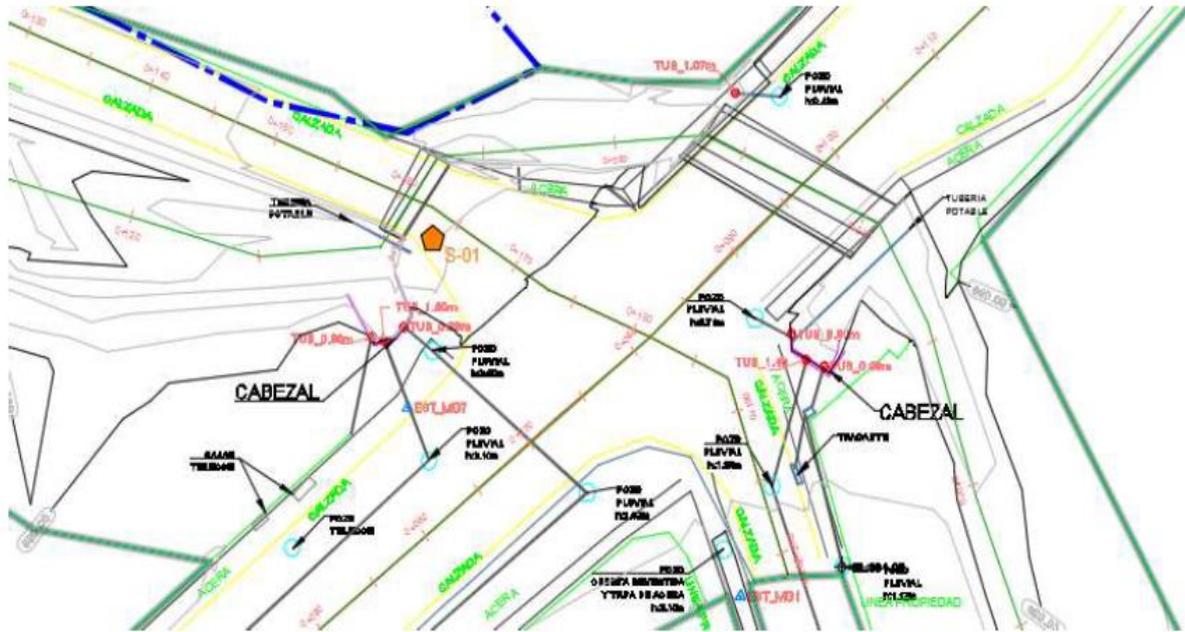
El nivel de confianza y el nivel de servicio terminal se han seleccionado de conformidad con la directriz del Despacho del Sr. Viceministro de Obras Públicas DVOP-5170-07 del 10 de Setiembre del 2007, de acuerdo con la clasificación de la vía (incluida dentro de categoría terciaria) y al Transito Promedio Diario (1.463 en el año 2023), directriz que se resume en el siguiente Cuadro 8:

Cuadro 8: Definición de nivel de confianza %R – Índice de Serviabilidad Terminal PSI			
Zona	TPD	Nivel de Confianza %	Índice de Servicio Terminal PSI
Rutas Primarias	Menor a 500	75	2,0
	Entre 500 y 2000	85	2,5
	Mayor de 2000	90	2,5
Rutas Secundarias	Menor a 500	70	2,0
	Entre 500 y 2000	80	2,0
	Mayor de 2000	85	2,5
Rutas Terciarias	Menor a 500	70	2,0
	Entre 500 y 2000	75	2,0
	Mayor de 2000	80	2,0

7. EVALUACIÓN DEL PAVIMENTO EXISTENTE

Como parte de la evaluación del pavimento, se procedió a realizar una evaluación en campo y en el laboratorio para determinar las características del material existente en la base / sub-base granular existente y la subrasante. Dicho estudio representó la base para definir la capacidad estructural requerida por la estructura de pavimento (en términos de número estructural) para proteger a la subrasante existente de esfuerzos y deformaciones verticales excesivas.

La localización de los puntos de recolección de las muestras fue realizada según ASTM D-75. Una vez que los puntos fueron ubicados, se procedió a la evaluación de cada una de las capas existentes. En total, se hizo un sondeo en uno de las aproximaciones, tal y como se muestra en la Figura 6.



Exploración	Coordenadas CRTM 05 (m)		Elevación (m.s.n.m.)
S-01	477 533,00	1 097 987,86	889,40

Figura 6: Ubicación de sondeos Estructura Quebrada Caraña (tomado de: INF-GEO-077-2022)

Evaluación de capa granular existente y subrasante

Para evaluar el material que compone la estructura existente, así como el material de subrasante, se procedió a determinar los espesores de cada capa encontrada (en el caso de la base y subbase granular) y a obtener muestras para su caracterización en el laboratorio. El Cuadro 9 muestra la lista de ensayos aplicados para su caracterización.

Cuadro 9: Ensayos de laboratorio		
Ensayo	Designación ASTM	Designación AASHTO
Análisis granulométrico	C-136/C117	T-27/11
Límite líquido/Límite plástico	D-4318	T-89/90
Próctor Estándar	D-698	T-99
Próctor Modificado	D-1557	T-180
Índice de Soporte de California CBR	D-1883	T-193
Clasificación AASHTO	-	M-145

Los cuadros 10 y 11 muestran los resultados de los sondeos, así como su interpretación.

Cuadro 10: Valores de capacidad de soporte CBR		
Sondeo	Lastre granular (%)	Subrasante (%)
1	51	3,1

Cuadro 11: Valores de espesores para materiales existentes Calle Canelos			
Estación	MAC (cm)	Lastre gris (cm)	Total(cm)
1	7,0	53,0	60,0

Lastre granular

En el caso de la capa de lastre granular, se obtuvo una capacidad de soporte CBR de 51%. Por otro lado, los resultados de los ensayos de compactación de laboratorio indican un material de una densidad mayor a 1900 kg/m^3 en las estaciones evaluadas y una humedad óptima característica para este tipo de materiales. En cuanto a los criterios de clasificación del material, el mismo se pudo categorizar como un material A-1-a/A-1-b (gravas o arenas), mientras que los espesores de capa de subbase granular existente 1 oscilan en 53,0 cm.

Subrasante

Finalmente, el material de subrasante existente en el proyecto se clasificó como un suelo arcilloso del tipo A-7-5/A-7-6 el cual cuenta con significativa plasticidad y posee una baja capacidad de soporte debido a que el CBR encontrado fue, en promedio, de 3,1%.

Nivel freático

Durante los sondeos no se identificaron niveles freáticos dentro de las profundidades evaluadas.

 INGENIERÍA TÉCNICA DE PROYECTOS	Ruta:	Calle Canelos	Sección de control	-	Provincia:	Santa Ana		
Sondeo 1								
Tipo de capa	Espesor (cm)	No. 4 / No. 10 / No. 40 / No. 200	Límite líquido (%)	Índice de plasticidad (%)	Densidad seca máxima (kg/m ³)	% Humedad óptima	CBR (%)	Clasificación de suelos AASHTO
Capa Asfáltica	7,0							
Lastre	53,0	30/15/11/4,8	NP	NP	1980	11,9	51	A-1-a/A-1-b
Subrasante	-	94/90/83/77,6	44,8	22,0	1312	37,5	3,1	A-7-5 / A-7-6

Módulo resiliente efectivo de la subrasante (M_{REFEC})

Durante el dimensionamiento de una estructura de pavimento es de suma importancia considerar los efectos de los cambios estacionarios (época lluviosa – seca) sobre el módulo resiliente de la subrasante. Al ser un material altamente susceptible a la humedad, su respuesta en términos de esfuerzos y deformaciones varía dependiendo de la época del año. El Cuadro 12 muestra los resultados de CBR para diferentes épocas del año y su procesamiento para obtener el módulo resiliente efectivo de la subrasante a utilizar en el diseño. Se debe tomar en cuenta que se utilizó la correlación $M_r = 1500 * CBR$ aplicable para suelos de subrasante (SIECA, 2010).

Con base en datos del Instituto Meteorológico Nacional (IMN, 2023, *Estación cercana Aeropuerto Pavas*), se pudo evidenciar que los meses de febrero-marzo y octubre, son los meses más secos y lluviosos, respectivamente. El Cuadro 12 presenta los daños relativos para los meses que presentan más de 10 días de lluvia por mes. Estos mayores daños relativos se traducen en un mayor daño sobre el pavimento debido a una reducción del módulo resiliente.

Para los meses con menores índices de lluvia (meses con días de lluvia menores a 10), se asume que la subrasante se encuentra en condiciones de humedad normales. De acuerdo con el Manual de Diseño de Pavimentos de la SIECA (SIECA, 2010), se puede asumir que, bajo condiciones de saturación en la subrasante, el módulo tiende a disminuir de 10% a 20% con respecto al módulo resiliente bajo condiciones normales. Tomando el dato de CBR de laboratorio como un parámetro crítico que puede darse en condiciones de saturación, se pudo determinar el módulo resiliente bajo condiciones normales incrementando en un 20% el módulo resiliente promedio correspondiente al CBR de laboratorio.

En este caso, se utilizaron los valores promedio, tal y como lo faculta la Guía de Diseño de Pavimentos AASHTO 93, Página II-9.

It is important to note that by treating design uncertainty as a separate factor, the designer should no longer use “conservative” estimates for all the other design input requirements. Rather than conservative values, the designer should use his best estimate of the mean or average value for each input value. The selected level of reliability and overall standard deviation will account for the combined effect of the variation of all the design variables.

Con base en los resultados, se obtuvo un módulo resiliente efectivo de la subrasante de 4.972 psi el cual será utilizado para la ejecución del diseño.

(Apéndice 1).

Cuadro 12: Módulo efectivo de la subrasante M_R				
Mes	Índice de soporte de California CBR (%)	Módulo M_R (psi)	Daño relativo (μ_r)	μ_r^*D
Enero	3,7	5580	0,24	0,240
Febrero	3,7	5580	0,24	0,240
Marzo	3,7	5580	0,24	0,240
Abril	3,7	5580	0,24	0,240
Mayo	3,1	4650	0,37	0,366
Junio	3,1	4650	0,37	0,366
Julio	3,1	4650	0,37	0,366
Agosto	3,1	4650	0,37	0,366
Septiembre	3,1	4650	0,37	0,366
Octubre	3,1	4650	0,37	0,366
Noviembre	3,1	4650	0,37	0,366
Diciembre	3,7	5580	0,24	0,240
			$\Sigma\mu_r^*D$	3,760
u_r promedio	0,3133			
M_R efectivo (psi)	4.972			

Propiedades de los materiales

Debido a que no se contaba con medidas directas del módulo resiliente de los materiales de subbase y base granular y a que el Contratista no cuenta con curvas maestras que caracterizan el comportamiento del módulo de rigidez de la mezcla asfáltica, a diferentes frecuencias de carga y temperatura, se debió utilizar información Tipo II (nivel de confianza medio) para determinar las propiedades necesarias mediante correlaciones para posteriormente, determinar el coeficiente estructural (a_i) de cada una de las capas. En este caso, la información Tipo II utilizada correspondió al valor de promedio de índice de soporte de California (CBR) para materiales granulares reportado en el Cuadro 10, de acuerdo con la recomendación de AASHTO 93 para el uso de promedios.

En el caso del módulo dinámico y el coeficiente estructural utilizado para las mezclas asfálticas convencionales, se asumió un módulo dinámico de 450.000 psi y un coeficiente estructural de 0,44, tomando como referencia la Guía de Diseño de Pavimentos AASHTO 93. El Cuadro 13 muestra las propiedades deseables de los materiales a utilizar en la estructura de pavimento y su correspondiente coeficiente estructural.

Se consideró el uso de los valores de CBR mínimos solicitados para subbase (CBR \geq 30%) y base granular sin tratar (CBR \geq 80%). En el caso de la base estabilizada con cemento hidráulico, se utilizó una resistencia a la compresión mínima de 30 kg/cm². El Cuadro 13 muestra las propiedades utilizadas para

estos materiales.

Para el caso del coeficiente de drenaje (m_i), se asumieron valores de 1,0 para la capa asfáltica y la base estabilizada con cemento hidráulico, 0,80 para la base y subbase granular sin tratar, considerando que el pavimento podría presentar una condición de saturación en más del 25% del tiempo y un drenaje “regular”.

Cuadro 8: Características de los materiales						
Capa	Módulo dinámico (psi)	Resistencia a la compresión (kg/cm^2)	CBR (%)	Módulo resiliente (psi)	Coefficiente estructural (a_i)	Coefficiente de drenaje (m_i)
Capa asfáltica convencional	450.000	-	-	-	0,44 (1)	1,0
Base granular virgen	-	-	≥ 80	>28.000	0,132	0,8
Subbase granular virgen	-	-	≥ 30	15.000	0,109 (2)	0,8
Base estabilizada con cemento hidráulico BE 25	-	30	-	620.000	0,16 (4)	1,0
Subrasante (Fundación)			3,31	4.972		

(1): tomado de oficio LM-PI-055-2017 LanammeUCR.

(2): el coeficiente estructural fue obtenido utilizando la correlación $0,227 * (\log Mr) - 0,839$ (Huang, 2004)

(3): tomado de nomograma Manual de Reciclado en Frío, Wirtgen 2017. No se utiliza el nomograma de AASHTO 93 para bases tratadas con cemento hidráulico para determinar el coeficiente estructural para un módulo de 535.000 psi ya que esto no tiene congruencia con el caso donde se tiene una base mejorada con cemento hidráulico con módulo de 31.000 psi (0,129 vs 0,14, respectivamente).

(4): se toma de nomograma AASHTO 93 para bases tratadas con cemento hidráulico con resistencia a la compresión simple de $30 kg/cm^2$.

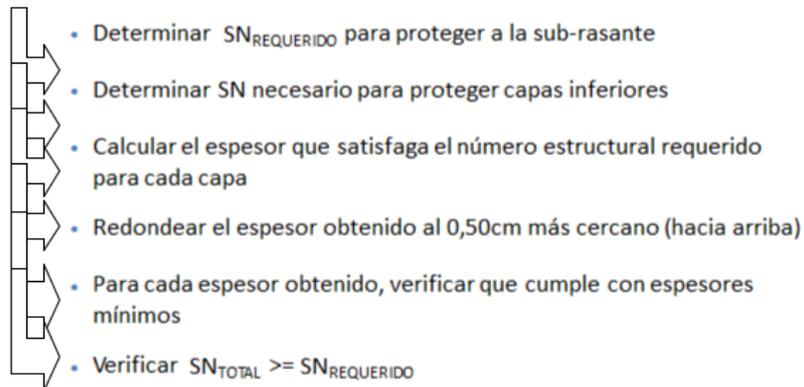
Así entonces, se decidió hacer las siguientes propuestas:

- Pavimento flexible 10 años (con base granular sin tratar)
- Pavimento semirrígido 10 años (con base granular estabilizada con cemento hidráulico).

RESULTADOS DE VERIFICACIÓN MÉTODO EMPÍRICO AASHTO 93

La verificación de cada una de las capas de la estructura de pavimento se basó en la teoría del número estructural (SN) de capas necesario para proteger las capas inferiores hasta la subrasante. A continuación, se menciona el procedimiento:

Esquema de trabajo



El Cuadro 14 muestra un resumen con los resultados de diseño obtenidos utilizando el software ITP-FPAVE, y la metodología AASHTO 93, para las dos alternativas planteadas anteriormente.

Cuadro 8: Resumen - Revisión de espesores - Método empírico AASHTO 93					
PERÍODO DE DISEÑO: 10 AÑOS					
Capa	Espesor de diseño (cm)	Espesor de diseño (in)	Coefficiente estructural (ai)	Coefficiente de drenaje (m _i)	Número estructural de capa (SN _i)
MAC convencional AC 30	10,5	4,13	0,442	1,0	1,83
Base granular sin tratar CBR > 80%	22,0	8,66	0,132	0,8	0,91
Subbase granular sin tratar CBR > 30%	26,0	10,24	0,109	0,8	0,90
				SN_{TOTAL}	3,64
				SN_{REQUERIDO} según M_{REFECsub-rasante}	3,33
				¿ SN_{TOTAL} > SN_{REQUERIDO} ?	SI
PERÍODO DE DISEÑO: 10 AÑOS					
Capa	Espesor de diseño (cm)	Espesor de diseño (in)	Coefficiente estructural (ai)	Coefficiente de drenaje (m _i)	Número estructural de capa (SN _i)
MAC convencional AC 30	8,0	3,15	0,44	1,0	1,39
Base granular estabilizada con cemento hidráulico BE 25	25,0	9,84	0,16	1,0	1,57
Subbase granular sin tratar CBR > 30%	20,0	7,87	0,109	0,8	0,69
				SN_{TOTAL}	3,65
				SN_{REQUERIDO} según M_{REFECsub-rasante}	3,33
				¿ SN_{TOTAL} > SN_{REQUERIDO} ?	SI

CONCLUSIONES SOBRE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO DISEÑADA BAJO AASHTO 93

PAVIMENTO FLEXIBLE

Período de diseño: 10 años

- El espesor de capa asfáltica requerido para proteger a la capa de base granular, correspondió a 10,5 cm, compuestos por mezcla asfáltica convencional.
- Para la base granular sin tratar, se propuso un espesor de capa de 20,0 cm, con un índice de capacidad de soporte CBR mínimo de 80%. Este espesor fue propuesto debido a que, la verificación mecanicista, indicaba que menores espesores de base granular podría traer problemas de capacidad por deformación plástica.
- La capa de subbase se diseñó con un espesor de 26,0 cm tomando en cuenta un CBR de la fuente a utilizar de 30%. Este espesor fue propuesto para:
 - Garantizar un espesor de capa donde el material pueda ser compactado correctamente (espesor de capa $> 3 \cdot TMN$ del material).
 - Brindar un espesor tal que pueda permitir un eficiente drenaje del agua subterránea hacia los elementos de desagüe laterales a través de dicha capa.
 - Disminuir los esfuerzos verticales por compresión a nivel de subrasante que puedan causar deformaciones permanentes. Esta situación es clave para el buen desempeño pues dichos tramos estarán soportados por un material de alta deformabilidad.
 - Controlar los esfuerzos provocados por los cambios volumétricos del material arcilloso que predomina en la fundación del pavimento y cuyos efectos no son considerados durante el dimensionamiento de los espesores con la metodología empírica AASHTO.
 - Protección para la subrasante durante el paso de maquinaria pesada.

PAVIMENTO SEMIRÍGIDO

Período de diseño: 10 años

- Debido a la utilización de una base estabilizada con cemento hidráulico y el volumen de tráfico característico de la ruta, el espesor de la capa asfáltica convencional obtenido resultó ser menor al espesor mínimo establecido para

capas asfálticas y niveles de ejes equivalentes mayores a 2.000.000 (7,62 cm). Por lo tanto, se propuso un espesor de capa asfáltica de 8,0 cm.

- Para la base estabilizada con cemento hidráulico BE 25, se propone un espesor de capa de 22,0 cm, y que cumpla con una resistencia a la compresión mínima de 30 kg/cm² a los 7 días. Este espesor fue propuesto para:
 - Controlar los esfuerzos provocados por los cambios volumétricos del material arcilloso que predomina en la fundación del pavimento y cuyos efectos no son considerados durante el dimensionamiento de los espesores con la metodología empírica AASHTO.
 - Garantizar un adecuado desempeño a la fatiga en la fibra inferior de la capa.
 - Brindar una mayor resistencia a la base granular ante los efectos erosivos del agua.
 - Disminuir significativamente los esfuerzos verticales por compresión a nivel de subrasante que puedan causar deformaciones permanentes.
 - Protección a las capas granulares inferiores durante el paso de maquinaria pesada.
 - Disminuir los niveles de excavación al disminuir los espesores requeridos para capas granulares.
- La capa de subbase se diseñó con un espesor de 25,0 cm tomando en cuenta un CBR de la fuente a utilizar de 30%. Este espesor fue propuesto para:
 - Garantizar un espesor de capa donde el material pueda ser compactado correctamente (espesor de capa > 3*TMN del material).
 - Brindar un espesor tal que pueda permitir un eficiente drenaje del agua subterránea hacia los elementos de desagüe laterales a través de dicha capa.
 - Disminuir los esfuerzos verticales por compresión a nivel de subrasante que puedan causar deformaciones permanentes. Esta situación es clave para el buen desempeño pues dichos tramos estarán soportados por un material de alta deformabilidad.
 - Controlar los esfuerzos provocados por los cambios volumétricos del material arcilloso que predomina en la fundación del pavimento y

cuyos efectos no son considerados durante el dimensionamiento de los espesores con la metodología empírica AASHTO.

- Protección para la subrasante durante el paso de maquinaria pesada.

CHEQUEO MECANICISTA CAPACIDAD POR FATIGA Y DEFORMACIÓN PLÁSTICA

Como complemento, se realizó una verificación del desempeño de la estructura de pavimento resultante ante fatiga y deformación permanente, utilizando criterios mecanicistas. Para esto, se determinaron los ejes equivalentes que sería capaz de resistir la estructura de pavimento antes de presentar ciertos niveles de fatiga y deformación permanente (en adelante $N_{\text{permisibles}}$) y posteriormente, se comparó contra los ejes equivalentes de diseño (en adelante $N_{\text{diseño}}$) calculados y proyectados para este proyecto. Esto permitió verificar si los $N_{\text{permisibles}}$ superaban los $N_{\text{diseño}}$ y concluir sobre la conformidad de la estructura de pavimento diseñada.

Para estimar los ejes equivalentes permisibles y necesarios para que la estructura de pavimento alcance la falla por agrietamientos por fatiga durante el período de diseño, se utilizaron las ecuaciones propuestas por el MOPT en el oficio DVOP-5170-07 del 10 de setiembre del 2007 realizado por el ministro Ing. Pedro Castro la cual se muestra a continuación.

$$N_f = 1.0226 \times 10^{25} \times \left[\frac{1}{\epsilon_t} \right]^{6.308} \times \left[\frac{1}{MR} \right]^{0.810}$$

N_f es el número de repeticiones de carga para la falla por fatiga
 ϵ_t es la deformación unitaria de la fibra en tensión en la capa asfáltica
MR es el modulo de resiliente del concreto asfáltico, es decir, $MR=2\ 757.902$ MPa

Para estimar los ejes equivalentes permisibles y necesarios para que la estructura de pavimento alcance una deformación de 0,5 in (1,27 cm) durante el período de diseño, se utilizó la ecuación propuesta por el Instituto del Asfalto (*Huang, 2004*) y el oficio DVOP-5170-07.

$$N_r = 1.365 \times 10^{-9} (\epsilon_{vs})^{-4.477}$$

ϵ_{vs} : deformación unitaria a la compresión en fibra superior de la sub-rasante
Fuente: Instituto del Asfalto.

Para estimar los ejes equivalentes permisibles y necesarios para que la estructura de pavimento alcance la falla por agrietamientos por fatiga en la base mejorada durante los diferentes períodos de diseño, se utilizaron las ecuaciones propuestas por el Asociación del Cemento Portland (en adelante PCA) sugeridas en la publicación “*Recomendaciones técnicas para el diseño estructural de pavimentos flexibles con la incorporación de criterios mecánico-empíricos*” del LanammeUCR. A continuación, se muestran las ecuaciones utilizadas.

$$N_f = \left(\frac{\beta_{cs}}{\sigma_t / M_{rup}} \right)^{\beta_{cs} + 20}$$

Donde,

- N_f = Número de repeticiones de carga para el agrietamiento por fatiga de la base estabilizada.
- σ_t = Máximo esfuerzo a tensión inducido por el tráfico en la parte inferior de la capa de base estabilizada (psi).
- M_{rup} : Módulo de ruptura a los 28 días (resistencia a flexión) $\beta^{(2,4)}$: Factores de calibración en campo (psi).
- $\beta_{c3} = 1.0259$, y $\beta_{c4} = 1.1368$, para granular.
- $\beta_{c3} = 0.6052$, y $\beta_{c4} = 2.1154$, para material fino.

Tomado de: "Recomendaciones técnicas para el diseño estructural de pavimentos flexibles con la incorporación de criterios mecánico-empíricos" (LanammeUCR, 2014).

Las respuestas de la estructura de pavimento en términos de esfuerzos, deformaciones y deflexiones fueron calculadas utilizando el software PITRA-PAVE, el cual se basa en la teoría elástica-lineal de capas. Para los análisis por fatiga, se determinó la deflexión horizontal máxima por tensión comúnmente producida en la fibra inferior de la capa asfáltica y para la base mejorada con cemento hidráulico, el esfuerzo horizontal por tensión en la fibra inferior de dicha capa. Para el análisis por deformación permanente, se utilizó la deflexión vertical en la fibra superior de la subrasante.

Una vez calculados los ejes equivalentes permisibles para cada tipo de vehículo característico de la ruta, se procedió a aplicar la Hipótesis de Miner con el fin de verificar que los ejes equivalentes permisibles superaban los ejes equivalentes de diseño para los diferentes períodos de diseño.

Hipótesis de Miner = $N_{diseño} / N_{permisibles} < 1$ Diseño satisfactorio

Hipótesis de Miner = $N_{diseño} / N_{permisibles} > 1$ Re-plantear diseño

El Coeficiente de Poisson utilizado para las diferentes capas del pavimento modelado fue seleccionado siguiendo las recomendaciones de la norma *ASTM D5858: Standard Guide for Calculating In Situ Equivalent Elastic Moduli of Pavement Materials Using Layered Elastic Theory* como sigue:

asphalt concrete:	0.30 to 0.40
portland cement concrete:	0.10 to 0.20
unbound granular bases:	0.20 to 0.40*
cohesive soil:	0.25 to 0.45*
cement-stabilized soil:	0.10 to 0.30
lime-stabilized soil:	0.10 to 0.30

* Depending on stress/strain level and degree of saturation.

En el caso del concreto asfáltico se utilizó un valor medio de 0,35. Los espesores de pavimento utilizados corresponden a los espesores descritos en el Cuadro 9..

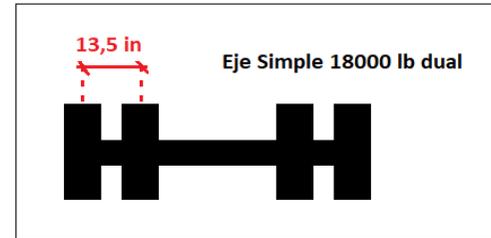
10 años Pavimento flexible



INGENIERÍA TÉCNICA DE PROYECTOS
Funciones de transferencia para análisis mecánico de pavimentos.

Módulo de carpeta asfáltica	
Módulo capa asfáltica (psi)	450 000
Módulo capa asfáltica (MPa)	3 103
Módulo capa asfáltica (ksi)	450

Ejes equivalentes de diseño	
Ndiseño	733 335



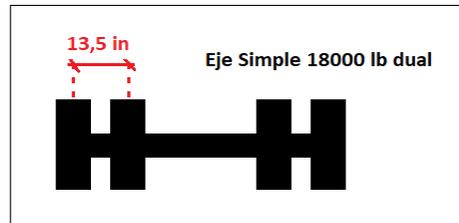
FATIGA						
Tipo de vehículo	Peso eje (lb)	Referencia	Deflexión por tensión horizontal en la fibra inferior de la capa asfáltica (et)x10 ⁻⁶	Ejes equivalentes Npermisibles (Falla por fatiga)	Razón de Miners	¿Cumple?
Eje simple dual	4500	MOPT oficio DVOP-5170-07	290,21	4 432 140	0,165	SI

DEFORMACIÓN PERMANENTE						
Tipo de vehículo	Peso eje (lb)	Referencia	Deflexión por compresión vertical en la fibra superior de la sub-rasante (ev)	Ejes equivalentes Npermisibles (Falla por deformación permanente)	Razón de Miners	¿Cumple?
Eje simple dual	4500	MOPT oficio DVOP-5170-07	5,0368E-04	793 571	0,924	SI

10 años Pavimento semirrígido

Módulo de carpeta asfáltica	
Módulo capa asfáltica (psi)	450 000
Módulo capa asfáltica (MPa)	3 103
Módulo capa asfáltica (ksi)	450

Ejes equivalentes de diseño	
Ndiseño	733 335



FATIGA						
Tipo de vehículo	Peso eje (lb)	Referencia	Deflexión por tensión horizontal en la fibra inferior de la capa asfáltica (ϵ_t)x10 ⁶	Ejes equivalentes Npermisibles (Falla por fatiga)	Razón de Miners	¿Cumple?
Eje simple dual	4500	MOPT oficio DVOP-5170-07	2,51	45 177 108 462 320 500 000	0,000	SI

DEFORMACIÓN PERMANENTE						
Tipo de vehículo	Peso eje (lb)	Referencia	Deflexión por compresión vertical en la fibra superior de la sub-rasante (ϵ_v)	Ejes equivalentes Npermisibles (Falla por deformación permanente)	Razón de Miners	¿Cumple?
Eje simple dual	4500	MOPT oficio DVOP-5170-07	1,8358E-04	72 775 717	0,010	SI

Tipo de vehículo	Peso eje (Ton)	Max. esfuerzo por tensión en la fibra inferior de la BE (psi)	Ejes equivalente Npermisibles (100% Fatiga)	Ejes equivalentes de diseño Ndiseño	Hipótesis de Miners (PCA)	Cumple ?
Ejes equivalentes simple dual 8 Ton	8,20	5,6424E+01	4,75E+06	733 335	0,15	OK
				TOTAL	0,15	

CONCLUSIONES SOBRE CHEQUEO MECANICISTA

En los cuadros anteriores se puede apreciar que la estructura de pavimento dimensionada con la metodología AASHTO cumple con los modelos de desempeño por fatiga y deformación permanente establecidos en el oficio DVOP 5170-07. Teóricamente, el daño acumulado que presentaría la capa asfáltica por fatiga y por deformación no sobrepasaría el valor de 1,00 durante los diferentes períodos de diseño analizados.

De acuerdo con los resultados del análisis por fatiga en la capa asfáltica, se demuestra que la estructura de pavimento presenta una menor susceptibilidad ante este fenómeno en la fibra inferior de la capa asfáltica en la mayoría de los períodos de diseño, si se compara contra su susceptibilidad ante la deformación. En este caso, los daños acumulados son menores a 1,0 demostrando así que la estructura es capaz de desempeñarse adecuadamente ante la fatiga durante el período de diseño seleccionado.

En términos generales, la estructura de pavimento es más susceptible a la deformación permanente sin embargo ésta demuestra ser teóricamente competente para cada uno de los períodos de diseño dado que ésta presenta daños acumulados menores 1,0.

Con base en los resultados, se puede concluir que la intervención propuesta no presentaría problemas de fatiga y deformación permanente para cada uno de los períodos de diseño estipulados. Especial cuidado se debe tener pues este tipo de problemas no está asociado únicamente a un mal dimensionamiento de las capas sino también a problemas constructivos, drenajes o materiales compuestos diseñados erróneamente, entre otros.

Conclusiones

Alternativa 1

- Para un período de diseño de 10 años, se propone la siguiente sección transversal de pavimento flexible:

CARPETA ASFÁLTICA CONVENCIONAL AC-30 $M_D= 450.000$ psi 10,5 cm de espesor
BASE GRANULAR SIN TRATAR ($M_R = 28.000$ psi) 22,0 cm de espesor CBR $\geq 80\%$
SUB-BASE GRANULAR VIRGEN $M_R = 15.000$ psi 26,0 cm CBR $\geq 30\%$
SUB-RASANTE $M_R = 4.972$ psi

Alternativa 2

- Para un período de diseño de 10 años, se propone la siguiente sección transversal de pavimento semirrígido:

CARPETA ASFÁLTICA CONVENCIONAL AC-30 $M_D= 450.000$ psi 8,0 cm de espesor
BASE TRATADA CON CEMENTO HIDRÁULICO ($M_R = 620.000$ psi) 25,0 cm de espesor 30 kg/cm ²
SUB-BASE GRANULAR VIRGEN $M_R = 15.000$ psi 20,0 cm CBR $\geq 30\%$
SUB-RASANTE $M_R = 4.972$ psi

- Con base en el análisis estructural se concluye que la estructura de pavimento no será susceptible a niveles críticos de deformaciones plásticas o fatiga acelerada a corto y mediano plazo para los períodos de diseño de 10 años.

Recomendaciones

- Se recomienda que el cemento asfáltico a utilizar para la capa de rueda alcance un grado por desempeño mínimo PG 64 para topografía plana con velocidad normal (20 km/h a 70 km/h) y de PG 70 para topografía ondulada a montañosa con velocidad lenta o detenida (menor a 20 km/h), donde el asfalto puede presentar condiciones de inestabilidad más críticas. Lo anterior tomando como referencia la herramienta para determinación de grado por desempeño elaborada por LanammeUCR para el caso de tránsito lento, ejes equivalentes entre 0,30 millones 30 millones, así como las condiciones climáticas de la zona.
- Es importante revisar temas de cableado y niveles de acceso propios de la ruta analizada con el fin de verificar que éstos no sean obstáculo para la ejecución de la intervención y período de diseño seleccionado.

- Se recomienda la revisión y de ser necesario, el mejoramiento del sistema de drenaje existente. El buen desempeño de la estructura de pavimento dependerá directamente de la capacidad y desempeño adecuado del sistema de drenajes de esta ruta.
- Si durante las labores de excavación, se identifican suelos con un alto contenido de humedad natural que superen significativamente su contenido de humedad óptimo y que generen una plataforma inestable y que no permita la compactación adecuada de las capas granulares, se sugiere su estabilización con material de préstamo, hasta alcanzar una plataforma de trabajo firme.

SOBRE MODIFICACIONES Y/O AJUSTES AL DISEÑO OBJETO DE ESTE INFORME

En caso de que lo contenido en este oficio sea modificado, ajustado o utilizado como referencia para un replanteo a posteriori a su entrega y recepción oficial por parte del cliente, ITP se libera de cualquier responsabilidad en cuanto al desempeño a futuro del diseño original que se presenta en este informe.

FIRMAS DE AUTORIZACIÓN

ELABORADO POR:

Ing. Sergio Fernández Cerdas MSc.
Gerente Técnico Regional
Ingeniería Técnica de Proyectos

REFERENCIAS

1. Instituto Meteorológico Nacional IMN, Estación Pavas, 2023
2. Fernández, S., "Software ITP-ESAL para cálculo de ejes equivalentes de diseño", Ingeniería Técnica de Proyectos, 2014
3. Ministerio de Obras Públicas y Transportes MOPT, "Oficio No. DVOP-5170-07", Viceministro de Obras Públicas y Transportes, 2007
4. SIECA, "Manual de diseño de pavimentos", 2010
5. Huang, Y. (2004) "Análisis y Diseño de Pavimentos", Segunda Edición, Prentice Hall, Estados Unidos
6. MOPT., "Manual para la construcción de carreteras, caminos y puentes CR-2020", Ministerio de Obras Públicas y Transportes, 2020.

APÉNDICES

Apéndice 1: Módulo de subrasante efectivo

Apéndice 2: ESAL's Diseño

Apéndice 3: Memoria de cálculo AASHTO 93 para ambas propuestas

Apéndice 4: Verificación mecanicista PitraPave

Apéndice 5: Información de conteos vehiculares

APÉNDICE 1

Módulo efectivo de la sub-rasante M_R

Módulo efectivo de la sub-rasante M_R				
Mes	Índice de soporte de California CBR (%)	Módulo M_R (psi)	Daño relativo (μ_f)	$\mu_f * D$
Enero	3,7	5580	0,24	0,240
Febrero	3,7	5580	0,24	0,240
Marzo	3,7	5580	0,24	0,240
Abril	3,7	5580	0,24	0,240
Mayo	3,1	4650	0,37	0,366
Junio	3,1	4650	0,37	0,366
Julio	3,1	4650	0,37	0,366
Agosto	3,1	4650	0,37	0,366
Septiembre	3,1	4650	0,37	0,366
Octubre	3,1	4650	0,37	0,366
Noviembre	3,1	4650	0,37	0,366
Diciembre	3,7	5580	0,24	0,240
			$\Sigma \mu_f * D$	3,760

u_f promedio	0,3133
M_R efectivo (psi)	4972

$$u_f = 1.18 \times 10^8 * M_R^{-2.32}$$

$$M_{REffective} = \left(\frac{u_{faverage}}{1.18 \times 10^8} \right)^{-\frac{1}{2.32}}$$

$$u_{faverage} = \frac{\sum u_{fi} * D_i}{\sum_{i=1}^n D_i}$$

Observaciones:

APÉNDICE 2

Resumen: Ejes equivalentes de carga ESAL's

Información general	
Tipo de pavimento	Flexible - Semi-rígido
Número de carriles	2
Carriles por sentido	1
Factor de distribución por carril L.D	1
Factor de distribución direccional D.D	0,5
Serviciabilidad final Pt	2
Número estructural SN o espesor (in)	5
Período de diseño (años)	10
Tráfico promedio diario anual TPDA (Veh/día)	1463
Design AADT (Trucks/day)	0,00

Volver a índice

From Table 6.16, % of ESALs in design lane = 90%
 Traffic volume is bi-directional, assuming 50% in each direction
 p_i, dependent on AADT

Average % Heavy Trucks	
Average TADT	
AADT * % Heavy trucks * % Average TADT (taken from ALDOT website)	

Clase de vehículo	Descripción del vehículo	% Frecuencia	TPDA Actual	Índice de crecimiento	Factor de crecimiento	Factor ESAL	ESAL's
Livianos		73,57%	1076	4,000%	12,006	0,004	9433
Carga liviana		13,60%	199	4,000%	12,006	0,02	8719
Buses		8,50%	124	4,000%	12,006	2,29	623970
C2		4,10%	60	4,000%	12,006	0,63	82801
C3		0,08%	1	4,000%	12,006	1,28	3283
C4		0,16%	2	4,000%	12,006	1,00	5129
T3-S2		0,00%	0	4,000%	12,006	2,38	
T3-S3		0,00%	0	4,000%	12,006	2,49	
Todos los vehículos		100,0%	1463			ESAL's Diseño	733335

Ecuaciones:

$$ESAL's = L.D \times D.D \times Growth\ Factor \times ESAL\ factor \times 365 \times Current\ Traffic$$

BORRAR

APÉNDICE 3

Pavimento flexible

DETERMINACIÓN DEL NÚMERO ESTRUCTURAL SN₁

Capa 1	Mezcla asfáltica
Capa 2	Sub-base granular

Parámetros iniciales	
Confiabilidad R	75%
Desviación estándar So	0.45
ΔPSI	2.20
Módulo Mr Capa 2 (psi)	28000
ESAL's Diseño	733335
Zstat	-0.67448975

Número estructural SN1	
SN Diseño	1,77

Resumen	Mezcla asfáltica	Sub-base granular	Material de préstamo	Material alternativo
Coficiente estructural a ₁	0.441907489	0.132	0.108972716	0.16
Coficiente de drenaje m ₁	-	0.80	0.80	1.00
Módulo dinámico-resiliente Mr (psi)	450000	28000	15000	620000



LogW18	A term	Snlow	Snavg	Snmax	B term	C term	D term	E term	F Term	G Term	Tabular residual	
											Log W18*	LogW18*-LogW18
5.865302406	-0.303520388	0	7.5	15	8.69936114	-0.2	-0.088941083	0.416418486	10.31740663	-8.07	10.22966157	4.364359165
5.865302406	-0.303520388	0	3.75	7.5	6.33385219	-0.2	-0.088941083	0.736494127	10.31740663	-8.07	7.956975644	2.091673238
5.865302406	-0.303520388	0	1.875	3.75	4.29285027	-0.2	-0.088941083	4.957082443	10.31740663	-8.07	6.018794288	0.153491882
5.865302406	-0.303520388	0	0.9375	1.875	2.68858242	-0.2	-0.088941083	35.73725748	10.31740663	-8.07	4.429979912	-1.435322494
5.865302406	-0.303520388	0.9375	1.40625	1.875	3.56934939	-0.2	-0.088941083	11.8778051	10.31740663	-8.07	5.305747629	-0.559554777
5.865302406	-0.303520388	1.40625	1.640625	1.875	3.947175	-0.2	-0.088941083	7.485318705	10.31740663	-8.07	5.679179173	-0.186123233
5.865302406	-0.303520388	1.640625	1.7578125	1.875	4.12368593	-0.2	-0.088941083	6.055699723	10.31740663	-8.07	5.852885003	-0.012417403
5.865302406	-0.303520388	1.7578125	1.81640625	1.875	4.209148	-0.2	-0.088941083	5.471059638	10.31740663	-8.07	5.936777601	0.071475195
5.865302406	-0.303520388	1.7578125	1.78710938	1.81640625	4.16664155	-0.2	-0.088941083	5.753872186	10.31740663	-8.07	5.895070194	0.029767788
5.865302406	-0.303520388	1.7578125	1.77246094	1.78710938	4.14522048	-0.2	-0.088941083	5.902318297	10.31740663	-8.07	5.874037886	0.00873548
5.865302406	-0.303520388	1.7578125	1.76513672	1.77246094	4.13446746	-0.2	-0.088941083	5.978380314	10.31740663	-8.07	5.863476588	-0.001825818
5.865302406	-0.303520388	1.76513672	1.76879883	1.77246094	4.13984753	-0.2	-0.088941083	5.940193624	10.31740663	-8.07	5.868761014	0.003458608
5.865302406	-0.303520388	1.76513672	1.76696777	1.76879883	4.13715839	-0.2	-0.088941083	5.959247864	10.31740663	-8.07	5.866119746	0.00081734
5.865302406	-0.303520388	1.76513672	1.76605225	1.76696777	4.13581315	-0.2	-0.088941083	5.968804289	10.31740663	-8.07	5.864798404	-0.000504003
5.865302406	-0.303520388	1.76605225	1.76651001	1.76696777	4.13648582	-0.2	-0.088941083	5.96402363	10.31740663	-8.07	5.865459134	0.000156728
5.865302406	-0.303520388	1.76605225	1.76628113	1.76651001	4.1361495	-0.2	-0.088941083	5.966413347	10.31740663	-8.07	5.865128784	-0.000173623

DETERMINACIÓN DEL NÚMERO ESTRUCTURAL SN₂

Capa 2	Sub-base granular
Capa 3	Material de préstamo

Parámetros iniciales	
Confiabilidad R	75%
Desviación estándar So	0.45
ΔPSI	2.20
Módulo Mr Capa 3 (psi)	15000
ESAL's Diseño	733335
Zstat	-0.67448975

Número estructural SN2	
SN Diseño	2,24

Resumen	Mezcla asfáltica	Sub-base granular	Material de préstamo	Material alternativo
Coficiente estructural a ₁	0.44	0.132	0.109	0.16
Coficiente de drenaje m ₁	-	0.80	0.80	1.00
Módulo dinámico-resiliente Mr (psi)	450000	28000	15000	620000



LogW18	A term	Snlow	Snavg	Snmax	B term	C term	D term	E term	F Term	G Term	Tabular residual	
											Log W18*	LogW18*-LogW18
5.865302406	-0.303520388	1	8	15	8.93170989	-0.2	-0.088941083	0.412203902	9.688531721	-8.07	9.830951592	3.965649186
5.865302406	-0.303520388	1	4.5	8	6.92979477	-0.2	-0.088941083	0.557229837	9.688531721	-8.07	7.885193184	2.019890777
5.865302406	-0.303520388	1	2.75	4.5	5.37293267	-0.2	-0.088941083	1.547611899	9.688531721	-8.07	6.430474111	0.565171705
5.865302406	-0.303520388	1	1.875	2.75	4.29285027	-0.2	-0.088941083	4.957082443	9.688531721	-8.07	5.389919376	-0.475383003
5.865302406	-0.303520388	1.875	2.3125	2.75	4.8686591	-0.2	-0.088941083	2.584782803	9.688531721	-8.07	5.949260935	0.083958529
5.865302406	-0.303520388	1.875	2.09375	2.3125	4.59094162	-0.2	-0.088941083	3.514576838	9.688531721	-8.07	5.680646616	-0.18465579
5.865302406	-0.303520388	2.09375	2.203125	2.3125	4.73217158	-0.2	-0.088941083	3.000691559	9.688531721	-8.07	5.817542721	-0.047759685
5.865302406	-0.303520388	2.203125	2.2578125	2.3125	4.80098816	-0.2	-0.088941083	2.781940667	9.688531721	-8.07	5.884028615	0.018726209
5.865302406	-0.303520388	2.203125	2.23046875	2.2578125	4.76672549	-0.2	-0.088941083	2.888451309	9.688531721	-8.07	5.850944865	-0.014357541
5.865302406	-0.303520388	2.23046875	2.24414063	2.2578125	4.78389293	-0.2	-0.088941083	2.834501391	9.688531721	-8.07	5.867526224	0.002223817
5.865302406	-0.303520388	2.23046875	2.23730469	2.24414063	4.77531827	-0.2	-0.088941083	2.861300059	9.688531721	-8.07	5.859245455	-0.000656952
5.865302406	-0.303520388	2.23730469	2.24072266	2.24414063	4.77960786	-0.2	-0.088941083	2.847856986	9.688531721	-8.07	5.863388312	-0.001914094
5.865302406	-0.303520388	2.24072266	2.24243164	2.24414063	4.78175096	-0.2	-0.088941083	2.841168235	9.688531721	-8.07	5.865457885	0.000155479
5.865302406	-0.303520388	2.24072266	2.24157715	2.24243164	4.78067955	-0.2	-0.088941083	2.844509912	9.688531721	-8.07	5.864423253	-0.000879153
5.865302406	-0.303520388	2.24157715	2.24200439	2.24243164	4.78121529	-0.2	-0.088941083	2.842838422	9.688531721	-8.07	5.864940608	-0.000361799
5.865302406	-0.303520388	2.24200439	2.24221802	2.24243164	4.78148313	-0.2	-0.088941083	2.842003188	9.688531721	-8.07	5.865199256	-0.00010315

DETERMINACIÓN DEL NÚMERO ESTRUCTURAL SN₄ (PROTECCIÓN DE SUB-RASANTE)

Capa **Material de préstamo**

Parámetros iniciales	
Confiabilidad R	75%
Desviación estándar So	0.45
ΔPSI	2.20
Módulo Mr Sub.-rasante (psi)	4972
ESAL's Diseño	733335

Número estructural SN3	
SN Diseño	3.33



Resumen	Mezcla asfáltica	Sub-base granular	Material de préstamo	Material alternativo
Coefficiente estructural a ₁	0.441907489	0.132	0.108972716	0.16
Coefficiente de drenaje m ₁	-	0.80	0.80	1.00
Módulo dinámico-resiliente Mr (psi)	450000	28000	15000	620000

Zstat -0.67448975

LogW18	A term	S _{slow}	S _{navg}	S _{nmax}	B term	C term	D term	E term	F Term	G Term	Tabular residual	
											Log W18*	LogW18*-LogW18
5.865302406	-0.303520388	1	8	15	8.93170989	-0.2	-0.088941083	0.412203902	8.575871712	-8.07	8.718291583	2.852989177
5.865302406	-0.303520388	1	4.5	8	6.92979477	-0.2	-0.088941083	0.557229837	8.575871712	-8.07	6.772533175	0.907230768
5.865302406	-0.303520388	1	2.75	4.5	5.37293267	-0.2	-0.088941083	1.547611899	8.575871712	-8.07	5.317814102	-0.547488304
5.865302406	-0.303520388	2.75	3.625	4.5	6.22544586	-0.2	-0.088941083	0.786444746	8.575871712	-8.07	6.114704581	0.249402174
5.865302406	-0.303520388	2.75	3.1875	3.625	5.82149712	-0.2	-0.088941083	1.047249623	8.575871712	-8.07	5.738920185	-0.126382221
5.865302406	-0.303520388	3.1875	3.40625	3.625	6.0284871	-0.2	-0.088941083	0.896933774	8.575871712	-8.07	5.931677162	0.066374756
5.865302406	-0.303520388	3.1875	3.296875	3.40625	5.92630946	-0.2	-0.088941083	0.966180237	8.575871712	-8.07	5.836606443	-0.028695963
5.865302406	-0.303520388	3.296875	3.3515625	3.40625	5.97771931	-0.2	-0.088941083	0.930210839	8.575871712	-8.07	5.884456738	0.019154332
5.865302406	-0.303520388	3.296875	3.32421875	3.3515625	5.95209566	-0.2	-0.088941083	0.947843596	8.575871712	-8.07	5.860611791	-0.004690615
5.865302406	-0.303520388	3.32421875	3.33789063	3.3515625	5.96492767	-0.2	-0.088941083	0.938941219	8.575871712	-8.07	5.872554129	0.007251723
5.865302406	-0.303520388	3.32421875	3.33105469	3.33789063	5.95851673	-0.2	-0.088941083	0.943370664	8.575871712	-8.07	5.86658795	0.001285543
5.865302406	-0.303520388	3.32421875	3.32763672	3.33105469	5.95530746	-0.2	-0.088941083	0.945601663	8.575871712	-8.07	5.863601121	-0.001701286
5.865302406	-0.303520388	3.32763672	3.3293457	3.33105469	5.95691241	-0.2	-0.088941083	0.944484801	8.575871712	-8.07	5.865094847	-0.000207559
5.865302406	-0.303520388	3.3293457	3.3302002	3.33105469	5.95771465	-0.2	-0.088941083	0.943927392	8.575871712	-8.07	5.865841476	0.00053907
5.865302406	-0.303520388	3.3293457	3.32977295	3.3302002	5.95731355	-0.2	-0.088941083	0.944206011	8.575871712	-8.07	5.865468181	0.000165775
5.865302406	-0.303520388	3.3293457	3.32955933	3.32977295	5.95711299	-0.2	-0.088941083	0.944345385	8.575871712	-8.07	5.865281519	-2.0887E-05

Volver a índice

Ecuaciones:

$$\log W_{18} = Z_r S_o + 9.36 \log(SV + 1) - 0.20 + \frac{\log \left[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.4 + \frac{1094}{(SV + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log M_R - 8.07$$

$$ESALs = 10^{\log W_{18}}$$

Dimensionamiento de espesores

Diseño de pavimento flexible	
Capa 1	
Capa	Mezcla asfáltica
Número estructural SN_1	1,77
Coefficiente estructural a_1	0,44
Espesor calculado D_1 (in)	4,00
Espesor calculado D_1 (cm)	10,15
Espesor mínimo requerido $D_{1\ MIN}$ (cm)	7,62
Espesor de diseño seleccionado y redondeado (cm)	10,5
Nuevo Número estructural SN_1	1,83
Capa 2	
Capa	Sub-base granular
Número estructural SN_2	2,24
Coefficiente estructural a_2	0,13
Coefficiente de drenaje m_2	0,80
Espesor calculado D_2 (in)	3,93
Espesor calculado D_2 (cm)	10,0
Espesor mínimo requerido $D_{2\ MIN}$ (cm)	15,0
Espesor de diseño seleccionado y redondeado (cm)	22,0
Nuevo Número estructural SN_2	2,74
Número estructural de capa $SN_2 - SN_1$	0,91
Capa 3	
Capa	Material de préstamo
Número estructural SN_3	2,24
Coefficiente estructural a_3	0,109
Coefficiente de drenaje m_3	0,80
Espesor calculado D_3 (in)	-5,73
Espesor calculado D_3 (cm)	-14,54
Espesor mínimo requerido $D_{3\ MIN}$ (cm)	10,0
Espesor de diseño seleccionado y redondeado (cm)	0,0
Nuevo Número estructural SN_3	2,74
Número estructural de capa $SN_3 - SN_2$	0,00
Capa 4	
Capa	Material de préstamo
Número estructural SN_4	3,33
Coefficiente estructural a_4	0,109
Coefficiente de drenaje m_4	0,80
Espesor calculado D_4 (in)	6,75
Espesor calculado D_4 (cm)	17,14
Espesor mínimo requerido $D_{4\ MIN}$ (cm)	10,0
Espesor de diseño seleccionado y redondeado (cm)	26,0
Nuevo Número estructural SN_4	3,63
Número estructural de capa $SN_4 - SN_3$	0,89
SN Total Requerido	3,33
SN Total Diseño	3,63
Cumple o no ?	OK

Resumen	Mezcla asfáltica	Sub-base granular	Material de préstamo	Material alternativo
Coefficiente estructural a_i	0,441907489	0,132	0,108972716	0,16
Coefficiente de drenaje m_i	-	0,80	0,80	1,00
Módulo dinámico-resiliente Mr (psi)	450000	28000	15000	620000



Espesores mínimos SIECA

Volver a índice

ITP INGENIERÍA
TÉCNICA DE
PROYECTOS

Pavimento semirrígido

DETERMINACIÓN DEL NÚMERO ESTRUCTURAL SN₁

Capa 1	Mezcla asfáltica
Capa 2	Material alternativo

Parámetros iniciales	
Confiabilidad R	75%
Desviación estándar So	0.45
ΔPSI	2.20
Módulo Mr Capa 2 (psi)	620000
ESAL's Diseño	733335
Zstat	-0.67448975

Número estructural SN ₁	
SN Diseño	0,28



Resumen	Mezcla asfáltica	Sub-base granular	Material de préstamo	Material alternativo
Coficiente estructural a ₁	0,441907489	0,132	0,108972716	0,16
Coficiente de drenaje m ₁	-	0,80	0,80	1,00
Módulo dinámico-resiliente Mr (psi)	450000	28000	15000	620000

Tabular residual												
LogW18	A term	Snlow	Snavg	Snmax	B term	C term	D term	E term	F Term	G Term	Log W18'	LogW18'-LogW18
5.865302406	-0.303520388	0	7.5	15	8.69936114	-0.2	-0.088941083	0.416418486	13.43834872	-8.07	13.35060366	7.485301251
5.865302406	-0.303520388	0	3.75	7.5	6.33385219	-0.2	-0.088941083	0.736494127	13.43834872	-8.07	11.07791773	5.212615325
5.865302406	-0.303520388	0	1.875	3.75	4.29285027	-0.2	-0.088941083	4.957082443	13.43834872	-8.07	9.139736375	3.274433969
5.865302406	-0.303520388	0	0.9375	1.875	2.68858242	-0.2	-0.088941083	35.73725748	13.43834872	-8.07	7.550921999	1.685619593
5.865302406	-0.303520388	0	0.46875	0.9375	1.56263215	-0.2	-0.088941083	149.1645469	13.43834872	-8.07	6.426864304	0.561561897
5.865302406	-0.303520388	0	0.234375	0.46875	0.8594502	-0.2	-0.088941083	367.1809602	13.43834872	-8.07	5.720531123	-0.144771283
5.865302406	-0.303520388	0.234375	0.3515625	0.46875	1.22462621	-0.2	-0.088941083	229.4750496	13.43834872	-8.07	6.089066956	0.22376455
5.865302406	-0.303520388	0.234375	0.29296875	0.3515625	1.04446395	-0.2	-0.088941083	288.7204547	13.43834872	-8.07	5.908984226	0.04368182
5.865302406	-0.303520388	0.234375	0.26367188	0.29296875	0.95129723	-0.2	-0.088941083	325.1395637	13.43834872	-8.07	5.815852017	-0.049450389
5.865302406	-0.303520388	0.26367188	0.27832031	0.29296875	0.9981475	-0.2	-0.088941083	306.2844019	13.43834872	-8.07	5.862654442	-0.002616964
5.865302406	-0.303520388	0.27832031	0.28564453	0.29296875	1.02137169	-0.2	-0.088941083	297.3475974	13.43834872	-8.07	5.885900905	0.020598499
5.865302406	-0.303520388	0.27832031	0.28198242	0.28564453	1.00977618	-0.2	-0.088941083	301.7764945	13.43834872	-8.07	5.874309785	0.009007379
5.865302406	-0.303520388	0.27832031	0.28015137	0.28198242	1.003966	-0.2	-0.088941083	304.0204702	13.43834872	-8.07	5.868601779	0.003199372
5.865302406	-0.303520388	0.27832031	0.27923584	0.28015137	1.00105779	-0.2	-0.088941083	305.1499287	13.43834872	-8.07	5.865594653	0.000292247
5.865302406	-0.303520388	0.27832031	0.27877808	0.27923584	0.9996029	-0.2	-0.088941083	305.7165368	13.43834872	-8.07	5.864140309	-0.001162098
5.865302406	-0.303520388	0.27877808	0.27900696	0.27923584	1.00033041	-0.2	-0.088941083	305.4330759	13.43834872	-8.07	5.864867546	-0.00043486

DETERMINACIÓN DEL NÚMERO ESTRUCTURAL SN₂

Capa 2	Material alternativo
Capa 3	Material de préstamo

Parámetros iniciales	
Confiabilidad R	75%
Desviación estándar So	0.45
ΔPSI	2.20
Módulo Mr Capa 3 (psi)	15000
ESAL's Diseño	733335
Zstat	-0.67448975

Número estructural SN ₂	
SN Diseño	2,24



Resumen	Mezcla asfáltica	Sub-base granular	Material de préstamo	Material alternativo
Coficiente estructural a ₂	0.44	0.132	0.109	0.16
Coficiente de drenaje m ₂	-	0.80	0.80	1.00
Módulo dinámico-resiliente Mr (psi)	450000	28000	15000	620000

Tabular residual												
LogW18	A term	Snlow	Snavg	Snmax	B term	C term	D term	E term	F Term	G Term	Log W18'	LogW18'-LogW18
5.865302406	-0.303520388	1	8	15	8.93170989	-0.2	-0.088941083	0.412203902	9.688531721	-8.07	9.830951542	3.965649186
5.865302406	-0.303520388	1	4.5	8	6.92979477	-0.2	-0.088941083	0.557229837	9.688531721	-8.07	7.885193184	2.019890777
5.865302406	-0.303520388	1	2.75	4.5	5.37293267	-0.2	-0.088941083	1.547611899	9.688531721	-8.07	6.430474111	0.565171705
5.865302406	-0.303520388	1	1.875	2.75	4.29285027	-0.2	-0.088941083	4.957082443	9.688531721	-8.07	5.389919376	-0.47538303
5.865302406	-0.303520388	1.875	2.3125	2.75	4.8686591	-0.2	-0.088941083	2.584782803	9.688531721	-8.07	5.949260935	0.083958529
5.865302406	-0.303520388	1.875	2.09375	2.3125	4.59094162	-0.2	-0.088941083	3.514576838	9.688531721	-8.07	5.680646616	-0.18465579
5.865302406	-0.303520388	2.09375	2.203125	2.3125	4.73217158	-0.2	-0.088941083	3.000691559	9.688531721	-8.07	5.817542721	-0.047759685
5.865302406	-0.303520388	2.203125	2.2578125	2.3125	4.80098816	-0.2	-0.088941083	2.781940667	9.688531721	-8.07	5.884028615	0.018726209
5.865302406	-0.303520388	2.203125	2.23046875	2.2578125	4.76672549	-0.2	-0.088941083	2.888451309	9.688531721	-8.07	5.850044865	-0.014357541
5.865302406	-0.303520388	2.23046875	2.24414063	2.2578125	4.78389293	-0.2	-0.088941083	2.834501391	9.688531721	-8.07	5.867526224	0.002223817
5.865302406	-0.303520388	2.23046875	2.23730469	2.24414063	4.77531827	-0.2	-0.088941083	2.861300059	9.688531721	-8.07	5.859245455	-0.000656952
5.865302406	-0.303520388	2.23730469	2.24072266	2.24414063	4.77960786	-0.2	-0.088941083	2.847856986	9.688531721	-8.07	5.863388312	-0.001914094
5.865302406	-0.303520388	2.24072266	2.24243164	2.24414063	4.78175096	-0.2	-0.088941083	2.841168295	9.688531721	-8.07	5.865457885	0.000155479
5.865302406	-0.303520388	2.24072266	2.24157715	2.24243164	4.78067955	-0.2	-0.088941083	2.844509912	9.688531721	-8.07	5.864423253	-0.000891753
5.865302406	-0.303520388	2.24157715	2.24200439	2.24243164	4.78121529	-0.2	-0.088941083	2.842838422	9.688531721	-8.07	5.864940608	-0.000361799
5.865302406	-0.303520388	2.24200439	2.24221802	2.24243164	4.78148313	-0.2	-0.088941083	2.842003188	9.688531721	-8.07	5.865199256	-0.00010315

DETERMINACIÓN DEL NÚMERO ESTRUCTURAL SN₄ (PROTECCIÓN DE SUB-RASANTE)

Capa **Material de préstamo**

Parámetros iniciales	
Confiabilidad R	75%
Desviación estándar So	0,45
APSI	2,20
Módulo Mr Sub.-rasante (psi)	4972
ESAL's Diseño	733335
Zstat	-0,67448975

Número estructural SN3	
SN Diseño	3,33



Resumen	Mezcla asfáltica	Sub-base granular	Material de préstamo	Material alternativo
Coefficiente estructural a ₁	0,441907489	0,132	0,108972716	0,16
Coefficiente de drenaje m ₁	-	0,80	0,80	1,00
Módulo dinámico-resiliente Mr (psi)	450000	28000	15000	620000

LogW18	A term	Snlow	Snavg	Snmax	B term	C term	D term	E term	F Term	G Term	Tabular residual	
											Log W18'	LogW18'-LogW18
5,865302406	-0,303520388	1	8	15	8,93170989	-0,2	-0,088941083	0,412203902	8,575871712	-8,07	8,718291583	2,852989177
5,865302406	-0,303520388	1	4,5	8	6,32979477	-0,2	-0,088941083	0,557229837	8,575871712	-8,07	6,772533175	0,907230768
5,865302406	-0,303520388	1	2,75	4,5	5,37293267	-0,2	-0,088941083	1,547611899	8,575871712	-8,07	5,317814102	-0,547488304
5,865302406	-0,303520388	2,75	3,625	4,5	6,22544586	-0,2	-0,088941083	0,786444746	8,575871712	-8,07	6,114704581	0,249402174
5,865302406	-0,303520388	2,75	3,1875	3,625	5,82149712	-0,2	-0,088941083	1,047249623	8,575871712	-8,07	5,738920185	-0,126382221
5,865302406	-0,303520388	3,1875	3,40625	3,625	6,0284871	-0,2	-0,088941083	0,896933774	8,575871712	-8,07	5,931677162	0,066374756
5,865302406	-0,303520388	3,1875	3,296875	3,40625	5,92630946	-0,2	-0,088941083	0,966180237	8,575871712	-8,07	5,836606443	-0,028695963
5,865302406	-0,303520388	3,296875	3,3515625	3,40625	5,97771931	-0,2	-0,088941083	0,930210839	8,575871712	-8,07	5,884456738	0,019154332
5,865302406	-0,303520388	3,296875	3,32421875	3,3515625	5,95209566	-0,2	-0,088941083	0,947843596	8,575871712	-8,07	5,860611791	-0,004690615
5,865302406	-0,303520388	3,32421875	3,33789063	3,3515625	5,96492767	-0,2	-0,088941083	0,938941219	8,575871712	-8,07	5,872554129	0,007251723
5,865302406	-0,303520388	3,32421875	3,33105469	3,33789063	5,95851673	-0,2	-0,088941083	0,943370664	8,575871712	-8,07	5,86658795	0,001285543
5,865302406	-0,303520388	3,32421875	3,32763672	3,33105469	5,95530746	-0,2	-0,088941083	0,945601663	8,575871712	-8,07	5,863601121	-0,001701286
5,865302406	-0,303520388	3,32763672	3,3293457	3,33105469	5,95691241	-0,2	-0,088941083	0,944484801	8,575871712	-8,07	5,865094847	-0,000207569
5,865302406	-0,303520388	3,3293457	3,3302002	3,33105469	5,95771465	-0,2	-0,088941083	0,943927392	8,575871712	-8,07	5,865841476	0,00053907
5,865302406	-0,303520388	3,3293457	3,32977295	3,3302002	5,95731355	-0,2	-0,088941083	0,944206011	8,575871712	-8,07	5,865468181	0,000165775
5,865302406	-0,303520388	3,3293457	3,32955933	3,32977295	5,95711299	-0,2	-0,088941083	0,944345385	8,575871712	-8,07	5,865281519	-2,0887E-05

Volver a índice

Ecuciones:

$$\log W_{18} = Z_R S_0 + 9,36 \log(SN + 1) - 0,20 + \frac{\log \left[\frac{APSI}{4,2 - 1,5} \right]}{1094} + 2,32 \log M_R - 8,07$$

$$ESALs = 10^{\log W_{18}}$$

Dimensionamiento de espesores

Diseño de pavimento flexible	
Capa 1	
Capa	Mezcla asfáltica
Número estructural SN_1	0,28
Coefficiente estructural a_1	0,44
Espesor calculado D_1 (in)	0,63
Espesor calculado D_1 (cm)	1,60
Espesor mínimo requerido $D_{1\ MIN}$ (cm)	7,62
Espesor de diseño seleccionado y redondeado (cm)	8,0
Nuevo Número estructural SN_1	1,39
Capa 2	
Capa	Material alternativo
Número estructural SN_2	2,24
Coefficiente estructural a_2	0,16
Coefficiente de drenaje m_2	1,00
Espesor calculado D_2 (in)	5,31
Espesor calculado D_2 (cm)	13,5
Espesor mínimo requerido $D_{2\ MIN}$ (cm)	15,0
Espesor de diseño seleccionado y redondeado (cm)	25,0
Nuevo Número estructural SN_2	2,97
Número estructural de capa $SN_2 - SN_1$	1,57
Capa 3	
Capa	Material de préstamo
Número estructural SN_3	2,24
Coefficiente estructural a_3	0,109
Coefficiente de drenaje m_3	0,80
Espesor calculado D_3 (in)	-8,31
Espesor calculado D_3 (cm)	-21,11
Espesor mínimo requerido $D_{3\ MIN}$ (cm)	10,0
Espesor de diseño seleccionado y redondeado (cm)	0,0
Nuevo Número estructural SN_3	2,97
Número estructural de capa $SN_3 - SN_2$	0,00
Capa 4	
Capa	Material de préstamo
Número estructural SN_4	3,33
Coefficiente estructural a_4	0,109
Coefficiente de drenaje m_4	0,80
Espesor calculado D_4 (in)	4,16
Espesor calculado D_4 (cm)	10,57
Espesor mínimo requerido $D_{4\ MIN}$ (cm)	10,0
Espesor de diseño seleccionado y redondeado (cm)	20,0
Nuevo Número estructural SN_4	3,65
Número estructural de capa $SN_4 - SN_3$	0,69
SN Total Requerido	3,33
SN Total Diseño	3,65
Cumple o no ?	OK

Resumen	Mezcla asfáltica	Sub-base granular	Material de préstamo	Material alternativo
Coefficiente estructural a_1	0,441907489	0,132	0,108972716	0,16
Coefficiente de drenaje m_1	-	0,80	0,80	1,00
Módulo dinámico-resiliente Mr (psi)	450000	28000	15000	620000



Espesores mínimos SIECA

Volver a índice



APÉNDICE 4

Flexible

Sistema Multicapa																
Numero de Capas:		4														
Numero de Cargas:		2														
Numero de Puntos:		4														
Preferencias																
Análisis:		General			Estatico			Lineal								
Union entre Capas:		Ligadas														
Cargas:		General			Circular			Uniforme								
Puntos:		General														
Capas																
ID	Modulo E (psi)	Poisson v (1)	Espesor (in)	Descripcion	Tipo											
1	4.5000e+05	3.5000e-01	4.1300e+00	MAC	Elastica											
2	2.8000e+04	4.0000e-01	8.6600e+00	BG	Elastica											
3	1.5000e+04	4.0000e-01	1.0240e+01	SBG	Elastica											
4	4.9720e+03	4.5000e-01	1.2340e+03	SR	Elastica											
Cargas																
ID	Carga (lb)	Presion (psi)	X (in)	Y (in)												
1	4.5200e+03	1.0000e+02	0.0000e+00	0.0000e+00												
2	4.5200e+03	1.0000e+02	0.0000e+00	1.3500e+01												
Puntos																
ID	X (in)	Y (in)	Z (in)													
1	0.0000e+00	0.0000e+00	4.1300e+00													
2	0.0000e+00	6.7500e+00	4.1300e+00													
3	0.0000e+00	0.0000e+00	2.3031e+01													
4	0.0000e+00	6.7500e+00	2.3031e+01													
Resultados																
ID	dx (in)	dy (in)	dz (in)	Exx (1)	Eyy (1)	Ezz (1)	Exy (1)	Exz (1)	Eyz (1)	Sxx (psi)	Syy (psi)	Szz (psi)	Sxy (psi)	Sxz (psi)	Syz (psi)	
1	-1.0952e-19	-5.9620e-04	2.8719e-02	-2.9021e-04	-2.0581e-04	2.9771e-04	3.1006e-20	-2.9131e-21	-1.5858e-05	-1.7386e+02	-1.4573e+02	2.2113e+01	5.1676e-15	-4.8552e-16	-2.6430e+00	
2	-1.0321e-19	0.0000e+00	2.9089e-02	-2.4970e-04	2.6397e-05	1.4100e-04	6.7625e-20	-3.5890e-21	0.0000e+00	-1.1524e+02	-2.3210e+01	1.4990e+01	1.1271e-14	-5.9817e-16	0.0000e+00	
3	-2.5624e-19	-1.3949e-03	2.0806e-02	-2.3243e-04	-1.8689e-04	4.7104e-04	1.6728e-20	-4.0755e-20	-2.2186e-04	1.1695e-03	1.5730e-01	2.4133e+00	2.8680e-17	-6.9873e-17	-3.8037e-01	
4	-9.9645e-20	0.0000e+00	2.1392e-02	-2.4108e-04	-2.0897e-04	5.0368e-04	7.8654e-21	-1.8649e-20	0.0000e+00	7.0858e-04	1.1082e-01	2.5545e+00	1.3485e-17	-3.1974e-17	0.0000e+00	

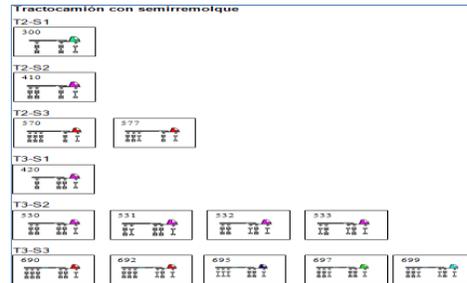
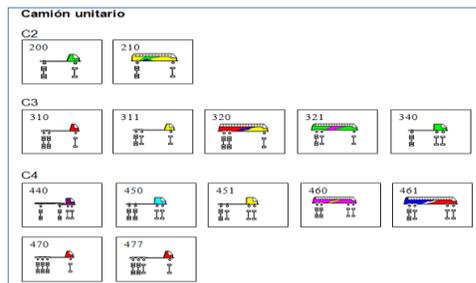
Semirrígido

Sistema Multicapa																
Numero de Capas:		4														
Numero de Cargas:		2														
Numero de Puntos:		6														
Preferencias																
Analisis:		General			Estatico			Lineal								
Union entre Capas:		Ligadas														
Cargas:		General			Circular			Uniforme								
Puntos:		General														
Capas																
ID	Modulo E (psi)	Poisson v (1)	Espesor (in)	Descripción	Tipo											
1	4.5000e+05	3.5000e-01	1.9700e+00	MAC	Elastica											
2	6.2000e+05	2.5000e-01	7.8700e+00	BE25	Elastica											
3	1.5000e+04	4.0000e-01	1.1810e+01	SBG	Elastica											
4	4.9720e+03	4.5000e-01	1.2340e+03	SR	Elastica											
Cargas																
ID	Carga (lb)	Presion (psi)	X (in)	Y (in)												
1	4.5200e+03	1.0000e+02	0.0000e+00	0.0000e+00												
2	4.5200e+03	1.0000e+02	0.0000e+00	1.3500e+01												
Puntos																
ID	X (in)	Y (in)	Z (in)													
1	0.0000e+00	0.0000e+00	1.9700e+00													
2	0.0000e+00	6.7500e+00	1.9700e+00													
3	0.0000e+00	0.0000e+00	9.8400e+00													
4	0.0000e+00	6.7500e+00	9.8400e+00													
5	0.0000e+00	0.0000e+00	2.1651e+01													
6	0.0000e+00	6.7500e+00	2.1651e+01													
Resultados																
ID	dx (in)	dy (in)	dz (in)	Exx (1)	Eyy (1)	Ezz (1)	Exy (1)	Exz (1)	Eyz (1)	Sxx (psi)	Syy (psi)	Szz (psi)	Sxy (psi)	Sxz (psi)	Syz (psi)	
1	5.9219e-20	3.2238e-04	1.9925e-02	4.1852e-05	2.7781e-05	8.5727e-05	-5.1695e-21	-3.8315e-21	-2.0858e-05	7.4368e+01	6.9678e+01	8.8993e+01	-8.6158e-16	-6.3859e-16	-3.4763e+00	
2	2.3384e-20	0.0000e+00	1.9942e-02	5.6576e-05	6.4756e-05	-6.1876e-05	2.0035e-21	-6.7706e-21	0.0000e+00	4.1980e+01	4.4707e+01	2.4964e+00	3.3391e-16	-1.1284e-15	0.0000e+00	
3	-9.1586e-20	-4.9857e-04	1.9407e-02	-1.0765e-04	-7.8139e-05	6.6618e-05	1.0842e-20	-4.5958e-22	-2.5018e-06	-8.2949e+01	-6.8311e+01	3.4884e+00	2.6889e-15	-1.1397e-16	-6.2045e-01	
4	-4.5622e-20	0.0000e+00	1.9809e-02	-1.1038e-04	-6.4445e-05	6.2847e-05	1.1251e-20	-3.3012e-22	0.0000e+00	-8.2519e+01	-5.9735e+01	3.4017e+00	2.7903e-15	-8.1869e-17	0.0000e+00	
5	-1.3404e-19	-7.2970e-04	1.7191e-02	-1.1422e-04	-9.7556e-05	2.5200e-04	6.1226e-21	-1.7910e-20	-9.7500e-05	2.2894e-01	2.8608e-01	1.4847e+00	1.0497e-17	-3.0707e-17	-1.6716e-01	
6	-4.7147e-20	0.0000e+00	1.7558e-02	-1.1407e-04	-1.0233e-04	2.5704e-04	2.8741e-21	-7.6391e-21	0.0000e+00	2.3591e-01	2.7614e-01	1.5084e+00	4.9277e-18	-1.3097e-17	0.0000e+00	

APÉNDICE 5

Fecha de conteo: 2022-11-14 Tipo de ruta: Municipal Código de ruta: Calle Canelos
 Nombre de ruta: Entrada la caraña Estación inicial: _____

Hora inicial	Hora final	Liviano	Carga Liviana	Buses	C-2	C-3	C-4	T3-S3	T3-S2	Otros
06:00:00 a. m.	07:00:00 a. m.	52	1	10	0					
07:00:00 a. m.	08:00:00 a. m.	75	9	11	2					
08:00:00 a. m.	09:00:00 a. m.	81	15	4	3					
09:00:00 a. m.	10:00:00 a. m.	74	21	5	4	1				
10:00:00 a. m.	11:00:00 a. m.	70	10	5	4					
11:00:00 a. m.	12:00:00 p. m.	65	10	7	10					
12:00:00 p. m.	01:00:00 p. m.	67	12	13	2					
01:00:00 p. m.	02:00:00 p. m.	75	12	3	3					
02:00:00 p. m.	03:00:00 p. m.	63	11	9	0					
03:00:00 p. m.	04:00:00 p. m.	72	12	9	2					
04:00:00 p. m.	05:00:00 p. m.	73	11	6	2					
05:00:00 p. m.	06:00:00 p. m.	80	14	2	4					
06:00:00 p. m.	07:00:00 p. m.	58	11	2	2					
		905	149	86	38	1	0	0	0	0

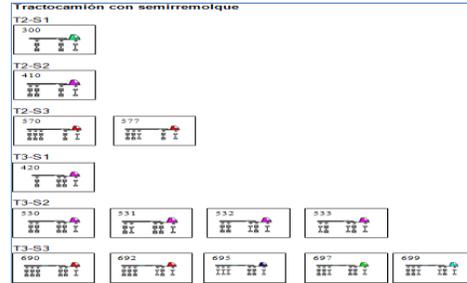
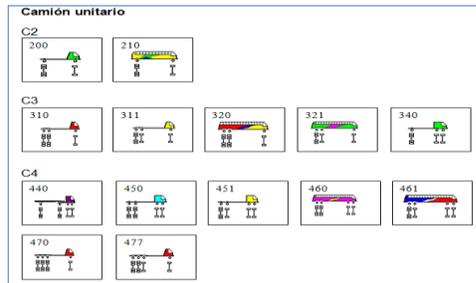


Observaciones: En "otros" usar como chapulines.

Técnico asignado: Roy Corrales.

Fecha de conteo: 2022-11-15 Tipo de ruta: Municipal Código de ruta: Calle Canelos
 Nombre de ruta: Entrada la caraña Estación inicial: _____

Hora inicial	Hora final	Liviano	Carga Liviana	Buses	C-2	C-3	C-4	T3-S3	T3-S2	Otros
06:00:00 a. m.	07:00:00 a. m.	72	8	15	0		2			
07:00:00 a. m.	08:00:00 a. m.	76	11	9	6					
08:00:00 a. m.	09:00:00 a. m.	84	18	11	6					
09:00:00 a. m.	10:00:00 a. m.	64	11	5	4					
10:00:00 a. m.	11:00:00 a. m.	71	16	3	4					
11:00:00 a. m.	12:00:00 p. m.	70	11	7	3					
12:00:00 p. m.	01:00:00 p. m.	72	13	14	3					
01:00:00 p. m.	02:00:00 p. m.	76	10	9	2					
02:00:00 p. m.	03:00:00 p. m.	54	18	7	2					
03:00:00 p. m.	04:00:00 p. m.	84	12	19	5					
04:00:00 p. m.	05:00:00 p. m.	84	10	7	3					
05:00:00 p. m.	06:00:00 p. m.	86	13	2	2					
06:00:00 p. m.	07:00:00 p. m.	48	8	1	1					
		941	159	109	41	0	2	0	0	0

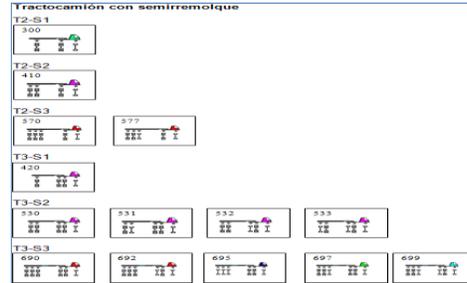
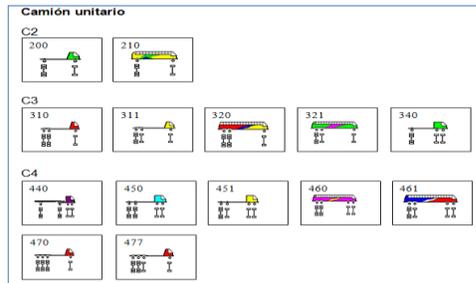


Observaciones: En "otros" usar como chapulines.

Técnico asignado: Roy Corrales.

Fecha de conteo: 2022-11-16 Tipo de ruta: Municipal Código de ruta: Calle Canelos
 Nombre de ruta: Entrada la caraña Estación inicial: _____

Hora inicial	Hora final	Liviano	Carga Liviana	Buses	C-2	C-3	C-4	T3-S3	T3-S2	Otros
06:00:00 a. m.	07:00:00 a. m.	65	5	12	0		2			
07:00:00 a. m.	08:00:00 a. m.	72	9	10	3					
08:00:00 a. m.	09:00:00 a. m.	80	17	6	2					
09:00:00 a. m.	10:00:00 a. m.	78	12	7	4					
10:00:00 a. m.	11:00:00 a. m.	67	14	5	3					
11:00:00 a. m.	12:00:00 p. m.	69	9	4	5					
12:00:00 p. m.	01:00:00 p. m.	63	14	16	3					
01:00:00 p. m.	02:00:00 p. m.	72	12	8	4					
02:00:00 p. m.	03:00:00 p. m.	57	10	7	1					
03:00:00 p. m.	04:00:00 p. m.	70	15	11	1					
04:00:00 p. m.	05:00:00 p. m.	73	8	8	4					
05:00:00 p. m.	06:00:00 p. m.	85	15	3	5					
06:00:00 p. m.	07:00:00 p. m.	61	14	3	5					
		912	154	100	40	0	2	0	0	0



Observaciones: En "otros" usar como chapulines.

Técnico asignado: Roy Corrales.