



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA)

Proyecto: LM-PI-UMP-103-R1

GUÍA DE DISEÑO SIMPLIFICADO PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES Y SEMIRRÍGIDOS DE BAJO VOLUMEN

Preparado por:
Unidad de Materiales y Pavimentos
LanammeUCR

San José, Costa Rica
Noviembre, 2019



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Página en blanco



Informe LM-PI-UMP-103-R1		Copia No. 1
Título y subtítulo: Guía de diseño simplificado para pavimentos flexibles y semirrígidos de bajo volumen		Fecha del Informe: Noviembre, 2019
<p>Resumen</p> <p>El presente informe comprende la metodología y resultados que se han analizado para el desarrollo de un procedimiento de diseño simplificado que pueda ser utilizado en carreteras de bajo volumen de tráfico, donde se ha definido un límite de 1,5 millones de ejes equivalentes, según se presentó en la propuesta LM-PI-GM-INF-05-16 (Arias, 2017).</p> <p>El método desarrollado se podría utilizar tanto en vías nacionales como cantonales, siempre y cuando se cumplan los principios básicos y se cuente con las variables disponibles, las cuales están asociadas a: período de diseño en años, tráfico vehicular, porcentaje de vehículos pesados y CBR (obtenido en laboratorio y verificado en sitio) de la subrasante. Con estas variables se determinó una demanda a cumplir por parte de las estructuras analizadas.</p> <p>El método de diseño empleado fue definir posibles estructuras con base a diseños con la estructura de la AASHTO de 1993 para cada condición, definir estructuras tipo a revisar y utilizar el procedimiento de diseño Mecanístico empírico para definir los rangos de trabajo para cada estructura.</p> <p>El trabajo acá expuesto es el resumen de 450 modelaciones por medio de la metodología de multicapa elástica, verificaciones por desempeño a fatiga para mezcla asfáltica, bases estabilizadas y ahuellamiento en las capas inferiores, para 15 estructuras de pavimento diferentes y para las condiciones de subrasantes consideradas, dando como resultado 8 estructuras que podrían cumplir con diferentes condiciones de demanda. Este catálogo de estructuras se presenta como una alternativa de diseño simple y viable para rutas de baja demanda.</p>		
Palabras clave PITRA, Bajo volumen, pavimentos, guía, flexibles, semirrígidos	Nivel de seguridad: Ninguno	Núm. de páginas: 299
Preparado por: Ing. Eliécer Arias Barrantes Unidad de Materiales y Pavimentos Fecha: 27/11/19	Colaboradores: Ing. Robinson Puello Bolaño Ing. Daniel Clark Araya Asistente Fabricio Murillo Quesada Asistente Santiago Tautiva Ibañez	Aprobado por: Ing. Ana Luisa Elizondo Salas Unidad de Materiales y Pavimentos Fecha: 1/11
Revisado por: Ing. José Pablo Aguiar Moya, PhD Unidad de Materiales y Pavimentos Fecha: 27/11/19	Ing. Sharline López Ramírez, MSc. Unidad de Gestión Municipal Fecha: 29/11/19	Ing. Josué Quesada Campos, M. Eng. Unidad de Gestión Municipal Fecha: 29/11/19
Ing. Alonso Ulate Castillo, M. Eng. Unidad de Gestión Municipal Fecha: 27/11/19	Ing. Catalina Vargas Sobrado, M.Eng. Unidad de Gestión Municipal Fecha: 27/11/19	Ing. Jaime Allen Monge, PhD. Coordinador Unidad de Gestión Municipal Fecha: 27/11/19
Ing. Noelia Campos Campos. Unidad de Normativa y Actualización Técnica Fecha: 27/11/19		

Índice de abreviaturas

AASHTO: Siglas en inglés para *American Association of State Highways and Transportation Officials*, correspondientes en español a Asociación Americana de Oficiales para Autopistas Estatales y Transporte

ASTM: Siglas en inglés para *American Society for Testing and Materials*, correspondientes en español a Sociedad Americana Internacional para Ensayos y Materiales

CBR: Siglas en inglés para *California Bearing Ratio*, correspondientes en español a Índice de Capacidad de Soporte

ESAL: Siglas en inglés para *Equivalent Simple Axial Load*, correspondientes en español a Eje simple equivalente de carga

FED: Factor de Expansión Diario

FEH: Factor de Expansión Horario

FEM: Factor de Expansión Mensual

FHWA: Siglas en inglés para *Federal Highway Administration*, correspondientes en español a Administración Federal de Autopistas

LanammeUCR: Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad de Costa Rica

MOPT: Ministerio de Obras Públicas y Transportes

MR: Módulo resiliente

NAASRA: Siglas en inglés para *National Association of Australian State Road Authorities*, correspondientes en español a Asociación Nacional de Autoridades de Caminos Estatales Australianos.

NCHRP: Siglas en inglés para *National Cooperative Highway Research Program*, correspondientes en español a Programa Nacional de Cooperación para Investigación en Autopistas

q_u : Resistencia a la compresión inconfiada

SN: Siglas en inglés para *Structural Number*, correspondientes en español a Número Estructural

SUCS: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos

TPD: Tránsito Promedio Diario

TPDA: Tránsito Promedio Diario Anual

VMA: Siglas en inglés para *Voids in the mineral aggregate*, correspondientes en español a Vacíos en el agregado mineral

Glosario

Agregado: Material granular con composición mineralógica que puede ser arena, grava, roca triturada, o escoria, con tamaño de carácter variable. Se define como “fino” a aquel cuyo tamaño máximo pasa por el tamiz de 4,75 mm (No. 4), y como “grueso” a aquel que queda retenido en el tamiz 4,75 mm (No. 4).

Autobús: Vehículo automotor con la capacidad de realizar transporte de personas, con capacidad superior a 44 plazas, incluyendo al conductor.

Base: Material constituido por partículas duras y durables que se encuentran inmediatamente debajo de la capa superficial o de una capa intermedia. Puede estar compuesta de escoria triturada, roca triturada, grava y arena triturada o cualquier combinación de estos materiales. Puede ser tratada con ligantes bituminosos, cemento hidráulico o aditivos químicos.

Calzada: Parte de la carretera reservada para la circulación de vehículos, compuesta por uno o varios carriles. No incluye el espaldón.

Capa: Todo riego continuo de un material específico, con un mismo esfuerzo de compactación en toda su extensión.

Carretera: También identificada como camino, corresponde a toda vía de carácter público, con disponibilidad de permitir el tránsito a peatones, vehículos y otros usuarios.

Carril de tránsito: Subdivisión de la superficie de rodamiento, sobre la cual se permite el tránsito de una fila de vehículos, en un solo sentido, su ancho varía entre 3 m como mínimo, y 3,6 m como valor recomendable.

Cemento asfáltico: Material cementante con color predominantemente oscuro, cuyos constituyentes principales corresponden a bitúmenes de carácter natural, u obtenidos mediante diversos procesos del asfalto.

Compactar: Proceso mecánico con el fin de comprimir un volumen dado de material en otro más pequeño, que se logra usando rodillos o compactadoras especiales según sea el tipo de obra y la etapa del proceso constructivo.



Derecho de vía: Área o superficie de terreno, propiedad del Estado, destinada al uso de una vía pública, con zonas adyacentes utilizadas para todas las instalaciones y obras complementarias, áreas previstas para futuras obras de ensanche o mejoramiento, así como zonas de seguridad para el usuario. Esta área está delimitada a ambos lados por los linderos de las propiedades colindantes.

Diseño de mezcla: Combinación de agregado, agua y cemento que logra un balance de las propiedades requeridas para el concreto, se suele determinar mediante ensayos de laboratorio, utilizando especificaciones dadas.

Drenaje: Estructura que se coloca o se construye para disponer y evacuar las aguas superficiales.

Eje sencillo: También conocido como eje simple, corresponde a aquel que no forma parte de un conjunto de ejes, se encuentra compuesto por una o dos llantas en cada extremo.

Eje tándem: También conocido como eje doble, corresponde a aquel conjunto de dos ejes consecutivos del mismo vehículo, unidos mediante algún dispositivo mecánico o neumático, que permitan una distribución de carga no menor a 40% por eje, y una separación entre centros de ejes mayor a 1,20 m y menor a 2,40 m, se encuentra compuesto por dos o cuatro llantas en cada extremo.

Eje tridem: Corresponde a aquel conjunto de tres ejes consecutivos del mismo vehículo, unidos mediante algún dispositivo mecánico o neumático, que permitan una distribución de carga no menor a 28 % por eje, y una separación entre centros de ejes mayor a 1.20 m y menor a 2.40 m, se encuentra compuesto por tres o seis llantas en cada extremo.

Emulsión asfáltica: Es una dispersión de cemento asfáltico y agua que contiene una pequeña cantidad de agente emulsionante. Es un sistema heterogéneo que normalmente contiene dos fases inmiscibles (asfalto y agua) en donde el agua forma la fase continua de la emulsión y pequeños glóbulos de asfalto forma la fase discontinua. La emulsión de asfalto puede ser de tipo aniónico (glóbulos cargados negativamente) o catónica (glóbulos cargados positivamente), dependiendo del agente emulsionante.



Especificaciones: Término utilizado para referirse a las disposiciones, normativas y diversos requisitos de ley que rigen la ejecución de una obra específica.

Estabilidad: Capacidad de un cuerpo de resistir la deformación ante la imposición de cargas, esta es función de las características de cohesión y fricción del material en cuestión.

Estabilización: Proceso que modifica las propiedades físico-químicas de un material (suelo o granular), con el fin primordial de aumentar su resistencia mecánica, otorgándole cierto grado de rigidez. Este proceso se logra con la incorporación de un estabilizador (cal, cemento o emulsión asfáltica), en la cantidad que establezca el diseño realizado para tales efectos.

Estructura del pavimento: Estructura constituida por un conjunto de capas superpuestas, de diferentes materiales, adecuadamente compactados, que se construyen sobre la subrasante de la vía con el objeto de soportar y distribuir las cargas del tránsito proyectadas para un período de varios años, brindando una superficie de rodamiento uniforme, cómoda y segura. Puede estar compuesta por capa de rodamiento, base y subbase.

Lastre: Material granular clasificado, que se coloca sobre una subrasante para protegerla, o bien sobre una capa granular terminada de una carretera para que funcione como una superficie de ruedo expuesta. Puede ser material de tajo, río o préstamo

Material: Materia prima, con características específicas, utilizada para conformar las diferentes estructuras requeridas.

Material insatisfactorio: Material con características que no cumplen con las especificaciones mínimas de la estructura requerida.

Material satisfactorio: Material con características que si cumplen con las especificaciones mínimas de la estructura requerida.

Mejoramiento de propiedades físicas: Proceso que modifica las propiedades físicas de un material (suelo o granular), con el fin primordial de mejorar sus condiciones de plasticidad o granulometría. Con este proceso no se pretende aumentar la resistencia mecánica del material, tal y como efectivamente sucede con el proceso de estabilización. Este procedimiento, según sea el propósito, se puede realizar de dos formas:

Informe LM-PI-UMP-103-R1	Fecha de emisión: Noviembre, 2019	Página viii de 299
--------------------------	-----------------------------------	--------------------



Mecánico: Por medio de la adición de cierta cantidad de material (suelo o granular), determinado por el diseño realizado para este fin, a otro material que presenta incumplimiento en la granulometría o un índice de plasticidad por debajo del rango de las especificaciones técnicas requeridas.

Físico-químico: Por medio de la adición de cierta cantidad de material estabilizante (cal, cemento, emulsión, etc.), determinada por el diseño realizado para este fin, a otro material que presenta índices de plasticidad por encima del rango de las especificaciones requeridas. Se puede utilizar cuando la capacidad de soporte (CBR) es levemente inferior al requerido por las especificaciones técnicas requeridas, con la incorporación de muy pequeñas cantidades de estabilizador (cal, cemento o emulsión asfáltica).

Mezcla asfáltica en caliente: Mezcla de alta temperatura de cemento asfáltico y agregado de buena graduación, con altas características de calidad, dispuesta a formar una capa resistente y durable, que cumpla con las especificaciones que rijan.

Rasante: Línea de carácter representativo, que corresponde a la superficie de rodamiento de carreteras, puentes, y otras obras de carácter vial.

Remolque: Vehículo sin autotracción, cuyo fin es el transporte de productos mediante el impulso de otro vehículo.

Remolque liviano: Vehículo sin autotracción, cuyo fin es el transporte de productos, con un peso máximo de 750 kg, mediante el impulso de otro vehículo.

Remolque pesado: Vehículo sin autotracción, cuyo fin es el transporte de productos, con un peso mayor a 750 kg, mediante el impulso de otro vehículo.

Semirremolque: Vehículo sin autotracción, cuyo fin es el transporte de productos, mediante el acople a un tractocamión o cabezal, de manera que el peso y carga se distribuyen parcialmente sobre este.

Subbase: Capa secundaria de distribución de carga, se encuentra ubicada bajo la capa de base o la superficie de pavimento, y sobre la subrasante o el material seleccionado como soporte de la base. Es de una calidad superior al de la subrasante, que se especifica en términos de granulometría, condiciones de plasticidad y resistencia. Tiene por objeto: servir de capa de drenaje al pavimento, controlar o eliminar en lo posible cambios de volumen, elasticidad y plasticidad perjudiciales que pudiera tener el material de la subrasante, controlar la ascensión capilar del agua provenientes de las capas friáticas cercanas protegiendo así al pavimento contra los hinchamientos que se producen en época lluviosa. Puede estar compuesta por grava natural sin procesar, arena, arcilla, o una mezcla de estas.

Subrasante: Superficie del terreno, ya sea en corte o relleno, sobre la que se colocan las diferentes capas de material que constituyen el pavimento de una carretera.

Superficie de rodamiento: Capa superior de la estructura del pavimento, su función es proporcionar una superficie tersa y segura al rodamiento de los vehículos. Debe soportar el intemperismo, tener suficiente resistencia tanto al desgaste como a la fractura para soportar las cargas del tránsito consideradas en el diseño de la estructura del pavimento. Debe ser antiderrapante y no deformable permanente.

Valor relativo de soporte (CBR) (*California Bearing Ratio*): Método de laboratorio utilizado para determinar un valor relativo de soporte de carga de los materiales. Corresponde a una cuantificación de la resistencia del suelo a la penetración, tomando como referencia a la piedra triturada. El valor de CBR se encuentra en función del contenido de agua, la densidad compactada y la textura del suelo en estudio.

Vehículo: Cualquier medio utilizado para el transporte de personas o bienes.

Vehículo articulado: Vehículo compuesto por un vehículo automotor y uno o dos remolques unidos mediante una articulación que permite la transmisión de la carga.

Vehículo automotor: Cualquier tipo de vehículo que posea algún dispositivo mecánico que genere tracción.

Vehículo de carga: Vehículo automotor con la capacidad de realizar el transporte de bienes y personas.

Vehículo de carga liviana: Vehículo automotor con la capacidad de realizar el transporte de bienes y personas con un peso máximo de 8 toneladas.

Vehículo de carga pesada: Vehículo automotor con la capacidad de realizar el transporte de bienes y personas con un peso de más de 8 toneladas.

Vehículo tipo C2: Vehículo automotor de tipo camión, compuesto por un eje delantero simple de una llanta en cada extremo, con un peso máximo de 6 toneladas, y un eje trasero simple de dos llantas en cada extremo con un peso máximo de 10 toneladas.

Vehículo tipo C2+: Vehículo automotor de tipo camión, compuesto por un eje delantero simple de una llanta en cada extremo y un eje trasero simple de una llanta en cada extremo, con un peso máximo de 6 toneladas, distribuidos entre los dos ejes según fabricación.

Vehículo tipo C3: Vehículo automotor de tipo camión, compuesto por un eje delantero simple de una llanta en cada extremo, con un peso máximo de 6 toneladas y un eje trasero tándem de dos llantas en cada extremo, con un peso máximo de 16,5 toneladas, o un eje trasero combinado, compuesto por un eje simple de dos llantas y un eje simple de una llanta, con un peso máximo de 15 toneladas.

Vehículo tipo C4: Vehículo automotor de tipo camión, compuesto por un eje delantero simple de una llanta en cada extremo, con un peso máximo de 6 toneladas y un eje trasero tridem de dos llantas en cada extremo, con un peso máximo de 23 toneladas, o un eje trasero combinado, compuesto por un eje tándem de dos llantas y un eje simple de una llanta, con un peso máximo de 20 toneladas.

Vehículo tipo T3: Vehículo automotor de tipo tractocamión, compuesto por un eje delantero simple de una llanta en cada extremo, con un peso máximo de 6 toneladas y un eje trasero tándem de dos llantas, con un peso máximo de 16,5 toneladas.

Vehículo tipo S2: Remolque de un eje trasero tándem de dos llantas en cada extremo, con un peso máximo de 16,5 toneladas.



Vida útil: Tiempo estimado para que la estructura construida trabaje sin poseer daños estructurales que comprometan su integridad funcional, en el caso de una carretera, este daño se cuantifica en la superficie de rodamiento, mientras que, en el caso de puentes, pasos elevados, túneles y alcantarillas, se realiza sobre la subestructura y la superestructura.



TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	17
1.1	ANTECEDENTES.....	17
1.2	OBJETIVO GENERAL.....	21
1.3	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	21
1.4	ALCANCE.....	21
1.5	LIMITACIONES.....	22
2	REQUERIMIENTOS PREVIOS DE DISEÑO	22
2.1	TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO ANUAL (TPDA).....	23
2.1.1	TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO (TPD).....	23
2.1.2	CÁLCULO TPDA.....	24
2.1.3	FACTORES DE EXPANSIÓN HORARIA (FEH).....	29
2.1.4	FACTORES DE EXPANSIÓN DIARIA (FED).....	30
2.1.5	FACTORES DE EXPANSIÓN MENSUAL (FEM).....	30
2.2	REQUERIMIENTOS MÍNIMOS PARA DISEÑO DE MATERIALES EN PAVIMENTOS.....	32
2.2.1	SUPERFICIE DE RODAMIENTO.....	34
2.2.2	BASE Y SUBBASE.....	36
2.2.3	SUBRASANTE.....	37
3	DISEÑO ESTRUCTURAL	41
3.1	PRINCIPIOS DE DISEÑO.....	41
3.2	VARIABLES DE DISEÑO.....	41
3.2.1	TPD.....	41
3.2.2	CBR DE LA SUBRASANTE.....	42
3.2.3	PORCENTAJE DE VEHÍCULOS PESADOS.....	44
3.2.4	ESALS.....	45
3.2.5	MÓDULO DINÁMICO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA.....	47
3.3	ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO.....	51
4	RESULTADOS	56
5	CONCLUSIONES	65
6	BIBLIOGRAFÍA	66
7	ANEXO 1	68
8	ANEXO 2	78
9	ANEXO 3	86
10	ANEXO 4	294

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. ESQUEMA DE DISTRIBUCIÓN VEHICULAR SEGÚN LA FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRACIÓN (FHWA) DE ESTADOS UNIDOS.....	27
TABLA 2. TIPOS DE VEHÍCULO SEGÚN LA FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRACIÓN (FHWA) DE ESTADOS UNIDOS.	28
TABLA 3. EJEMPLO DE VALORES DE FEM MEDIDOS EN LA RED VIAL NACIONAL.....	31
TABLA 4. ENSAYOS PARA CARACTERIZAR AGREGADOS DE LA SUPERFICIE DE RODAMIENTO.	34
TABLA 5. ENSAYOS DE DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA PARA DETERMINACIÓN Y NORMATIVA INTERNA.	35
TABLA 6. ENSAYOS PARA MATERIALES GRANULARES.....	36
TABLA 7. CANTIDAD DE ENSAYOS REQUERIDOS PARA CARACTERIZAR LA SUBRASANTE....	38
TABLA 8. ENSAYOS PARA SUELOS QUE CONFORMAN SUBRASANTES.	40
TABLA 9. ESALS PARA EL PERÍODO DE DISEÑO DE 6 AÑOS DE ACUERDO CON LAS DIFERENTES COMBINACIONES DE TPD Y PESADOS.....	45
TABLA 10. ESALS PARA EL PERÍODO DE DISEÑO DE 8 AÑOS DE ACUERDO CON LAS DIFERENTES COMBINACIONES DE TPD Y PESADOS.....	46
TABLA 11. ESALS PARA EL PERÍODO DE DISEÑO DE 10 AÑOS DE ACUERDO CON LAS DIFERENTES COMBINACIONES DE TPD Y PESADOS.....	46
TABLA 12. ESALS PARA EL PERÍODO DE DISEÑO DE 12 AÑOS DE ACUERDO CON LAS DIFERENTES COMBINACIONES DE TPD Y PESADOS.....	47
TABLA 13. GRANULOMETRÍA Y CARACTERÍSTICAS VOLUMÉTRICAS GENERALES DE LAS MEZCLAS EVALUADAS.....	48
TABLA 14. DATOS DE TEMPERATURA PARA UPALA	49
TABLA 15. RESUMEN DE DATOS DE MÓDULO DINÁMICO	50
TABLA 16. RESUMEN DE LAS ESTRUCTURAS SELECCIONADAS PARA LA GUÍA DE DISEÑO DE BAJO VOLUMEN	56
TABLA 17. RESUMEN DE ESTRUCTURAS RECOMENDADAS; PERIODO DE DISEÑO DE 6 AÑOS Y MÓDULO RESILIENTE DE 4500 PSI (CBR = 3%).....	57
TABLA 18. RESUMEN DE ESTRUCTURAS RECOMENDADAS; PERIODO DE DISEÑO DE 6 AÑOS Y MÓDULO RESILIENTE DE 6000 PSI (CBR = 4%).....	58



TABLA 19. RESUMEN DE ESTRUCTURAS RECOMENDADAS; PERIODO DE DISEÑO DE 6 AÑOS Y MÓDULO RESILIENTE DE 9000 PSI (CBR = 6%)	58
TABLA 20. RESUMEN DE ESTRUCTURAS RECOMENDADAS; PERIODO DE DISEÑO DE 6 AÑOS Y MÓDULO RESILIENTE DE 12500 PSI (CBR = 9%)	58
TABLA 21. RESUMEN DE ESTRUCTURAS RECOMENDADAS; PERIODO DE DISEÑO DE 6 AÑOS Y MÓDULO RESILIENTE DE 14200 PSI (CBR = 11%)	59
TABLA 22. RESUMEN DE ESTRUCTURAS RECOMENDADAS; PERIODO DE DISEÑO DE 8 AÑOS Y MÓDULO RESILIENTE DE 4500 PSI (CBR = 3%)	59
TABLA 23. RESUMEN DE ESTRUCTURAS RECOMENDADAS; PERIODO DE DISEÑO DE 8 AÑOS Y MÓDULO RESILIENTE DE 6000 PSI (CBR = 4%)	59
TABLA 24. RESUMEN DE ESTRUCTURAS RECOMENDADAS; PERIODO DE DISEÑO DE 8 AÑOS Y MÓDULO RESILIENTE DE 9000 PSI (CBR = 6%)	60
TABLA 25. RESUMEN DE ESTRUCTURAS RECOMENDADAS; PERIODO DE DISEÑO DE 8 AÑOS Y MÓDULO RESILIENTE DE 12500 PSI (CBR = 9%)	60
TABLA 26. RESUMEN DE ESTRUCTURAS RECOMENDADAS; PERIODO DE DISEÑO DE 8 AÑOS Y MÓDULO RESILIENTE DE 14200 PSI (CBR = 11%)	61
TABLA 27. RESUMEN DE ESTRUCTURAS RECOMENDADAS; PERIODO DE DISEÑO DE 10 AÑOS Y MÓDULO RESILIENTE DE 4500 PSI (CBR = 3%)	61
TABLA 28. RESUMEN DE ESTRUCTURAS RECOMENDADAS; PERIODO DE DISEÑO DE 10 AÑOS Y MÓDULO RESILIENTE DE 6000 PSI (CBR = 4%)	61
TABLA 29. RESUMEN DE ESTRUCTURAS RECOMENDADAS; PERIODO DE DISEÑO DE 10 AÑOS Y MÓDULO RESILIENTE DE 9000 PSI (CBR = 6%)	62
TABLA 30. RESUMEN DE ESTRUCTURAS RECOMENDADAS; PERIODO DE DISEÑO DE 10 AÑOS Y MÓDULO RESILIENTE DE 12500 PSI (CBR = 9%)	62
TABLA 31. RESUMEN DE ESTRUCTURAS RECOMENDADAS; PERIODO DE DISEÑO DE 10 AÑOS Y MÓDULO RESILIENTE DE 14200 PSI (CBR = 11%)	62
TABLA 32. RESUMEN DE ESTRUCTURAS RECOMENDADAS; PERIODO DE DISEÑO DE 12 AÑOS Y MÓDULO RESILIENTE DE 4500 PSI (CBR = 3%)	63
TABLA 33. RESUMEN DE ESTRUCTURAS RECOMENDADAS; PERIODO DE DISEÑO DE 12 AÑOS Y MÓDULO RESILIENTE DE 6000 PSI (CBR = 4%)	63
TABLA 34. RESUMEN DE ESTRUCTURAS RECOMENDADAS; PERIODO DE DISEÑO DE 12 AÑOS Y MÓDULO RESILIENTE DE 9000 PSI (CBR = 6%)	64
TABLA 35. RESUMEN DE ESTRUCTURAS RECOMENDADAS; PERIODO DE DISEÑO DE 12 AÑOS Y MÓDULO RESILIENTE DE 12500 PSI (CBR = 9%)	64



TABLA 36. RESUMEN DE ESTRUCTURAS RECOMENDADAS; PERIODO DE DISEÑO DE 12 AÑOS Y MÓDULO RESILIENTE DE 14200 PSI (CBR = 11%)..... 64

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. EJEMPLO DE CONTADOR MANUAL CON CUATRO TIPOS DE VEHÍCULO. 25

FIGURA 2. EJEMPLO DE CONTADOR DE RADAR EN SITIO. 26

FIGURA 3. EJEMPLO DE CONTADOR DE MANGUERAS EN SITIO. 27

FIGURA 4. EJEMPLO DE ESTRUCTURA TÍPICA DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE. 32

FIGURA 5. EJEMPLO DE ESTRUCTURA TÍPICA DE UN PAVIMENTO SEMIRRÍGIDO..... 33

FIGURA 6. DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DEL CBR DE SUBRASANTE..... 43

1 INTRODUCCIÓN

El presente documento corresponde a una guía de diseño simplificado de pavimentos flexibles y semirrígidos para caminos con bajos volúmenes de tránsito. La estimación de las diferentes variables que se emplearán para el diseño de las estructuras de pavimento se realizó con base en datos recolectados por el Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LanammeUCR), a través de la Unidad de Gestión Municipal.

Esta guía presenta un catálogo de diseño con distintos tipos de estructuras de pavimento para determinada vida útil, que depende del tránsito promedio diario, del porcentaje de vehículos pesados y de la capacidad soportante de la subrasante.

En el proyecto se presenta una metodología para el diseño de estructuras de pavimento que cumple con los criterios mínimos de desempeño funcional y estructural, buscando mantener los estándares de calidad adecuados sin tener que realizar un diseño detallado de la estructura, permitiendo así un ahorro de recursos para los distintos entes que necesiten construir una vía de bajo volumen.

1.1 Antecedentes

El diseño de pavimentos es un tema muy amplio, involucra muchos aspectos de carácter científico y práctico. Es por este motivo que alrededor del mundo se han invertido muchos recursos en proyectos de investigación, con el propósito de lograr que las estructuras de pavimento sean duraderas para condiciones de tráfico y clima específicas.

Debido a que las solicitudes de carga varían significativamente de una ruta a otra, es común que, para simplificar los procesos, se generen procedimientos y guías de diseño enfocadas a rutas con volúmenes de tránsito específicos. En este contexto, y de acuerdo con el objetivo de este documento, es pertinente presentar una breve reseña de los procedimientos o guías utilizadas comúnmente a nivel mundial cuyo enfoque son las rutas de bajo volumen de tránsito.

La Asociación Americana de Oficiales de Carreteras y Transporte del Estado (AASHTO por sus siglas en inglés), publicó una guía denominada “*Guide for Design of Pavement Structures*” (AASHTO, 1993), que en su capítulo cuatro trata el tema de diseño de

Informe LM-PI-UMP-103-R1	Fecha de emisión: Octubre, 2019	Página 17 de 299
--------------------------	---------------------------------	------------------



pavimentos para rutas de bajo volumen. En este capítulo se abarca el diseño de pavimentos flexibles, rígidos y rutas de lastre mediante la aplicación de nomogramas o catálogos de diseño.

La guía proporciona una tabla o catálogo para determinar el número estructural (SN) del pavimento de acuerdo con el nivel de confiabilidad, la capacidad soportante del suelo, el nivel de tráfico y la región climatológica a la que pertenece. Con el valor de SN se determinan los valores de los coeficientes estructurales de cada capa (a_i) y se calculan sus espesores correspondientes.

La guía de AASHTO establece que el rango de ESALs a considerar para el diseño, tanto de pavimentos flexibles como rígidos, de bajo volumen es de 50 000 ejes a 1 000 000 ejes. Además, dado que este análisis aplica para las rutas de bajo volumen, la confiabilidad recomendada para el diseño de estas vías es de 50% o 75%.

Los diseños se hacen considerando las diferentes regiones climáticas que se presentan en Estados Unidos y la capacidad soportante del suelo, la cual se puede clasificar como muy buena, buena, regular, mala y muy mala. Asimismo, el nivel de serviciabilidad final de los pavimentos debe ser de 1,5 de acuerdo con esta guía.

El Departamento de Transporte de la República de Sudáfrica (1996) en su informe de Recomendaciones Técnicas para Carreteras 4 (TRH 4 por sus siglas en inglés) denominado "*Structural Design of Flexible Pavements for Interurban and Rural Roads*", muestra un catálogo de diseño de pavimentos que puede ser utilizado para determinar una primera aproximación de los espesores de cada capa. Sin embargo, recomiendan que se realice un análisis profundo para decidir el diseño final del pavimento.

El catálogo presenta una serie de tablas que se dividen de acuerdo con el tipo de base que se empleará, ya sea base granular para regiones húmedas o secas, base asfáltica, base estabilizada con cemento o base de macadam. Se debe seleccionar entre diferentes rangos de ESALs y 4 categorías de carreteras, siendo la categoría A la más importante y D la menos importante. Esto se refleja en los niveles de confiabilidad de los diseños (95% categoría A, 90% categoría B, 80% categoría C y 50% categoría D). Finalmente, se obtienen distintos espesores y materiales para las capas del pavimento. Cabe mencionar que las

Informe LM-PI-UMP-103-R1	Fecha de emisión: Octubre, 2019	Página 18 de 299
--------------------------	---------------------------------	------------------

estructuras se diseñan asumiendo que la subrasante posee un CBR mínimo de 15%, que, si no se cumple, se debe mejorar.

La Dirección de Viabilidad del Ministerio de Obras Públicas de Chile creó una Guía de Diseño Estructural de Pavimentos para Caminos de Bajo Volumen de Tránsito (2002), en donde se considera la información de tipo de tránsito, CBR de la subrasante, ejes equivalentes y clima.

La guía proporciona un total de 10 cartillas, los cuales se clasifican ya sea para tránsito liviano o pesado. Después se debe clasificar el clima en tres tipos: seco, normal o saturado; seguido de cuatro diferentes tipos de estructuras de pavimento, para finalmente proporcionar los espesores de las distintas capas de acuerdo con el CBR del suelo y los ejes equivalentes de la ruta.

El Programa Nacional de Cooperación para Investigación de Autopistas (NCHRP por sus siglas en inglés), en el manual “*Guide for Mechanistic-Empirical Design of New and Rehabilitated Pavement Structures*” (2004) abarca el tema de caminos de bajo volumen de tránsito. En la sección cuatro de la guía se explica acerca de un catálogo de diseño, que sirve como modelo base para desarrollar otros catálogos similares tomando en cuenta las diferentes condiciones de cada región.

La guía proporciona los espesores de la carpeta asfáltica y la base granular de acuerdo con tres niveles de tránsito vehicular, cinco niveles de calidad de la subrasante, dos tipos de agregados para la base, dos tipos de mejoramientos a la subrasante y dos zonas climáticas de acuerdo con una confiabilidad de 50% o 75%.

Este catálogo sigue una serie de supuestos, entre ellos, que todos los diseños se basan en un requerimiento estructural para un período de diseño de 20 años, con un rango de ESALs de 50 000 hasta 750 000 y una confiabilidad de 50% o 75%.

Con respecto a las condiciones climáticas, este catálogo únicamente incluye dos regiones: la región norte y la región sur de Estados Unidos. La capacidad soportante del suelo se clasifica como muy buena, buena, regular, mala y muy mala de acuerdo con el sistema de

clasificación de AASHTO y SUCS. Con estos datos se determina el valor del módulo resiliente para un contenido óptimo de humedad.

El catálogo de la NCHRP se creó con base en el cumplimiento de criterios de desempeño para pavimentos flexibles de bajo volumen, en donde se establece que el máximo valor de IRI que pueden tener los pavimentos diseñados es de 3,1 mm/m, suponiendo que el IRI inicial es de 1,5 mm/m. El ahuellamiento máximo permitido es de 1,27 cm y el agrietamiento por fatiga debe ser menor a un 45% de las huellas de rodadura.

El Ministerio de Transportes y Comunicaciones de Perú en su Manual para el Diseño de Carreteras No Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito (2008) presenta un catálogo estructural para superficies de rodamiento en su capítulo 5. En dicho catálogo se presentan cuatro cartillas de acuerdo con el tipo de tráfico, cinco categorías de subrasante según el CBR y se elige entre las opciones A, B o C de acuerdo con el tratamiento de la subrasante (A representa subrasantes sin mejoramiento, B mejoramiento reemplazando material y C mejoramiento con adición de cal, cemento o químicos).

Para la determinación de los espesores de cada capa del pavimento se utiliza la ecuación del método de NAASRA (*National Association of Australian State Road Authorities*, conocido actualmente como AUSTROROADS), la cual emplea el valor de CBR y los ejes equivalentes del camino.

Camacho, E (2009) en su tesis "Catálogo de pavimentos asfálticos para rutas nuevas de bajo volumen" propone un catálogo de estructuras de pavimentos considerando factores como la composición del tráfico, el tipo de suelo de la subrasante, las características del clima y los materiales a emplear.

El catálogo propone una serie de estructuras asociadas a una condición de diseño estructural o por serviciabilidad, brindando los espesores de cada capa, ya sea carpeta asfáltica, base granular, base estabilizada o subbase según corresponda. Este catálogo aplica únicamente para pavimentos de construcción nueva o para la reconstrucción total de los existentes.



1.2 Objetivo general

Generar una guía para el diseño de pavimentos flexibles y semirrígidos que sea aplicable a rutas de bajo volumen mediante un proceso simplificado de diseño, de acuerdo con variables de carga y capacidad de subrasantes típicas para Costa Rica.

1.3 Objetivos específicos

- Realizar una revisión bibliográfica sobre metodologías de diseño que sean aplicables a rutas de bajo volumen en otros países.
- Definir las características físico-mecánicas de los materiales constructivos que podrán ser utilizados en las capas estructurales del pavimento.
- Definir los parámetros de tránsito básicos necesarios para poder aplicar la metodología propuesta.
- Elaborar un marco metodológico que permita desarrollar el procedimiento de diseño simplificado para pavimentos flexibles y semirrígidos.
- Brindar recomendaciones para cada una de las categorías de análisis de la metodología de diseño simplificado de pavimentos.
- Realizar un catálogo de estructuras que sean aplicables a las categorías de análisis definidas, considerando cantidad de ESALs y capacidad de la Subrasante.

1.4 Alcance

- Esta guía contempla el diseño de pavimentos flexibles y semirrígidos, no contempla estructuras de concreto. Sin embargo, en una próxima versión se pretende incluirlas, así como los pavimentos de adoquín.
- El enfoque está dirigido sólo a pavimentos nuevos o con rehabilitaciones mayores.
- Esta guía abarca vías con valores de ESAL no mayores a 1 500 000.
- En actualizaciones futuras de se podría contemplar ampliar el período de diseño, ESALs admisibles y ampliar el catálogo.



1.5 Limitaciones

- No se presentan diseños para los drenajes de la carretera, se plantean únicamente una serie de condiciones y requerimientos básicos de drenaje, que deben ser cumplidos por el diseñador, para garantizar el buen desempeño de las estructuras de pavimentos que se proponen. Sin embargo, se recomienda seguir las consideraciones de los siguientes manuales:
 - Manual de Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras, Caminos y Puentes (CR-2010), o su versión vigente.
 - Diseños Estándar para la Construcción de Estructuras Conexas en Carreteras.
 - Manual de Auscultación Visual de Pavimentos de Costa Rica.
- Se incluyen especificaciones mínimas o máximas que deben cumplir los materiales del pavimento, sin embargo, la elección del procedimiento para comprobar el cumplimiento dichas especificaciones queda a criterio del diseñador.

2 REQUERIMIENTOS PREVIOS DE DISEÑO

Para diseñar un pavimento, es necesario contar con los insumos apropiados para obtener un resultado idóneo de acuerdo con los análisis presentados en este documento. Para ello, se presentan a continuación los diferentes requerimientos necesarios, así como las especificaciones mínimas que deben cumplir los materiales de las distintas capas del pavimento.

En primera instancia, se trata el tema de los conteos vehiculares, así como las proyecciones de tránsito a futuro. Posteriormente se hace referencia a la caracterización de los materiales que componen la estructura del pavimento, con el fin de definir los lineamientos mínimos de calidad, por último, se mencionan aspectos básicos generales correspondientes a la hidrología de la vía.

2.1 Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA)

2.1.1 Tránsito Promedio Diario (TPD)

La cantidad de vehículos en un periodo de 24 horas que circula por una carretera es lo que se conoce como Tránsito Promedio Diario, dicho valor constituye el principal insumo para calcular el TPDA.

Para obtener una cuantificación de este dato, se deben realizar conteos vehiculares en carretera, sobre los cuales se deben considerar previamente ciertos aspectos, estos buscan que los datos obtenidos sean adecuados y correctos, dichos aspectos son:

- Realizar los conteos durante periodos de tránsito normal, nunca en vacaciones o días feriados.
- Realizar los conteos entre lunes y viernes, preferiblemente martes, miércoles y jueves, esto para evitar el efecto de fin de semana.
- Realizar conteos de 25 horas o más, es decir, procurar mínimo 24 horas completas de conteos, con horas extras incompletas para contemplar el lapso transcurrido entre el inicio y el final de los conteos, esto para facilitar el cálculo del tránsito promedio anual (TPDA).
- Seleccionar los sitios con mayor flujo vehicular de las calles o tramos a evaluar, o los sitios más representativos con base en la jerarquía de las rutas por analizar.
- Realizar conteos semanales en las carreteras más importantes de la zona en estudio, para obtener datos más representativos del comportamiento del tránsito y que las estimaciones de TPDA mediante el uso de FED sean más precisas.

Debido al cambio que poseen el tipo y el volumen de tránsito vehicular, se recomienda realizar los conteos de manera periódica, aproximadamente cada año o máximo cada dos años. Es importante debido a que, al realizar los conteos de manera constante, se logra identificar y cuantificar la tasa de crecimiento del tránsito vehicular de la zona en estudio.

2.1.2 Cálculo TPDA

El TPDA es uno de los elementos más importantes para realizar el diseño o estudio de una carretera. Este valor corresponde al promedio anual de vehículos que transitan diariamente por una vía. Para cuantificar el TPDA, es necesario conocer los valores de TPD, que fungen como base para realizar la estimación.

Para estimar el valor del TPDA se utiliza la Ecuación 1,

$$TPDA = \frac{TPD \text{ día } i, \text{ mes } k}{FED_i * FEM_k} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

- *TPDA: Tránsito promedio diario anual.*
- *TPD día i, mes k: Tránsito promedio diario completo (O modificado por Factor de expansión horaria FEH, en caso de conteos de unas cuantas horas (según requisitos de la administración), de un día “i” y un mes “k”.*
- *FED: Factor de expansión diario para un día “i”.*
- *FEM: Factor de expansión mensual para un mes “k”.*

Los caminos de bajo volumen pueden ser categorizados según el valor de TPDA que poseen, mas no se recomienda considerar esto como un factor decisivo de clasificación para el diseño estructural de pavimentos, ya que el porcentaje de vehículos pesados no se ve reflejado en el TPDA, y dicho factor es determinante en la cantidad de daño que sufrirá una estructura. Los componentes para estimar el TPDA se desarrollan en las siguientes secciones.

2.1.2.1 Tipos de conteos

Para realizar conteos en una zona ya definida, es posible utilizar diferentes metodologías de medición que dependen generalmente del tipo de contador. Dentro de estos, se distinguen tres diferentes sistemas de conteo principales: los contadores neumáticos, los

contadores de radar y los contadores manuales. Cada uno de ellos es apropiado para diferentes condiciones específicas de acuerdo con el tipo de vía y la cantidad de vehículos.

De igual manera, la utilización de otros sistemas de conteos para obtener valores de TPD es aceptable y válida, siempre y cuando brinden los resultados deseados.

2.1.2.1.1 Contadores manuales

Los contadores manuales constituyen el método más simple y básico para realizar conteos, son realizados con instrumentos sencillos que registran la suma de los pulsos indicados por el operador. Este método se puede aplicar en zonas con bajos niveles de tránsito, tanto en volumen como en magnitud de carga, así como en lapsos cortos de tiempo, de varias horas.

En este método, el riesgo de error es considerable, ya que depende completamente de la habilidad de la persona que lleva el control de los conteos, y momentos cortos de saturación de la vía pueden ocasionar una imposibilidad para el contador de registrar los datos, también, puede haber dificultades a la hora de generar los conteos de 25 horas. Es por esto que este tipo de conteos no se recomiendan para realizar estimaciones de TPD.



Figura 1. Ejemplo de contador manual con cuatro tipos de vehículo.

Fuente: LanammeUCR, 2016

2.1.2.1.2 Contadores de radar

Los contadores de radar permiten un método más apto para realizar conteos en zonas de tránsito considerable, ya que eliminan el factor humano a la hora de realizar el

procedimiento. Estos contadores se colocan sobre algún elemento vertical ubicado a un costado de la vía, con el radar apuntando hacia el carril de interés.

Este método posee la ventaja de no necesitar de una superficie de rodadura rígida, pero de igual manera, presenta errores registrando datos bajo ciertas circunstancias, por ejemplo, cuando no hay un espaciamiento significativo entre vehículos. Estos contadores deben ser colocados en zonas donde no se vayan a detener vehículos, y donde el tráfico vehicular posea un flujo continuo y libre.



Figura 2. Ejemplo de contador de radar en sitio.

Fuente: LanammeUCR, 2016

2.1.2.1.3 Contadores neumáticos

Este tipo de contadores representan un método sencillo y efectivo para realizar conteos, se constituyen de dos mangueras, dispuestas tal y como se muestran en la Figura 3, sobre las cuales circulan los vehículos, ejerciendo una presión que activa el contador.

Para su colocación, se deben tomar en cuenta ciertos factores importantes, entre los que destacan que la superficie de rodadura no posea baches o puntos donde la presión de las llantas no se pueda ejercer de manera apropiada, que en el sitio escogido no se detengan vehículos, y que el flujo vehicular sea continuo y libre.



Figura 3. Ejemplo de contador de mangueras en sitio.

Fuente: Arias, 2012

Los valores de Tránsito Promedio Diario deben estar separados por clase y tipo de vehículo, dicha división se muestra en la Tabla 1 de manera numérica. Según el esquema utilizado a nivel nacional por el MOPT (2016), en el cual se muestra una división según la separación entre ejes (SPi) de cada vehículo, la Tabla 2 presenta un ejemplo gráfico para interpretar las diferentes clases de vehículos existentes.

Tabla 1. Esquema de distribución vehicular según la Federal Highway Administración (FHWA) de Estados Unidos.

Clase	Ejes	SP1 (m)	SP2 (m)	SP3 (m)	SP4 (m)	SP5 (m)	SP6 (m)	SP7 (m)	SP8 (m)	Agregado
1	2	0,3 - 1,83								Motocicleta
2	2	1,83 - 3,11								Liviano
	3	1,83 - 3,11	1,83 - 5,5							
3	4	1,83 - 3,11	1,83 - 5,5	0,0 - 1,83						Liviano - Remolque
	2	3,11 - 3,96								
4	3	3,11 - 3,96	1,83 - 5,5							Bus
	4	3,11 - 3,96	1,83 - 5,5	0,0 - 1,83						
5	2	6,1 - 12,2								Camión
6	3	6,1 - 12,2	0,0 - 1,83							Camión
7	4	1,83 - 7,01	0,0 - 2,74	0,0 - 2,74						Camión
	5	1,83 - 7,01	0,0 - 1,83	0,0 - 1,83	0,0 - 1,83					
	6	1,83 - 7,01	0,0 - 1,83	0,0 - 1,83	0,0 - 1,83	0,0 - 1,83				
8	3	1,83 - 5,2	4,27 - 12,2							Tráiler



Clase	Ejes	SP1 (m)	SP2 (m)	SP3 (m)	SP4 (m)	SP5 (m)	SP6 (m)	SP7 (m)	SP8 (m)	Agregado
	4	1,83 - 6,71	0,0 - 1,83	1,83 - 12,2						
	4	1,86 - 5,2	4,27 - 12,2	0,0 - 1,86						
9	5	1,83 - 6,71	0,0 - 1,83	1,83 - 12,2	0,0 - 3,81					Tráiler
	5	1,83 - 6,71	0,0 - 1,83	1,83 - 7,01	0,34 - 7,01					
10	6	1,83 - 6,71	0,0 - 1,83	0,0 - 12,2	0,0 - 3,4	0,0 - 3,4				Tráiler
	7	1,83 - 6,71	0,0 - 1,83	0,0 - 12,2	0,0 - 3,96	0,0 - 3,96	0 - 3,96			
11	5	1,83 - 5,2	3,4 - 7,6	1,83 - 5,5	3,4 - 7,6					Tráiler doble
12	6	1,83 - 6,71	0,0 - 1,83	0,3 - 7,6	1,83 - 5,5	3,4 - 7,6				Tráiler doble
13	7+	0 - 12,2	0 - 12,2	0 - 12,2	0 - 12,2	0 - 12,2	0 - 12,2	0 - 12,2	0 - 12,2	Tráiler doble

Fuente: MOPT, 2016

Tabla 2. Tipos de vehículo según la Federal Highway Administración (FHWA) de Estados Unidos.

Clase del vehículo	Tipo del vehículo	Ejes del vehículo	Imagen del vehículo
1	Motocicletas	2 ejes	
2	Vehículo de turismo	2 ejes	
3	Busetas y camionetas	2 ejes	
4	Autobuses	2 o 3 ejes	
5	Camión de 2 ejes	2 ejes	
6	Camión de 3 ejes	3 ejes	
7	Camión de 4 o más ejes	4 o más ejes	

Clase del vehículo	Tipo del vehículo	Ejes del vehículo	Imagen del vehículo
8	Camión con remolque simple de 3 o 4 ejes	3 o 4 ejes	
9	Camión con remolque simple de 5 ejes	5 ejes	
10	Camión con remolque simple de 6 o más ejes	6 o más ejes	
11	Camión con remolque múltiple de 5 o menos ejes	5 o menos ejes	
12	Camión con remolque múltiple de 6 ejes	6 ejes	
13	Camión con remolque múltiple de 7 o más ejes	7 o más	

Fuente: Texas Department of Transportation, 2012

2.1.3 Factores de expansión horaria (FEH)

Los factores de expansión horaria sirven para extrapolar conteos de TPD incompletos a periodos de 24 horas. Para esto se multiplica el volumen horario durante el periodo de

conteo, por el FEH para esa hora, y se encuentra el promedio de los productos obtenidos (Garber & Hoel, 2006).

Los valores de FEH se calculan con base en los comportamientos típicos identificables de los conteos completos obtenidos, que se separan por grupos, sobre los cuales se calcula un FEH mediante la Ecuación 2.

$$FEH = \frac{\text{Volumen total para un período de 24 horas}}{\text{Volumen para una hora específica}} \quad \text{Ecuación 2}$$

2.1.4 Factores de expansión diaria (FED)

Con los FED es posible estimar el valor del promedio semanal de los datos de TPD obtenidos mediante conteos diarios. Para esto se utilizan los conteos semanales que se hayan realizado, en otras zonas o se tenga de referencia. Poseer conteos de carácter semanal es imperativo para poder obtener los valores de FED, y, por consiguiente, de TPDA.

Los diferentes FED se calculan según la siguiente ecuación:

$$FED_{"i"} = \frac{\text{Volumen promedio para un día "i"}}{\text{Volumen total promedio de la semana}} \quad \text{Ecuación 3}$$

2.1.5 Factores de expansión mensual (FEM)

El volumen de tránsito presenta una variabilidad mensual importante que puede ser cuantificada por medio del FEM. Para obtener estos factores se debe contar con valores medidos en puntos específicos de la red vial nacional, que se obtienen mediante cálculos de conteos anuales completos.

Para calcular el FEM se utiliza la siguiente expresión:

$$FEM_k = \frac{TPD_{mes "k"}}{TPDA} \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde:

- $TPD_{mes\ "k"}$: Tránsito promedio diario para un mes "k".
- $TPDA$: Tránsito promedio diario anual.

Los Factores de Expansión Mensual deben ser medidos en las vías de referencia disponibles para realizar los estudios de tránsito vehicular. En la Tabla 3 se muestran valores calculados en la red vial nacional por parte del Ministerio de Obras Públicas y Transportes de Costa Rica modo de ejemplo.

Tabla 3. Ejemplo de valores de FEM medidos en la red vial nacional.

Mes	Autopista				
	General Cañas	Bernardo Soto	Florencio del Castillo	Próspero Fernández	Braulio Carrillo
Enero	1,02	1,19	0,96	0,91	1,03
Febrero	0,94	0,97	0,95	0,92	0,97
Marzo	1,02	1,02	1,01	0,99	1,06
Abril	0,94	0,98	0,93	0,90	1,00
Mayo	0,99	0,98	1,01	1,02	0,99
Junio	0,96	0,93	0,98	1,00	0,94
Julio	1,05	1,06	1,04	1,00	1,03
Agosto	1,02	0,97	1,02	1,05	0,99
Setiembre	0,97	0,92	0,99	1,01	0,97
Octubre	1,01	0,96	1,04	1,06	1,01
Noviembre	1,03	0,98	1,03	1,08	0,99
Diciembre	1,05	1,04	1,04	1,05	1,02

Fuente: MOPT, 2017

2.2 Requerimientos mínimos para diseño de materiales en pavimentos

La sección estructural del pavimento flexible se compone usualmente de 4 capas, las cuales se encargan de soportar y distribuir los esfuerzos provocados por las cargas de los vehículos. En la Figura 4 se muestra un ejemplo de una estructura de pavimento flexible, mientras que en la Figura 5 se presenta un ejemplo de un pavimento semirrígido.

Cada una de las capas del pavimento necesita de un estudio y un diseño respectivo que garantice su óptimo funcionamiento dentro de la matriz estructural.

Las diferentes capas estructurales del pavimento deben ser ensayadas y caracterizadas según diversas pruebas internacionales estandarizadas, esto, con el fin de verificar el debido cumplimiento de las especificaciones técnicas nacionales impuestas por el MOPT . Este tema se trata con mayor detalle posteriormente.

Adicionalmente, se debe garantizar que el proyecto cuenta con drenajes adecuados que garanticen la eficiente evacuación de aguas pluviales y las obras complementarias requeridas para satisfacer la demanda hídrica de la zona.

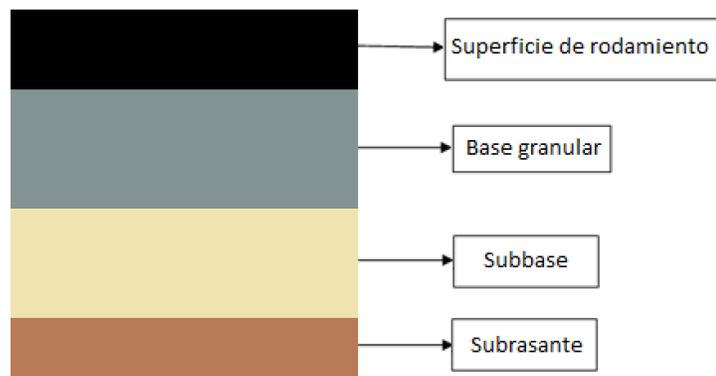


Figura 4. Ejemplo de estructura típica de un pavimento flexible.

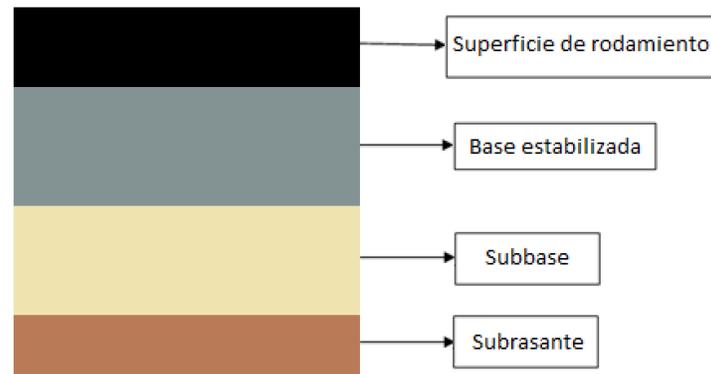


Figura 5. Ejemplo de estructura típica de un pavimento semirrígido.

- Superficie de rodamiento:
 - Carpeta de mezcla asfáltica en caliente según Sección 401 Diseño de mezcla asfáltica por el método Marshall y 405 Suministro y colocación de mezcla asfáltica en caliente, del Manual de especificaciones generales para la construcción de carreteras, caminos y puentes CR-2010 (MOPT, 2010), o bien, su versión vigente. Con Tamaño Máximo Nominal según espesor colocado.
 - Sello o tratamiento superficial asfáltico según sección 411 Tratamiento superficiales asfálticos, del CR-2010 (MOPT, 2010).
- Base Granular: graduación D o E, CBR > 80%, según Manual CR-2010, Sección 301 Subbases y bases granulares y 703.05 Agregado para capas de subbase y base (MOPT, 2010).
- Base granular estabilizada: Sección 304, Estabilización de agregados con resistencia mínima a compresión confinada a los 7 días de 2,8 MPa (MOPT, 2010).
- Subbase granular: graduación B, CBR > 30%, según Manual CR-2010 Sección 301 Subbases y bases granulares y 703.05 Agregado para capas de subbase y base (MOPT, 2010).



- Subrasante existente CBR > 3 % o mejorada si CBR < 3 %.

2.2.1 Superficie de rodamiento

De acuerdo con Manual de especificaciones generales para la construcción de carreteras, caminos y puentes CR-2010 (MOPT, 2010), la superficie de rodamiento es aquella capa superior de la estructura del pavimento, cuyo diseño busca soportar las cargas impuestas, la abrasión y el deslizamiento generado por los vehículos, así como el intemperismo al cual se encuentra expuesta.

La superficie de rodamiento debe poseer una alta capacidad estructural, que soporte cambios constantes de temperatura y clima, así como un carácter impermeable, que evite las infiltraciones de agua, que pueden dañar la estructura inferior del pavimento.

Usualmente las superficies de rodamiento se componen de concreto hidráulico formando una capa rígida, o de una mezcla de agregados y asfalto, que proveen amortiguamiento de las cargas aplicadas gracias a sus propiedades flexibles.

2.2.1.1 Ensayos de caracterización

Para ensayar los diferentes agregados a utilizar en la mezcla asfáltica, Valenzuela (2016) plantea una serie de pruebas de laboratorio (ver Tabla 4), especificados también en el CR-2010, mediante las cuales es posible caracterizar y detallar los diferentes materiales.

Tabla 4. Ensayos para caracterizar agregados de la superficie de rodamiento.

Ensayo	Propiedad ensayada	Resultado del ensayo
AASHTO T 27 AASHTO T 11	Granulometría de los agregados	Distribución granulométrica de los materiales a utilizar
ASTM D 4791	Partículas planas y elongadas	Porcentaje de partículas planas y elongadas
ASTM D 5821	Angulosidad agregado grueso	Porcentaje de partículas que cumplen el criterio de caras fracturadas



Ensayo	Propiedad ensayada	Resultado del ensayo
AASHTO T 304	Angulosidad Agregado Fino	Contenido de vacíos en el agregado sin compactar (Se relaciona con el contenido de partículas angulares)
AASHTO T 176	Equivalente de arena	Valor equivalente de arena
AASHTO T 96	Abrasión y desgaste	Porcentaje de pérdida de material por abrasión y desgaste
AASHTO T 210	Índice de durabilidad de los agregados	Índice de durabilidad que refleja la resistencia de agregados a producir finos
AASHTO T 104	Sanidad de los agregados	Resistencia de los agregados ante el intemperismo
AASHTO T 112	Partículas friables y arcillosas	Existencia o no de partículas (perjudiciales) suaves y arcillosas en el agregado

Fuente: Valenzuela, 2016

Para realizar el diseño de mezcla asfáltica, existen varias metodologías, siendo la de estabilidad y flujo de Marshall una de las más comunes y aplicables para caminos de bajo volumen. En la Tabla 5 se presentan los ensayos propuestos en el CR-2010 para su determinación y normativa interna.

Tabla 5. Ensayos de diseño de mezcla asfáltica para determinación y normativa interna.

Diseño de mezcla	Ensayos para determinación y normativa estándar
Estabilidad y flujo de Marshall	AASHTO T 245

Fuente: Valenzuela, 2016

2.2.2 Base y subbase

La capa de base corresponde a la capa principal de transmisión de cargas en los carriles de tránsito, y se encuentra constituida por materiales debidamente compactados, esta capa también funciona como apoyo y superficie de trabajo para la colocación de la superficie de ruedo y la calidad de la base influye directamente en la regularidad y vida útil de la superficie de ruedo.

La capa de subbase es la capa secundaria de distribución de carga, y se encuentra bajo la capa de base, suele componerse por materiales de menor calidad y durabilidad que aquellos utilizados para la base (Keller & Sherar, 2008), tiene gran aporte para el drenaje pluvial del suelo y funciona como superficie de trabajo para la colocación del resto de capas del pavimento.

Las capas de base y subbase para pavimentos flexibles se pueden componer de distintos materiales, entre ellos se pueden mencionar la piedra triturada con graduaciones definidas, macadam compactado en seco o unificado con agua y grava natural (Cook, Petts, & Rolt, 2013).

2.2.2.1 Ensayos de caracterización

Para ensayar los materiales granulares a utilizar en la base y la subbase, Valenzuela (2016) y en el Manual CR-2010 (MOPT, 2010) se plantean una serie de pruebas de laboratorio, mediante las cuales se caracterizan y detallan cada tipo de material, que se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6. Ensayos para materiales granulares.

Ensayo	Propiedad ensayada	Resultado del ensayo
AASHTO T 89 AASHTO T 90	Límites de Atterberg	Valores de límites líquido y plástico del material ensayado
AASHTO T 88	Granulometría de un suelo	Curva granulométrica del suelo ensayado



Ensayo	Propiedad ensayada	Resultado del ensayo
AASHTO T 11 AASHTO T 27	Granulometría de los agregados	Distribución granulométrica de los materiales a utilizar
AASHTO T 99 AASHTO T 180	Relación humedad-densidad, ensayo Proctor	Relación entre la densidad seca máxima y la humedad del suelo, utilizadas para determinar la compactación óptima en sitio
AASHTO T 193	Capacidad relativa de soporte (CBR)	Valor de CBR del suelo ensayado y capas granulares
ASTM D 5821	Angulosidad agregado grueso	Porcentaje de partículas que cumplen el criterio de caras fracturadas
AASHTO T 210	Índice de durabilidad de los agregados	Índice de durabilidad que refleja la resistencia de agregados a producir finos
AASHTO T 96	Abrasión y desgaste	Porcentaje de pérdida de material por abrasión y desgaste

Fuente: Valenzuela, 2016

2.2.3 Subrasante

Según Keller & Sherar (2008), la subrasante corresponde al suelo existente de donde se erige la estructura de pavimento, por lo tanto, es la capa inferior de la estructura de pavimento. Es de suma importancia que la subrasante posea una capacidad estructural suficiente para el correcto funcionamiento de las demás capas.

Debido a que la subrasante se compone de un material ya existente en el sitio de construcción, esta se separa generalmente en dos grandes grupos, según el valor obtenido en la prueba de CBR (AASHTO T-193), mediante la cual se decide la capacidad funcional de dicha capa como parte de la estructura del pavimento.

Informe LM-PI-UMP-103-R1	Fecha de emisión: Octubre, 2019	Página 37 de 299
--------------------------	---------------------------------	------------------



Las dos clasificaciones posibles para la subrasante corresponden a las siguientes:

- CBR (AASHTO T-193) > 3 %, subrasante aceptable (deseable > 5 %)
- CBR (AASHTO T-193) < 3 %, subrasante inaceptable, realizar proceso de estabilización o sustitución.

Cabe recalcar que para hacer uso de la presente guía es de suma importancia que se caracterice adecuadamente el CBR (AASHTO T-193) de la subrasante a lo largo del sitio donde se construirá la estructura de pavimento, por lo tanto, se recomienda que como mínimo se sigan las siguientes recomendaciones para analizar preliminarmente el camino y realizar el diseño de este (ver Tabla 7).

Tabla 7. Cantidad de ensayos requeridos para caracterizar la subrasante.

Etapa del proyecto	Ensayo	Norma	Frecuencia mínima por kilómetro	Cantidad mínima por proyecto
Análisis preliminar del camino	Calicatas para sondeo de espesores a al menos 2 metros de profundidad	-	2	3
	Cono de penetración dinámico (DCP)/CBR en siBntio	ASTM D-6951	10	1 cada 100 metros
	Porcentaje de humedad natural	-	3	3
Diseño de pavimento por proyecto o sección homogénea	CBR de laboratorio para diseño	AASHTO T-193	3	2
	Clasificación de suelos (SUCS y AASHTO)	ASTM D2487 AAHTO-M-145	3	2



Etapa del proyecto	Ensayo	Norma	Frecuencia mínima por kilómetro	Cantidad mínima por proyecto
	Límites de Atterberg	AASHTO T 89 AASHTO T 90	3	2
	Indicación de existencia de nivel de freático	-	3	2
	Porcentaje de humedad natural	-	3	2

Como complemento al análisis preliminar del proyecto se recomienda utilizar la metodología de diferencias acumuladas con los valores del DCP para identificar posibles tramos homogéneos, según el procedimiento descrito en el apéndice J de la guía de diseño de la AASHTO de 1993 y así segmentar el proyecto en posibles secciones que posean condiciones similares.

Después de analizar el camino de forma preliminar y definir si existe más de una sección homogénea se recomienda realizar de la misma forma una caracterización acorde a los ensayos y frecuencia de la Tabla 7.

Para definir el CBR (AASHTO T-193) característico del camino (diseño) se recomienda utilizar el **percentil 16** de las mediciones consideradas, esto permite garantizar que el 84% de las medidas poseen un CBR mayor al valor de diseño seleccionado.

Es muy importante aclarar que en caso de que se detecte un material o suelo muy deficiente como arcillas expansivas, suelos colapsables o algún estrato que ponga en riesgo la integridad de la estructura, el mismo deberá ser removido en su totalidad (SUCS-AASHTO). De igual forma si algún ensayo brinda un valor de CBR menor al 3%, deberá realizarse una sustitución o mejoramiento.

En caso de contar con una subrasante con un CBR (AASHTO T-193) ubicado entre los valores de 2 % y 3 %, se recomienda que el espesor mínimo de sustitución sea de al menos 30 cm, siguiendo los procesos de colocación y compactación recomendados en el Manual CR-2010 y que el material de sustitución posea un CBR mínimo de 5 %, para garantizar un adecuado comportamiento estructural. Realizando este mejoramiento se puede considerar un CBR de 4% como subrasante de diseño para esta guía.

2.2.3.1 Ensayos de caracterización

Para realizar una caracterización de los materiales de subrasante, se cuenta con los diferentes ensayos mostrados en la Tabla 8, dichos ensayos son aplicables indiferentemente del valor de CBR del material.

Tabla 8. Ensayos para suelos que conforman subrasantes.

Ensayo	Propiedad ensayada	Resultado del ensayo
AASHTO T 88	Granulometría del suelo	Curva granulométrica del material ensayado
AASHTO T 89 AASHTO T 90	Límites de Atterberg	Valor de Límite plástico, límite líquido y límite de contracción del material ensayado
AASHTO T 176	Equivalente de arena	Indicativo del valor de plasticidad del suelo
ASTM D 2216	Humedad natural	Condición de humedad natural del material ensayado
AASHTO T 193	Ensayo CBR	Valor de soporte o resistencia del suelo según determinadas densidades
AASHTO T 99 AASHTO T 180	Relación humedad-densidad, ensayo Proctor	Relación entre la densidad seca máxima y la humedad del suelo, utilizadas para determinar la compactación óptima en sitio

3 DISEÑO ESTRUCTURAL

3.1 Principios de diseño

Para los diseños realizados se analizaron propuestas preliminares por medio de la metodología de la AASHTO de 1993. Sin embargo, el principio de diseños es la utilización de criterios mecanístico empíricos para la revisión y validación de estructuras de pavimentos. Por lo tanto, desde el punto de vista de mecánica de materiales se utilizaron conceptos como: módulo dinámico, módulo resiliente de materiales granulares, temperaturas del país, velocidades de operación y modelos para la predicción de desempeño.

En el anexo 1 se presentan los modelos constitutivos de base y subbase utilizados para la convergencia de módulos resilientes de estos materiales. Se utilizaron 3 modelos característicos por material para la convergencia de módulos (con un máximo de 5 iteraciones por diseños).

En total se realizaron 375 modelaciones utilizando la metodología de multicapa elástica para la convergencia de módulos y 75 modelaciones adicionales para obtener las respuestas críticas para cada estructura y con esto estimar la cantidad de ESALs necesarios para producir un ahuellamiento máximo de 12 mm y un porcentaje de agrietamiento del 50 % (ver anexo 1). Los umbrales utilizados para validar estos diseños son congruentes con los umbrales recomendados en la “Propuesta Guía Para El Diseño Estructural Mecanístico Empírico De Pavimentos” (Arias, 2017).

3.2 Variables de diseño

3.2.1 TPD

Para la Guía de Diseño de Bajo Volumen se establecen cinco clasificaciones de tráfico distintas. Los distintos rangos de TPD se definieron con base en mediciones de tráfico realizadas por la Unidad de Gestión Municipal (UGM) del LanammeUCR. En total se analizaron 291 datos y se seleccionaron rangos de tráfico correspondientes a los percentiles 15, 25, 35, 50 y 75 del total de las mediciones realizadas. La categorización del TPD se toma de la Sección 9.2.2. del informe “Propuesta para una guía de diseño de bajo volumen para pavimentos flexibles y semirrígidos”, Informe LM-PI-GM-INF-05-16 (Arias, 2017), donde el proceso es descrito con más detalle. A continuación, se muestra cada uno de los rangos de tráfico de la guía de diseño:

Informe LM-PI-UMP-103-R1	Fecha de emisión: Octubre, 2019	Página 41 de 299
--------------------------	---------------------------------	------------------



- T_{500} : Menor a 500 vehículos por día (vpd).
- T_{800} : Entre 501 y 800 vpd.
- T_{1200} : Entre 801 y 1200 vpd.
- T_{2000} : Entre 1201 y 2000 vpd.
- T_{3500} : Entre 2001 y 3500 vpd.

Cabe resaltar que, si por una carretera circulan más de 3500 vehículos por día, no se podrá utilizar esta guía para el diseño simplificado de pavimentos, es decir, se deberá realizar un proceso convencional de diseño.

Nota: Para la verificación mecanístico-empírica de los diseños propuestos se utiliza para las modelaciones el valor máximo de vehículos por día de cada rango. Por ejemplo, para analizar la resistencia de una estructura por la cual pasa un nivel T_{500} de vehículos por día, se asume que la cantidad de vehículos por día es de 500 para ese rango. De igual forma, si por la estructura pasa a un nivel T_{800} de vehículos por día, se utiliza una cantidad de 800 vehículos por día para las modelaciones.

3.2.2 CBR de la Subrasante

Los rangos de CBR para clasificar los suelos se definieron con base en datos recolectados in situ por la Unidad de Gestión Municipal del LanammeUCR. En este caso, se realizó un análisis estadístico y se seleccionaron los percentiles representativos para categorizar los valores de CBR. La definición de dichos rangos se detalla en la Sección 9.3. del informe “Propuesta para una guía de diseño de bajo volumen para pavimentos flexibles y semirrígidos” (Arias, 2017). A continuación, se muestra porcentualmente la magnitud de los datos de CBR medidos:

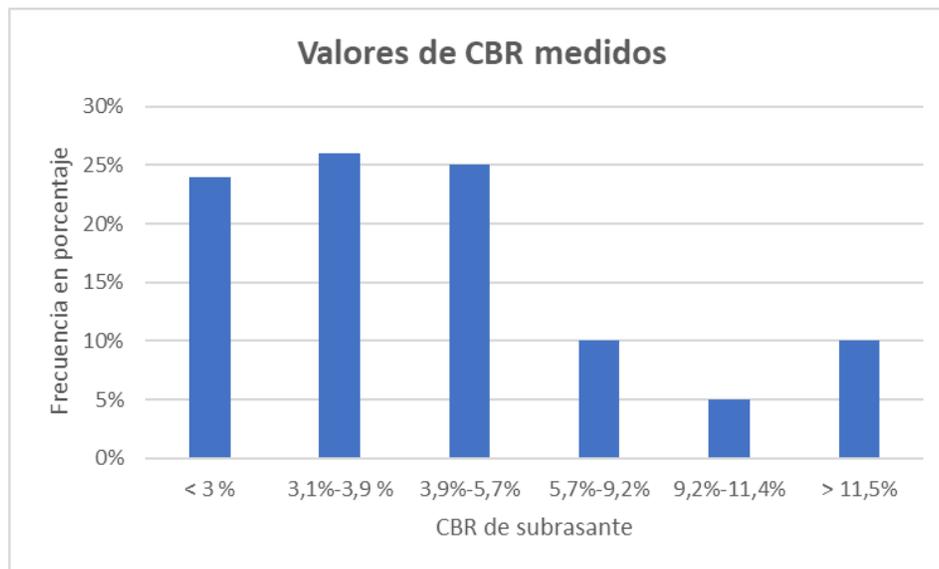


Figura 6. Distribución porcentual del CBR de subrasante.

Es importante notar que una gran cantidad de los datos medidos presenta un CBR inferior a 3,0%. Esto se tomó en consideración al elaborar la guía, ya que, a pesar de que el objetivo de esta guía es presentar una metodología de diseño para carreteras con bajas exigencias de tráfico, se considera que magnitudes tan bajas de CBR no son aptas para la construcción de una estructura de pavimento. Por ende, los diseños presentados en esta guía no serán aplicables sobre suelos con un CBR inferior al 3%. Sin embargo, si se realiza una sustitución o mejoramiento de la subrasante, la presente guía podría ser utilizada. Tomando en cuenta lo anterior, las cinco categorías de CBR definidas para el diseño son las siguientes:

- **CBR_{3%}**: Entre 3% y 3,99%
- **CBR_{4%}**: Entre 4% y 5,99%
- **CBR_{6%}**: Entre 6% y 8,99%
- **CBR_{9%}**: Entre 9% y 10,99%
- **CBR_{11%}**: Mayor al 11%

Nota: Para la verificación mecanístico-empírica de los diseños propuestos se utiliza para las modelaciones el valor mínimo de CBR de cada rango. Por ejemplo, para analizar la resistencia de una estructura colocada sobre un suelo con clasificación CBR_{3%} se utiliza en la modelación



un CBR del 3%. Si la estructura se coloca sobre un suelo con clasificación $CBR_{4\%}$ se utiliza un CBR de 4%.

3.2.3 Porcentaje de vehículos pesados

- Los porcentajes de vehículos pesados se determinaron de los mismos conteos con los cuales se obtuvo los valores de TPD. En total se analizaron 291 datos de conteos realizados por la UGM del LanammeUCR y se definieron siete categorías asociadas a percentiles específicos del total de las mediciones realizadas. En la Sección 9.2.4. del informe “Propuesta para una guía de diseño de bajo volumen para pavimentos flexibles y semirrígidos” elaborado por Arias (2017) se explica detalladamente la selección de las distintas categorías para el porcentaje de vehículos pesados, mismas que se muestran a continuación:
- $P_{3\%}$: Menor al 3,0%.
- $P_{4\%}$: Entre 3,01% y 4,0%.
- $P_{5\%}$: Entre 4,01% y 5,0%.
- $P_{7\%}$: Entre 5,01% y 7,0%.
- $P_{8\%}$: Entre 7,01% y 8,5%.
- $P_{14\%}$: Entre 8,51% y 14,0%.
- $P_{15\%}$: Entre 14,01% y 15,0%.

Nótese que, si por una carretera circula un porcentaje de vehículos pesados superior al 15% del tráfico total, no se podrá utilizar esta guía para el diseño simplificado de pavimentos.

Nota: Para la verificación mecanístico-empírica de los diseños propuestos se utiliza para las modelaciones el valor máximo de porcentaje de pesados de cada rango. Por ejemplo, para analizar la resistencia de una estructura por la cual pasa un tráfico con un nivel de pesados $P_{3\%}$, se asume que el porcentaje de pesados es 3 %. De igual forma, si por la estructura pasa un tráfico con un nivel de pesados $P_{4\%}$ se utiliza un porcentaje de 4 % para las modelaciones.

3.2.4 ESALs

Para cada una de las diferentes combinaciones de TPD (T_i), porcentaje de vehículos pesados (P_i) y periodo de diseño (AN_i), se calcularon los ejes equivalentes de carga (ESALs). Este proceso se presenta a detalle en las Secciones 9.2.5 y 9.2.6 del informe “Propuesta para una guía de diseño de bajo volumen para pavimentos flexibles y semirrígidos” (Arias, 2017). Los resultados se muestran resumidos en las Tablas 9, 10, 11 y 12; donde cada combinación $AN_iT_iP_i$ genera una cantidad específica de ESALs a cumplir. Los períodos de diseño enfocados en 6 a 12 años, contemplan rangos de diseño para caminos de bajo de volumen, acordes y ajustados a los rangos de ESALs estimados, sin embargo, se recomienda en la medida de lo posible, mantener períodos de diseño iguales o superiores a los 8 años, considerando la importancia y clasificación de la ruta. **Cabe resaltar que las celdas con valores que superan 1,5 millones de ESALs se marcan en rojo, debido a que el alcance de la guía de diseño simplificada se ha definido únicamente para vías con volumen de tráficos menores a este valor.**

Tabla 9. ESALs para el período de diseño de 6 años de acuerdo con las diferentes combinaciones de TPD y Pesados

Período de diseño = 6 Años							Período de diseño = 6 Años						
Tránsito promedio diario							Tránsito promedio diario						
Pesados	T ₅₀₀	T ₈₀₀	T ₁₂₀₀	T ₂₀₀₀	T ₃₅₀₀	T _{>3500}	Pesados	T ₅₀₀	T ₈₀₀	T ₁₂₀₀	T ₂₀₀₀	T ₃₅₀₀	T _{>3500}
P _{3%}	AN1T1P1	AN1T2P1	AN1T3P1	AN1T4P1	AN1T5P1	AN1T6P1	P _{3%}	61587	98539	147809	246348	431109	615870
P _{4%}	AN1T1P2	AN1T2P2	AN1T3P2	AN1T4P2	AN1T5P2	AN1T6P2	P _{4%}	82116	131386	197078	328464	574812	821160
P _{5%}	AN1T1P3	AN1T2P3	AN1T3P3	AN1T4P3	AN1T5P3	AN1T6P3	P _{5%}	102645	164232	246348	410580	718515	1026449
P _{7%}	AN1T1P4	AN1T2P4	AN1T3P4	AN1T4P4	AN1T5P4	AN1T6P4	P _{7%}	143703	229925	344887	574812	1005920	1437029
P _{8,5%}	AN1T1P5	AN1T2P5	AN1T3P5	AN1T4P5	AN1T5P5	AN1T6P5	P _{8,5%}	174496	279194	418791	697986	1221475	1744964
P _{14%}	AN1T1P6	AN1T2P6	AN1T3P6	AN1T4P6	AN1T5P6	AN1T6P6	P _{14%}	287406	459849	689774	1149623	2011841	2874058
P _{15%}	AN1T1P7	AN1T2P7	AN1T3P7	AN1T4P7	AN1T5P7	AN1T6P7	P _{15%}	307935	492696	739044	1231739	2155544	3079348



Tabla 10. ESALs para el período de diseño de 8 años de acuerdo con las diferentes combinaciones de TPD y Pesados

Período de diseño = 8 Años						
	Tránsito promedio diario					
Pesados	T ₅₀₀	T ₈₀₀	T ₁₂₀₀	T ₂₀₀₀	T ₃₅₀₀	T _{>3500}
P _{3%}	AN2T1P1	AN2T2P1	AN2T3P1	AN2T4P1	AN2T5P1	AN2T6P1
P _{4%}	AN2T1P2	AN2T2P2	AN2T3P2	AN2T4P2	AN2T5P2	AN2T6P2
P _{5%}	AN2T1P3	AN2T2P3	AN2T3P3	AN2T4P3	AN2T5P3	AN2T6P3
P _{7%}	AN2T1P4	AN2T2P4	AN2T3P4	AN2T4P4	AN2T5P4	AN2T6P4
P _{8,5%}	AN2T1P5	AN2T2P5	AN2T3P5	AN2T4P5	AN2T5P5	AN2T6P5
P _{14%}	AN2T1P6	AN2T2P6	AN2T3P6	AN2T4P6	AN2T5P6	AN2T6P6
P _{15%}	AN2T1P7	AN2T2P7	AN2T3P7	AN2T4P7	AN2T5P7	AN2T6P7

Período de diseño = 8 Años						
	Tránsito promedio diario					
Pesados	T ₅₀₀	T ₈₀₀	T ₁₂₀₀	T ₂₀₀₀	T ₃₅₀₀	T _{>3500}
P _{3%}	85554	136886	205329	342215	598877	855538
P _{4%}	114072	182515	273772	456287	798502	1140717
P _{5%}	142590	228143	342215	570359	998128	1425897
P _{7%}	199626	319401	479101	798502	1397379	1996255
P _{8,5%}	242402	387844	581766	969610	1696817	2424024
P _{14%}	399251	638802	958203	1597004	2794757	3992511
P _{15%}	427769	684430	1026646	1711076	2994383	4277690

Tabla 11. ESALs para el período de diseño de 10 años de acuerdo con las diferentes combinaciones de TPD y Pesados

Período de diseño = 10 Años						
	Tránsito promedio diario					
Pesados	T ₅₀₀	T ₈₀₀	T ₁₂₀₀	T ₂₀₀₀	T ₃₅₀₀	T _{>3500}
P _{3%}	AN3T1P1	AN3T2P1	AN3T3P1	AN3T4P1	AN3T5P1	AN3T6P1
P _{4%}	AN3T1P2	AN3T2P2	AN3T3P2	AN3T4P2	AN3T5P2	AN3T6P2
P _{5%}	AN3T1P3	AN3T2P3	AN3T3P3	AN3T4P3	AN3T5P3	AN3T6P3
P _{7%}	AN3T1P4	AN3T2P4	AN3T3P4	AN3T4P4	AN3T5P4	AN3T6P4
P _{8,5%}	AN3T1P5	AN3T2P5	AN3T3P5	AN3T4P5	AN3T5P5	AN3T6P5
P _{14%}	AN3T1P6	AN3T2P6	AN3T3P6	AN3T4P6	AN3T5P6	AN3T6P6
P _{15%}	AN3T1P7	AN3T2P7	AN3T3P7	AN3T4P7	AN3T5P7	AN3T6P7

Período de diseño = 10 Años						
	Tránsito promedio diario					
Pesados	T ₅₀₀	T ₈₀₀	T ₁₂₀₀	T ₂₀₀₀	T ₃₅₀₀	T _{>3500}
P _{3%}	111476	178362	267543	445905	780334	1114763
P _{4%}	148635	237816	356724	594540	1040446	1486351
P _{5%}	185794	297270	445905	743176	1300557	1857939
P _{7%}	260111	416178	624267	1040446	1820780	2601114
P _{8,5%}	315850	505359	758039	1263398	2210947	3158496
P _{14%}	520223	832357	1248535	2080891	3641560	5202229
P _{15%}	557382	891811	1337716	2229527	3901671	5573816



Tabla 12. ESALs para el período de diseño de 12 años de acuerdo con las diferentes combinaciones de TPD y Pesados

Período de diseño = 12 Años							Período de diseño = 12 Años						
Tránsito promedio diario							Tránsito promedio diario						
Pesados	T ₅₀₀	T ₈₀₀	T ₁₂₀₀	T ₂₀₀₀	T ₃₅₀₀	T _{>3500}	Pesados	T ₅₀₀	T ₈₀₀	T ₁₂₀₀	T ₂₀₀₀	T ₃₅₀₀	T _{>3500}
P _{3%}	AN4T1P1	AN4T2P1	AN4T3P1	AN4T4P1	AN4T5P1	AN4T6P1	P _{3%}	139514	223223	334834	558057	976599	1395141
P _{4%}	AN4T1P2	AN4T2P2	AN4T3P2	AN4T4P2	AN4T5P2	AN4T6P2	P _{4%}	186019	297630	446445	744075	1302132	1860188
P _{5%}	AN4T1P3	AN4T2P3	AN4T3P3	AN4T4P3	AN4T5P3	AN4T6P3	P _{5%}	232524	372038	558057	930094	1627665	2325235
P _{7%}	AN4T1P4	AN4T2P4	AN4T3P4	AN4T4P4	AN4T5P4	AN4T6P4	P _{7%}	325533	520853	781279	1302132	2278731	3255330
P _{8,5%}	AN4T1P5	AN4T2P5	AN4T3P5	AN4T4P5	AN4T5P5	AN4T6P5	P _{8,5%}	395290	632464	948696	1581160	2767030	3952900
P _{14%}	AN4T1P6	AN4T2P6	AN4T3P6	AN4T4P6	AN4T5P6	AN4T6P6	P _{14%}	651066	1041705	1562558	2604264	4557462	6510659
P _{15%}	AN4T1P7	AN4T2P7	AN4T3P7	AN4T4P7	AN4T5P7	AN4T6P7	P _{15%}	697571	1116113	1674170	2790283	4882995	6975706

3.2.5 Módulo dinámico de la mezcla asfáltica

El módulo dinámico de la mezcla asfáltica se ha adoptado en las metodologías de diseño mecanicista para definir la rigidez del material, tomando en cuenta su comportamiento viscoelástico lineal. El concepto de viscoelasticidad implica que la rigidez de la mezcla asfáltica se ve afectada por dos variables específicas: la temperatura del material y la velocidad o frecuencia de carga. Por esto, es esencial contar con una correcta caracterización de dichas variables al diseñar la estructura de un pavimento flexible.

A continuación, se detallan las consideraciones tomadas para definir las variables de temperatura y frecuencia de carga, que fueron utilizadas para determinar el módulo dinámico de la mezcla asfáltica empleado en las modelaciones de las distintas estructuras de pavimento propuestas en esta guía.

Datos generales

Para este proyecto se evaluaron dos mezclas asfálticas producidas en distintas plantas del país. En la Tabla 13 se muestran las características volumétricas generales y la granulometría de las distintas mezclas.



Tabla 13. Granulometría y características volumétricas generales de las mezclas evaluadas

	Parámetro	Planta A	Planta B	
Datos generales	Granulometría (porcentaje pasando por peso)	19,0mm	100	100
		12,5mm	95,90	91,80
		9,5mm	83,20	77,00
		N. 4	54,30	46,70
		N. 8	38,10	31,10
		N. 16	26,68	21,83
		N. 30	19,25	16,33
		N. 50	13,36	12,09
		N. 100	9,03	8,71
	N. 200	6,69	6,22	
	Gravedad específica bruta		2,389	2,364
	Gravedad máxima teórica		2,459	2,494
	Vacíos Marshall (%)		2,9	5,2
	% Asfalto óptimo sobre la mezcla		6,5	5,4
Estabilidad Marshall (kg)		2129	2385	
Flujo Marshall (1/100cm)		33,0	31,4	
Relación Polvo/asfalto-total		1,0	1,2	

Temperatura del pavimento

Las temperaturas utilizadas para determinar los módulos dinámicos se obtuvieron a partir de datos históricos de distintas estaciones climáticas del Instituto Meteorológico Nacional (IMN) de Costa Rica. Para contar con un amplio espectro de datos se analizaron en total 13 zonas del país (ver Tabla 15). En cada una de las zonas se contaba con temperaturas promedio mensuales que fueron utilizadas para obtener un valor promedio de temperatura anual. Es importante mencionar que los datos de temperatura de las estaciones climáticas son datos de temperatura del aire. Sin embargo, para el cálculo de los módulos dinámicos es necesario conocer la temperatura del pavimento, por lo tanto, se utilizaron cuatro modelos matemáticos distintos para transformar la temperatura del aire en temperatura del pavimento. Específicamente se utilizaron los modelos del *Strategic Highway Research Program* (SHRP), el *Long Term Pavement Performance* (LTPP)

y el Instituto del Asfalto de Estados Unidos. Además, se utilizó un modelo propuesto por Witczak (1992). A continuación, se muestran las expresiones utilizadas:

- SHRP: $T_{sup} = T_{aire} - 0,00618 * Lat^2 + 0,2289 * Lat + 24,4$ Ecuación 5

$$T_{pav} = T_{sup}(1 - 0,063 * h + 0,007 * h^2 - 0,0004 * h^3)$$
 Ecuación 6

- LTPP: $T_{pav} = 54,32 + 0,78 * T_{aire} - 0,0025 * Lat^2 - 15,14 * \log_{10}(h + 25)$ Ecuación 7

- Instituto del Asfalto: $T_{pav} = T_{aire} \left[1 + \frac{1}{(h + 4)} \right] - \frac{34}{(h + 4)} + 6$ Ecuación 8

- Witczak: $T_{pav} = 58 - 5,5 * (h) + 0,92 * (T_{aire})$ Ecuación 9

Donde T_{pav} es la temperatura del pavimento en °F, T_{sup} es la temperatura superficial del pavimento en °F, T_{aire} es la temperatura promedio del aire en °F, Lat es la latitud de la zona en grados (°) y h es la profundidad en la mezcla asfáltica en pulgadas (in). Con los modelos anteriores se determinó la temperatura promedio del pavimento para cada de las zonas del país analizadas. A manera de ejemplo en la siguiente tabla se muestra el cálculo de la temperatura para Upala:

Tabla 14. Datos de temperatura para Upala

Upala						
Temperatura Max. Aire		Temperatura Prom. Aire		Profundidad		Latitud
°C	°F	°C	°F	mm	in	° decimales
31,08	87,94	25,7	78,25	37,5	1,48	10,88
Modelos					Temperatura Pavimento	
					°C	°F
SHRP					46,35	115,43
LTPP					46,88	116,38
Instituto del Asfalto					33,52	92,33
Witczak					49,93	121,87
Promedio					47,72	117,89

Los valores promedio de temperatura para todos los sitios considerados se pueden observar en el anexo 2.

Frecuencia de carga

Para determinar la frecuencia de carga a utilizar en el cálculo de los módulos dinámicos de las mezclas evaluadas, se asumió una velocidad de tránsito vehicular de 60 km/h para las vías cantonales. Con base en esto, se utilizó la ecuación propuesta por Richard Barksdale en 1971 (Ecuación 10) para correlacionar la velocidad de tránsito con la frecuencia de carga, obteniéndose una frecuencia asociada de 36,2 Hz. La ecuación mencionada se muestra a continuación:

$$\log(t) = -0,95 * \log(v) + 0,0207 * h - 0,087 \quad \text{Ecuación 10}$$

Donde t es el tiempo de carga en segundos (s), v es la velocidad de tránsito en millas por hora (mph) y h es el espesor de la carpeta en pulgadas (in). A partir de la ecuación anterior se determina la frecuencia de carga con la relación:

$$f = \frac{1}{t} \quad \text{Ecuación 11}$$

Resultados de módulo dinámico

Para determinar el valor de módulo dinámico para las distintas mezclas analizadas se utilizó el concepto de la curva maestra. Los resultados se presentan resumidos en la siguiente tabla.

Tabla 15. Resumen de datos de módulo dinámico

Cantón	Temperatura Prom. Pavimento		Frecuencia (Hz)	Módulos dinámicos (ksi) para temperaturas promedio		Promedio
	(°C)	(°F)		Planta A (1)	Planta B (2)	
				(12,5 mm)	(12,5 mm)	
Upala	47,72	117,89	36,20	188,30	313,60	250,95
Los Chiles	48,70	119,66	36,20	173,70	294,30	234,00
San Carlos	44,33	111,79	36,20	252,20	394,50	323,35
Puntarenas	48,68	119,62	36,20	174,00	294,70	234,35
San José	43,71	110,68	36,20	266,60	412,00	339,30

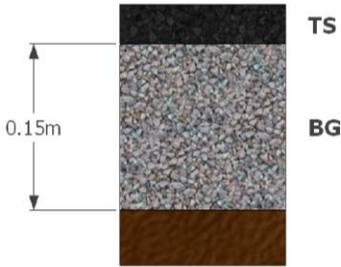
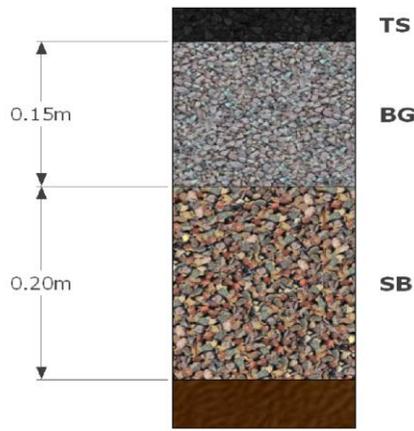


Cantón	Temperatura Prom. Pavimento		Frecuencia	Módulos dinámicos (ksi) para temperaturas promedio		Promedio
	(°C)	(°F)		Planta A (1)	Planta B (2)	
				(12,5 mm)	(12,5 mm)	
Alajuela	45,81	114,45	36,20	221,50	356,20	288,85
Barva de Heredia	42,92	109,26	36,20	286,40	435,30	360,85
Cartago	42,15	107,86	36,20	305,10	454,20	379,65
Buenos Aires	47,83	118,09	36,20	186,60	311,40	249,00
Aguirre	48,73	119,71	36,20	173,30	293,80	233,55
Golfito	48,69	119,65	36,20	173,80	294,40	234,10
Limón	47,86	118,15	36,20	186,10	310,70	248,40
Orotina	47,76	117,97	36,20	187,70	312,70	250,20
			Promedio General	213,48	344,45	278,97

El valor promedio para las dos mezclas analizadas y todas las temperaturas del país fue de 279 ksi, tal como se observa en la tabla anterior. Dicho valor de módulo fue utilizado en todas las modelaciones para realizar los análisis mecanístico-empíricos de las estructuras propuestas en esta guía.

3.3 Estructuras de Pavimento

Para poder definir las estructuras preliminares por revisar se realizaron 364 diseños por la metodología de la AASHTO 1993, contemplando estructuras con mezcla asfáltica en caliente, una o dos capas granulares y contemplando opciones con tratamiento superficial. Posterior a esto se definieron estructuras típicas por revisar, mediante criterios mecanístico empíricos. Esto permitió definir una familia de 15 estructuras preliminares, a las cuales se les realizó una verificación completa de desempeño, considerando los aspectos expuestos en la Sección 3.1 Principios de diseño. En las siguientes imágenes pueden observarse los esquemas y configuración de las estructuras propuestas.

<p style="text-align: center;"><u>EP1</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Tratamiento superficial • Base granular 	<p style="text-align: center;"><u>EP2</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Tratamiento superficial • Base granular • Subbase granular 
<p style="text-align: center;"><u>EP3</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Tratamiento superficial • Base estabilizada con cemento • Subbase granular 	<p style="text-align: center;"><u>EP4</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Tratamiento superficial • Base granular • Subbase granular 

EP5

- Tratamiento superficial
- Base estabilizada con cemento
- Subbase granular



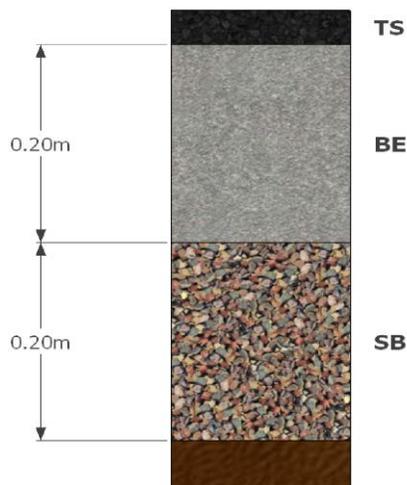
EP6

- Tratamiento superficial
- Base granular
- Subbase granular



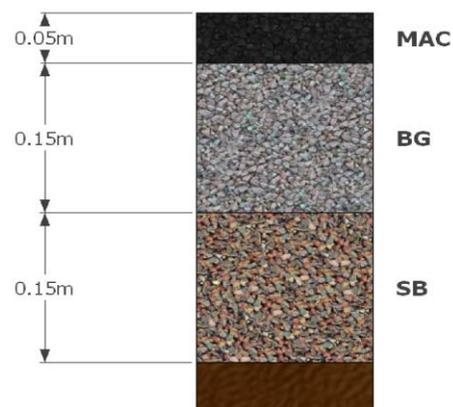
EP7

- Tratamiento superficial
- Base estabilizada con cemento
- Subbase granular

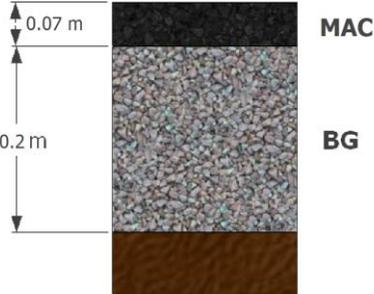
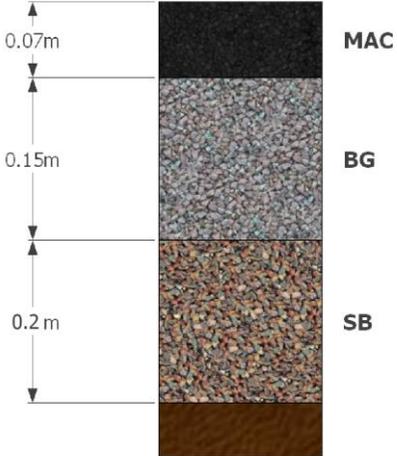


EP8

- Mezcla asfáltica en caliente
- Base granular
- Subbase granular



<p style="text-align: center;"><u>EP9</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Mezcla asfáltica en caliente • Base granular • Subbase granular <p>0.05m MAC</p> <p>0.20m BG</p> <p>0.20m SB</p>	<p style="text-align: center;"><u>EP10</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Mezcla asfáltica en caliente • Base estabilizada con cemento • Subbase granular <p>0.05m MAC</p> <p>0.15m BE</p> <p>0.15m SB</p>
<p style="text-align: center;"><u>EP11</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Tratamiento superficial triple • Base estabilizada con cemento • Subbase granular <p>0.05m MAC</p> <p>0.20m BE</p> <p>0.20m SB</p>	<p style="text-align: center;"><u>EP12</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Mezcla asfáltica en caliente • Base granular • Subbase granular <p>0.07m MAC</p> <p>0.15m BG</p> <p>0.15m SB</p>

<p style="text-align: center;"><u>EP13</u></p> <ul style="list-style-type: none">• Mezcla asfáltica en caliente• Base granular  <p style="text-align: right;">TS BG</p>	<p style="text-align: center;"><u>EP14</u></p> <ul style="list-style-type: none">• Mezcla asfáltica en caliente• Base granular  <p style="text-align: right;">MAC BG</p>
<p style="text-align: center;"><u>EP15</u></p> <ul style="list-style-type: none">• Mezcla asfáltica en caliente• Base granular• Subbase granular  <p style="text-align: right;">MAC BG SB</p>	

4 RESULTADOS

Con base en los resultados obtenidos de los análisis mecanístico-empíricos efectuados para cada una de las estructuras analizadas (estos se muestran en el Anexo 3 del presente documento), se seleccionaron un total de ocho estructuras finales para la guía simplificada de diseño de pavimentos en vías de bajo volumen. Se tomó en cuenta que las estructuras presenten un desempeño óptimo para resistir el daño por fatiga y por deformación permanente, considerando: condiciones dadas de periodo de diseño, resistencia del suelo, cantidad de vehículos diarios (TPD) y porcentaje de vehículos pesados.

Las estructuras finales se muestran en la Tabla 16, dentro de las estructuras seleccionadas se incluyen opciones con tratamiento superficial, carpeta asfáltica y base granular, y carpeta asfáltica y base estabilizada con cemento. Es importante mencionar que, para simplificar el reconocimiento de las distintas estructuras finales propuestas en la guía, se decidió acoger una nomenclatura para distinguir de forma sencilla si la estructura lleva un tratamiento superficial (ETS), si la estructura presenta base granular (EBG) o si la estructura posee una base estabilizada (EBE).

Tabla 16. Resumen de las estructuras seleccionadas para la guía de diseño de bajo volumen

Estructura seleccionada	Nomenclatura	Espesor de las capas (cm)				Tratamiento Superficial
		Mezclas Asfáltica	Base Granular	Base Estabilizada	Subbase	
EP13	ETS-1	-	20	-	-	SI
EP7	ETS-2	-	-	20	20	SI
EP14	EBG-1	7	20	-	-	NO
EP8	EBG-2	5	15	-	15	NO
EP9	EBG-3	5	20	-	20	NO
EP15	EBG-4	7	15		20	NO
EP10	EBE-1	5	-	15	15	NO
EP11	EBE-2	5	-	20	20	NO

Tal como se ha mencionado, el proceso de diseño con esta guía involucra cuatro variables: periodo de diseño, CBR del suelo, tráfico promedio diario (TPD) y porcentaje de vehículos pesados. Dependiendo del valor de dichas variables, se pueden seleccionar una o varias

estructuras que cumplen con los parámetros de desempeño por fatiga y deformación permanente, es decir, para cada combinación de variables se tiene una o más estructuras asociadas.

Debido a la naturaleza de las estructuras analizadas para algunas combinaciones de período de diseño (ANi), TPD (Ti), porcentaje de pesados (Pi) y CBR de la subrasante, puede darse el caso que cumpla más de una estructura, es por este motivo que la elección final del paquete estructural se debe ajustar a un análisis económico, disponibilidad de materiales, disponibilidad de equipo y maquinaria adecuados, conocimiento de la práctica constructiva o un plan de gestión de pavimentos.

Es importante mencionar que los tratamientos superficiales pueden ser tipo 2 o tipo 3. Lo anterior, depende del periodo de diseño seleccionado, de tal manera que, si se selecciona un periodo de diseño de 6 u 8 años se podría utilizar un tratamiento superficial tipo 2. Por otro lado, si el periodo de diseño es de 10 años, se recomienda utilizar un tratamiento superficial tipo 3. En este tipo de estructuras es posible reemplazar el tratamiento superficial por algún otro sello, técnicamente viable y que brinde el mismo grado de protección, impermeabilización y calidad en la superficie de ruedo durable el período de diseño.

En las siguientes tablas de asignación de paquetes estructurales, se muestran las estructuras óptimas a elegir para cada combinación de variables (los valores de P_i y T_i son los mismos que se muestran en las secciones 3.2.1 y 3.2.3 respectivamente):

Tabla 17. Resumen de estructuras recomendadas; periodo de diseño de 6 años y módulo resiliente de 4500 psi (CBR = 3%)

Período de diseño = 6 Años_ MR 4500 psi						
Tránsito promedio diario						
Pesados	T ₅₀₀	T ₈₀₀	T ₁₂₀₀	T ₂₀₀₀	T ₃₅₀₀	
P _{3%}	EP8, EP14	EP8, EP14	EP8	EP11, EP15	EP11	
P _{4%}	EP8, EP14	EP8	EP9	EP11	EP11	
P _{5%}	EP8, EP14	EP8	EP11, EP15	EP11	EP11	
P _{7%}	EP8	EP11, EP15	EP11	EP11	EP11	
P _{8,5%}	EP8	EP11	EP11	EP11	EP11	
P _{14%}	EP11	EP11	EP11	EP11		
P _{15%}	EP11	EP11	EP11	EP11		



Tabla 18. Resumen de estructuras recomendadas; periodo de diseño de 6 años y módulo resiliente de 6000 psi (CBR = 4%)

Período de diseño = 6 Años_ MR 6000 psi						
Tránsito promedio diario						
Pesados	T ₅₀₀	T ₈₀₀	T ₁₂₀₀	T ₂₀₀₀	T ₃₅₀₀	T _{>3500}
P _{3%}	EP8, EP14	EP8, EP14	EP8	EP11, EP15	EP11	EP11
P _{4%}	EP8, EP14	EP8, EP14	EP8	EP11, EP15	EP11	EP11
P _{5%}	EP8, EP14	EP8	EP11, EP15	EP11	EP11	EP11
P _{7%}	EP8	EP11, EP15	EP11	EP11	EP11	EP11
P _{8,5%}	EP8	EP11, EP15	EP11	EP11	EP11	
P _{14%}	EP11, EP15	EP11	EP11	EP11		
P _{15%}	EP11, EP15	EP11	EP11	EP11		

Tabla 19. Resumen de estructuras recomendadas; periodo de diseño de 6 años y módulo resiliente de 9000 psi (CBR = 6%)

Período de diseño = 6 Años_ MR 9000 psi						
Tránsito promedio diario						
Pesados	T ₅₀₀	T ₈₀₀	T ₁₂₀₀	T ₂₀₀₀	T ₃₅₀₀	T _{>3500}
P _{3%}	EP13	EP13	EP13	EP15, EP11	EP11	EP11
P _{4%}	EP13	EP13	EP13	EP15, EP11	EP11	EP11
P _{5%}	EP13	EP13	EP15, EP11	EP11	EP11	EP11
P _{7%}	EP13	EP15, EP11	EP15, EP11	EP11	EP11	EP11
P _{8,5%}	EP13	EP15, EP11	EP11	EP11	EP11	
P _{14%}	EP15, EP11	EP11	EP11	EP11		
P _{15%}	EP15, EP11	EP11	EP11	EP11		

Tabla 20. Resumen de estructuras recomendadas; periodo de diseño de 6 años y módulo resiliente de 12500 psi (CBR = 9%)

Período de diseño = 6 Años_ MR 12500 psi						
Tránsito promedio diario						
Pesados	T ₅₀₀	T ₈₀₀	T ₁₂₀₀	T ₂₀₀₀	T ₃₅₀₀	T _{>3500}
P _{3%}	EP13	EP13	EP13	EP8	EP15, EP7, EP11	EP7, EP11
P _{4%}	EP13	EP13	EP13	EP8	EP7, EP11	EP7, EP11
P _{5%}	EP13	EP13	EP8	EP15, EP7, EP11	EP7, EP11	EP11
P _{7%}	EP13	EP8	EP15, EP7, EP11	EP7, EP11	EP11	EP11
P _{8,5%}	EP13	EP8	EP15, EP7, EP11	EP7, EP11	EP11	



Período de diseño = 6 Años_MR 12500 psi						
Tránsito promedio diario						
P _{14%}	EP8	EP15, EP7, EP11	EP7, EP11	EP11		
P _{15%}	EP8	EP7, EP11	EP7, EP11	EP11		

Tabla 21. Resumen de estructuras recomendadas; periodo de diseño de 6 años y módulo resiliente de 14200 psi (CBR = 11%)

Período de diseño = 6 Años_MR 14200 psi						
Tránsito promedio diario						
Pesados	T ₅₀₀	T ₈₀₀	T ₁₂₀₀	T ₂₀₀₀	T ₃₅₀₀	T _{>3500}
P _{3%}	EP13	EP13	EP13	EP8	EP15, EP10	EP7, EP11
P _{4%}	EP13	EP13	EP13	EP8	EP7, EP11	EP7, EP11
P _{5%}	EP13	EP13	EP8	EP15, EP10	EP7, EP11	EP11
P _{7%}	EP13	EP8	EP8	EP7, EP11	EP11	EP11
P _{8,5%}	EP13	EP8	EP15, EP10	EP7, EP11	EP11	
P _{14%}	EP8	EP15, EP10	EP7, EP11	EP11		
P _{15%}	EP8	EP15, EP11	EP7, EP11	EP11		

Tabla 22. Resumen de estructuras recomendadas; periodo de diseño de 8 años y módulo resiliente de 4500 psi (CBR = 3%)

Período de diseño = 8 Años_MR 4500 psi						
Tránsito promedio diario						
Pesados	T ₅₀₀	T ₈₀₀	T ₁₂₀₀	T ₂₀₀₀	T ₃₅₀₀	T _{>3500}
P _{3%}	EP8, EP14	EP8	EP9, EP15	EP11	EP11	EP11
P _{4%}	EP8	EP9, EP15	EP11	EP11	EP11	EP11
P _{5%}	EP8	EP15, EP11	EP11	EP11	EP11	EP11
P _{7%}	EP9, EP15	EP11	EP11	EP11	EP11	
P _{8,5%}	EP15, EP11	EP11	EP11	EP11		
P _{14%}	EP11	EP11	EP11			
P _{15%}	EP11	EP11	EP11			

Tabla 23. Resumen de estructuras recomendadas; periodo de diseño de 8 años y módulo resiliente de 6000 psi (CBR = 4%)

Período de diseño = 8 Años_MR 6000 psi						
Tránsito promedio diario						
Pesados	T ₅₀₀	T ₈₀₀	T ₁₂₀₀	T ₂₀₀₀	T ₃₅₀₀	T _{>3500}
P _{3%}	EP8, EP14	EP8	EP8	EP11	EP11	EP11



Período de diseño = 8 Años_ MR 6000 psi						
	Tránsito promedio diario					
P _{4%}	EP8, EP14	EP8	EP15, EP11	EP11	EP11	EP11
P _{5%}	EP8	EP15, EP11	EP11	EP11	EP11	EP11
P _{7%}	EP8	EP15, EP11	EP11	EP11	EP11	
P _{8,5%}	EP15, EP11	EP11	EP11	EP11		
P _{14%}	EP11	EP11	EP11			
P _{15%}	EP11	EP11	EP11			

Tabla 24. Resumen de estructuras recomendadas; periodo de diseño de 8 años y módulo resiliente de 9000 psi (CBR = 6%)

Período de diseño = 8 Años_ MR 9000 psi						
	Tránsito promedio diario					
Pesados	T ₅₀₀	T ₈₀₀	T ₁₂₀₀	T ₂₀₀₀	T ₃₅₀₀	T _{>3500}
P _{3%}	EP13	EP13	EP13	EP15, EP11	EP11	EP11
P _{4%}	EP13	EP13	EP15, EP11	EP11	EP11	EP11
P _{5%}	EP13	EP8	EP15, EP11	EP11	EP11	EP11
P _{7%}	EP13	EP15, EP11	EP11	EP11	EP11	
P _{8,5%}	EP15, EP11	EP15, EP11	EP11	EP11		
P _{14%}	EP15, EP11	EP11	EP11			
P _{15%}	EP11	EP11	EP11			

Tabla 25. Resumen de estructuras recomendadas; periodo de diseño de 8 años y módulo resiliente de 12500 psi (CBR = 9%)

Período de diseño = 8 Años_ MR 12500 psi						
	Tránsito promedio diario					
Pesados	T ₅₀₀	T ₈₀₀	T ₁₂₀₀	T ₂₀₀₀	T ₃₅₀₀	T _{>3500}
P _{3%}	EP13	EP13	EP13	EP15, EP11	EP7, EP11	EP7, EP11
P _{4%}	EP13	EP13	EP8	EP15, EP7, EP11	EP7, EP11	EP11-1
P _{5%}	EP13	EP8	EP15, EP11	EP7, EP11	EP11	EP11
P _{7%}	EP13	EP8	EP15, EP7, EP11	EP7, EP11	EP11	
P _{8,5%}	EP8	EP15, EP11	EP7, EP11	EP11		
P _{14%}	EP15, EP11	EP7, EP11	EP11			
P _{15%}	EP15, EP7, EP11	EP7, EP11	EP11			



Tabla 26. Resumen de estructuras recomendadas; periodo de diseño de 8 años y módulo resiliente de 14200 psi (CBR = 11%)

Período de diseño = 8 Años_MR 14200 psi						
Tránsito promedio diario						
Pesados	T ₅₀₀	T ₈₀₀	T ₁₂₀₀	T ₂₀₀₀	T ₃₅₀₀	T _{>3500}
P _{3%}	EP13	EP13	EP13	EP8	EP7, EP11	EP7, EP11
P _{4%}	EP13	EP13	EP8	EP15, EP10	EP7, EP11	EP11-1
P _{5%}	EP13	EP8	EP8	EP7, EP11	EP11	EP11
P _{7%}	EP13	EP8	EP15, EP10	EP7, EP11	EP11	
P _{8,5%}	EP8	EP15, EP10	EP7, EP11	EP11		
P _{14%}	EP15, EP10	EP7, EP11	EP11			
P _{15%}	EP15, EP10	EP7, EP11	EP11			

Tabla 27. Resumen de estructuras recomendadas; periodo de diseño de 10 años y módulo resiliente de 4500 psi (CBR = 3%)

Período de diseño = 10 Años_MR 4500 psi						
Tránsito promedio diario						
Pesados	T ₅₀₀	T ₈₀₀	T ₁₂₀₀	T ₂₀₀₀	T ₃₅₀₀	T _{>3500}
P _{3%}	EP8	EP9	EP15, EP11	EP11	EP11	EP11
P _{4%}	EP8	EP15, EP11	EP11	EP11	EP11	EP11
P _{5%}	EP9	EP11	EP11	EP11	EP11	
P _{7%}	EP15, EP11	EP11	EP11	EP11		
P _{8,5%}	EP11	EP11	EP11	EP11		
P _{14%}	EP11	EP11	EP11			
P _{15%}	EP11	EP11	EP11			

Tabla 28. Resumen de estructuras recomendadas; periodo de diseño de 10 años y módulo resiliente de 6000 psi (CBR = 4%)

Período de diseño = 10 Años_MR 6000 psi						
Tránsito promedio diario						
Pesados	T ₅₀₀	T ₈₀₀	T ₁₂₀₀	T ₂₀₀₀	T ₃₅₀₀	T _{>3500}
P _{3%}	EP8, EP14	EP8	EP15, EP11	EP11	EP11	EP11
P _{4%}	EP8	EP15, EP11	EP11	EP11	EP11	EP11
P _{5%}	EP8	EP15, EP11	EP11	EP11	EP11	
P _{7%}	EP15, EP11	EP11	EP11	EP11		
P _{8,5%}	EP15, EP11	EP11	EP11	EP11		
P _{14%}	EP11	EP11	EP11			



Período de diseño = 10 Años_MR 6000 psi						
Tránsito promedio diario						
P _{15%}	EP11	EP11	EP11			

Tabla 29. Resumen de estructuras recomendadas; periodo de diseño de 10 años y módulo resiliente de 9000 psi (CBR = 6%)

Período de diseño = 10 Años_MR 9000 psi						
Tránsito promedio diario						
Pesados	T ₅₀₀	T ₈₀₀	T ₁₂₀₀	T ₂₀₀₀	T ₃₅₀₀	T _{>3500}
P _{3%}	EP13	EP13	EP15, EP11	EP11	EP11	EP11
P _{4%}	EP13	EP8	EP15, EP11	EP11	EP11	EP11
P _{5%}	EP13	EP15, EP11	EP11	EP11	EP11	
P _{7%}	EP15, EP11	EP11	EP11	EP11		
P _{8,5%}	EP15, EP11	EP11	EP11	EP11		
P _{14%}	EP11	EP11	EP11			
P _{15%}	EP11	EP11	EP11			

Tabla 30. Resumen de estructuras recomendadas; periodo de diseño de 10 años y módulo resiliente de 12500 psi (CBR = 9%)

Período de diseño = 10 Años_MR 12500 psi						
Tránsito promedio diario						
Pesados	T ₅₀₀	T ₈₀₀	T ₁₂₀₀	T ₂₀₀₀	T ₃₅₀₀	T _{>3500}
P _{3%}	EP13	EP13	EP8	EP15, EP7, EP11	EP7, EP11	EP11
P _{4%}	EP13	EP8	EP15, EP11	EP7, EP11	EP11	EP11
P _{5%}	EP13	EP8	EP15, EP7, EP11	EP7, EP11	EP11	
P _{7%}	EP8	EP15, EP7, EP11	EP7, EP11	EP11		
P _{8,5%}	EP8	EP7, EP11	EP7, EP11	EP11		
P _{14%}	EP7, EP11	EP7, EP11	EP11			
P _{15%}	EP7, EP11	EP7, EP11	EP11			

Tabla 31. Resumen de estructuras recomendadas; periodo de diseño de 10 años y módulo resiliente de 14200 psi (CBR = 11%)

Período de diseño = 10 Años_MR 14200 psi						
Tránsito promedio diario						
Pesados	T ₅₀₀	T ₈₀₀	T ₁₂₀₀	T ₂₀₀₀	T ₃₅₀₀	T _{>3500}
P _{3%}	EP13	EP13	EP8	EP15, EP 10	EP7, EP11	EP11
P _{4%}	EP13	EP8	EP8	EP7, EP11	EP11	EP11



Período de diseño = 10 Años_MR 14200 psi						
Tránsito promedio diario						
P _{5%}	EP13	EP8	EP15, EP 10	EP7, EP11	EP11	
P _{7%}	EP8	EP15, EP 10	EP7, EP11	EP11		
P _{8,5%}	EP8	EP15, EP 10	EP7, EP11	EP11		
P _{14%}	EP15, EP11	EP7, EP11	EP11			
P _{15%}	EP7, EP11	EP7, EP11	EP11			

Tabla 32. Resumen de estructuras recomendadas; periodo de diseño de 12 años y módulo resiliente de 4500 psi (CBR = 3%)

Período de diseño = 12 Años_MR 4500 psi						
Tránsito promedio diario						
Pesados	T ₅₀₀	T ₈₀₀	T ₁₂₀₀	T ₂₀₀₀	T ₃₅₀₀	T _{>3500}
P _{3%}	EP8	EP15, EP11	EP11	EP11	EP11	EP11
P _{4%}	EP9	EP11	EP11	EP11	EP11	
P _{5%}	EP15, EP11	EP11	EP11	EP11		
P _{7%}	EP11	EP11	EP11	EP11		
P _{8,5%}	EP11	EP11	EP11			
P _{14%}	EP11	EP11				
P _{15%}	EP11	EP11				

Tabla 33. Resumen de estructuras recomendadas; periodo de diseño de 12 años y módulo resiliente de 6000 psi (CBR = 4%)

Período de diseño = 12 Años_MR 6000 psi						
Tránsito promedio diario						
Pesados	T ₅₀₀	T ₈₀₀	T ₁₂₀₀	T ₂₀₀₀	T ₃₅₀₀	T _{>3500}
P _{3%}	EP8	EP15, EP11	EP15, EP11	EP11	EP11	EP11
P _{4%}	EP8	EP15, EP11	EP11	EP11	EP11	
P _{5%}	EP15, EP11	EP11	EP11	EP11		
P _{7%}	EP15, EP11	EP11	EP11	EP11		
P _{8,5%}	EP11	EP11	EP11			
P _{14%}	EP11	EP11				
P _{15%}	EP11	EP11				



Tabla 34. Resumen de estructuras recomendadas; periodo de diseño de 12 años y módulo resiliente de 9000 psi (CBR = 6%)

Período de diseño = 12 Años_MR 9000 psi						
Tránsito promedio diario						
Pesados	T ₅₀₀	T ₈₀₀	T ₁₂₀₀	T ₂₀₀₀	T ₃₅₀₀	T _{>3500}
P _{3%}	EP8, EP14	EP8	EP15, EP11	EP11	EP11	EP11
P _{4%}	EP8	EP15, EP11	EP11	EP11	EP11	
P _{5%}	EP8	EP15, EP11	EP11	EP11		
P _{7%}	EP15, EP11	EP11	EP11	EP11		
P _{8,5%}	EP15, EP11	EP11	EP11			
P _{14%}	EP11	EP11				
P _{15%}	EP11	EP11				

Tabla 35. Resumen de estructuras recomendadas; periodo de diseño de 12 años y módulo resiliente de 12500 psi (CBR = 9%)

Período de diseño = 12 Años_MR 12500 psi						
Tránsito promedio diario						
Pesados	T ₅₀₀	T ₈₀₀	T ₁₂₀₀	T ₂₀₀₀	T ₃₅₀₀	T _{>3500}
P _{3%}	EP8, EP14	EP8, EP14	EP8	EP11	EP11	EP11
P _{4%}	EP8, EP14	EP8	EP15, EP11	EP11	EP11	
P _{5%}	EP8, EP14	EP15, EP11	EP11	EP11		
P _{7%}	EP8	EP11	EP11	EP11		
P _{8,5%}	EP15, EP11	EP11	EP11			
P _{14%}	EP11	EP11				
P _{15%}	EP11	EP11				

Tabla 36. Resumen de estructuras recomendadas; periodo de diseño de 12 años y módulo resiliente de 14200 psi (CBR = 11%)

Período de diseño = 12 Años_MR 14200 psi						
Tránsito promedio diario						
Pesados	T ₅₀₀	T ₈₀₀	T ₁₂₀₀	T ₂₀₀₀	T ₃₅₀₀	T _{>3500}
P _{3%}	EP8, EP14	EP8, EP14	EP8	EP11	EP11	EP11
P _{4%}	EP8, EP14	EP8	EP15, EP 10	EP11	EP11	
P _{5%}	EP8, EP14	EP15, EP 10	EP11	EP11		
P _{7%}	EP8	EP15, EP11	EP11	EP11		
P _{8,5%}	EP15, EP 10	EP11	EP11			
P _{14%}	EP11	EP11				



Período de diseño = 12 Años_ MR 14200 psi					
	Tránsito promedio diario				
P _{15%}	EP11	EP11			

5 CONCLUSIONES

El presente informe resume la propuesta de estructuras que forma parte del catálogo de diseño simplificado de pavimento, optimizado el rango en el que cada una de las estructuras propuestas es funcional utilizando criterios de diseño de mecánico-empírico.

Se revisó un total de 15 estructuras diferentes y cada una de ellas se modeló para los 5 niveles de subrasante, utilizando conceptos avanzados de la mecánica de materiales como, módulo dinámico y verificación de módulos resilientes por estado de esfuerzos para materiales costarricenses, antes de verificar su desempeño.

Las verificaciones por desempeño realizadas, garantiza que las estructuras propuestas funcionan para una categoría de ESALs y cada una de ellas fue asignada según su robustez y rango adecuado de trabajo.

Los resultados expuestos en este informe es producto de 364 diseños por AASHTO 1993, 375 modelaciones para verificación y modelación de módulos y 75 modelaciones para predicción de desempeño, por lo que se provee de un amplio espectro de verificación para recomendar las 8 estructuras finales.

Se determinó que todas las configuraciones de carga pueden ser cubiertas por 8 estructuras, las cuales brindaron el mejor desempeño para su respectivo rango de trabajo sobre las 15 revisadas, esto para todos los niveles de subrasante analizados.

El presente trabajo se encuentra enfocado a brindar una solución de diseño, simple, eficiente y de rápido manejo para rutas de bajo volumen, que para el alcance del presente trabajo se definió en 1,5 millones de ejes equivalentes en el documento, "Propuesta para una guía de diseño de bajo volumen para pavimentos flexibles y semirrígidos", Informe LM-PI-GM-INF-05-16, (Arias 2017).

Se prevee que este catálogo vaya acompañado de una herramienta de cómputo para simplificar su uso, llamada “Herramienta para diseño simplificado”, que permite guiar al usuario a través del proceso de selección, capturas de esta herramienta se puede observar en el anexo 5. Además, se prevee que en futuras actualizaciones se incorporen más estructuras según la retroalimentación obtenida.

6 BIBLIOGRAFÍA

- AASHTO. (1993). *Guide for Design of Pavement Structures*. Washington, DC: AASHTO.
- Arias, E. (2012). *Evaluación de la Red Vial Cantonal de Cañas: Diagnóstico y Tramos Homogéneos de la Red Vial Cantonal de Cañas*. San Pedro: LanammeUCR.
- Arias, E. E. (2017). *Propuesta para una guía de diseño de bajo volumen para pavimentos flexibles y semirrígidos*. San Pedro: LanammeUCR.
- Camacho, E. (2009). *Trabajo Final de Graduación: Catálogo de pavimentos asfálticos para rutas nuevas de bajo volumen*. Universidad de Costa Rica. San Pedro.
- Cook, J. R., Petts, R. C., & Rolt, J. (2013). *Low volume rural road surfacing and pavements, a guide to good practice*. Londres: OTB Engineering UK LLP .
- Department of Transport Republic of Sudafrica. (1996). *TRH4: Structural Design of Flexible Pavement for Interurban and Rural Roads*. Pretoria, Sudáfrica.
- Dirección de Viabilidad del Ministerio de Obras Públicas de Chile. (2002). *Guía de diseño estructural de pavimentos para caminos de bajo volumen de tránsito*. Chile.
- Keller, G., & Sherar, J. (2008). *Ingeniería de caminos rurales, guía de campo para las mejores prácticas de gestión de caminos*. México: Secretaria de Comunicaciones y Transportes .
- LanammeUCR. (2016). *Fotografía contador de Radar*. Obtenido de Base de datos UGM LanammeUCR
- Meyer, W., & Reichert, J. (1990). *Surface Characteristics of Roadways: International Research and Technologies, ASTM STP 1031*. Philadelphia,PA: American Society for Testing and Materials.

Ministerio de Transporte y Comunicaciones. (2008). *Manual para el diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito*. Lima, Perú.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones de Perú. (2008). *Manual de diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito*. Lima: Tarea Asociación Gráfica Educativa.

MOPT. (2010). *Manual de especificaciones generales para la construcción de carreteras, caminos y puentes CR-2010*. Republica de Costa Rica.

National Cooperative Highway Research Program. (2004). *Guide for Mechanistic-Empirical Design of New and Rehabilitated Pavement Structures*. Illinois: NCHPR.

National Cooperative Highway Research Program. (Enero de 2004). Research Results Digest 285. Laboratory Determination of Resilient Modulus for Flexible Pavement Design.

Texas Department of Transportation. (2012). *Traffic Recorder Instruction Manual*. Austin: Texas Department of Transportation.

Valenzuela, C. J. (2016). *Compendio de ensayos de caracterización de materiales para diseño de pavimentos*. Costa Rica: Universidad de Costa Rica.



7 ANEXO 1

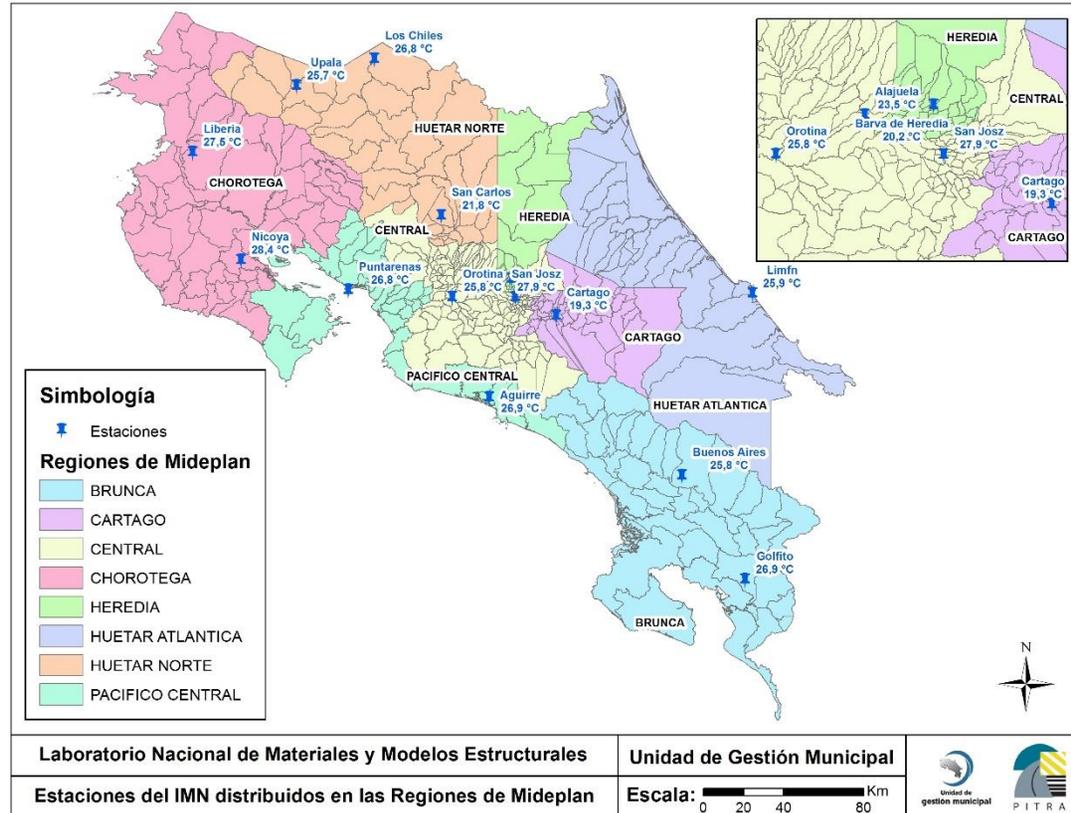


Figura A1.1. Mapa ubicación de estaciones meteorológicas consideradas.



Tabla A1.1. Umbrales de diseño para agrietamiento por fatiga en mezclas asfálticas.

Ejes equivalente período de diseño	Porcentaje de área agrietada antes de la falla
< 3 millones	50%
3-15 millones	50%
> 15 millones	20%

Daño por fatiga mezcla asfáltica (MEPDG)

$$N_f = 0,00432xCxk'_1 \left(\frac{1}{\varepsilon_t}\right)^{3,9492} \left(\frac{1}{E^*}\right)^{1,281}$$

$$C = 10^M$$

$$M = 4,84 \left[\frac{V_b}{V_a + V_b} - 0,69 \right]$$

Donde:

N_f : Cantidad máxima de repeticiones a fatiga para la falla (ESALS).

E^* : Módulo dinámico de la mezcla asfáltica (psi).

ε_t : Deformación por tensión en la fibra inferior de la capa asfáltica (in/in).

Informe LM-PI-UMP-103-R1	Fecha de emisión: Octubre, 2019	Página 69 de 299
--------------------------	---------------------------------	------------------

V_b : contenido de asfalto efectivo (%).

V_a : porcentaje de vacíos (%).

k'_1 : Parámetro de corrección según tipo de grieta.

h_{ac} : Espesor de la capa asfáltica (in).

Para agrietamiento de arriba-abajo:

$$k'_1 = \frac{1}{0,001 + \frac{12}{1+e^{(15,676-2,8186 \cdot h_{ac})}}}$$

Para estimar el daño por fatiga se utiliza la siguiente ecuación:

$$D = \sum_{i=1}^T \frac{n_i}{N_i}$$

Donde:

D : Daño.

T : Número total de periodos.

n_i : Tráfico actual del periodo i .

N_i : Tráfico permitido bajo las condiciones que prevalecen del periodo i .

$$FC = \left(\frac{6000}{1 + e^{(C_1 * C'_1 + C'_2 * C''_2 * \log(D))}} \right) * \left(\frac{1}{60} \right)$$

Donde:

FC: Agrietamiento de abajo hacia arriba por fatiga, porcentaje por área de carril.

D: Daño por fatiga de abajo hacia arriba, en decimal.

C_1 : 1,0

C'_1 : $-2 * C'_2$

C'_2 : 1,0

C''_2 : $-2,40874 - 39,748 * (1 + h_{AC})^{-2,856}$

Tabla A1.2. Umbrales para deformación máxima.

Ejes equivalente período de diseño	Ahuellamiento permisible máximo
< 3 millones	12,5 mm
3-15 millones	9,0 mm
> 15 millones	9,0 mm

Deformación permanente de la base y subbase granular (MEPDG)

Los modelos siguientes permiten obtener la deformación permanente en bases y subbases granulares.

$$\delta_a = \beta_1 * \left(\frac{\varepsilon_o}{\varepsilon_r} \right) e^{-\left[\frac{p}{N} \right]^\beta} \varepsilon_v h$$

Donde:

δ_a : Deformación permanente para la capa/subcapa, in.

N : Número de repeticiones de carga.

$$\log \beta = -0,61119 - 0,017638 * W_c$$

$$\left(\frac{\varepsilon_o}{\varepsilon_r} \right) = \frac{(e^{(\rho)^\beta} * 0,15) + (e^{(\rho/10^9)^\beta} * 20)}{2}$$

$$\rho = 10^9 \left[\frac{\ln \left[\frac{(0,15)}{20} \right]}{1 - (10^9)^\beta} \right]^{\frac{1}{\beta}}$$

$$W_c = 51,712 \left[\left(\frac{E_r}{2555} \right)^{\frac{1}{0,64}} \right]^{-0,3586 * GWT^{0,1192}}$$

W_c : Contenido de agua (%).

E_r : Módulo resiliente de la capa/subcapa, psi.

GTW : Profundidad del nivel freático, pies.

ϵ_o , β , ρ = Propiedades del material.

ϵ_r = Deformación elástica utilizada en la prueba de laboratorio para obtener las propiedades del material (ϵ_o , β , ρ).

ϵ_v = Deformación elástica promedio vertical en la capa/subcapa.

h = Espesor de la capa/subcapa (in).

β_1 = Factor de calibración, 1,673 para bases/ subbases granulares y 1,35 para la subrasante.

Deformación permanente de la subrasante (MEPDG)

Los modelos siguientes permiten obtener la deformación permanente en la subrasante.

$$\epsilon_p(z) = (\epsilon_{p,z=0}) e^{-kz}$$

Donde:

$\epsilon_p(z)$: Deformación vertical plástica a la profundidad z (medida desde la superficie de la subrasante).

$\epsilon_{p,z=0}$: Deformación vertical plástica en la superficie de la subrasante.

z : Profundidad medida desde la superficie de la subrasante.

k : Constante obtenida de la regresión.

Para calcular la deformación de la subrasante se realizan los siguientes pasos:

- i) Se calcula la respuesta del pavimento en la superficie de la subrasante y a 6 in de profundidad en la subrasante.
- ii) Utilizando las ecuaciones descritas para materiales granulares, se calcula $\left(\frac{\epsilon_o}{\epsilon_r}\right)$, β y ρ para $z=0$ y $z= 6$ in.



iii) Utilizando los valores obtenidos en el paso anterior, se calcula la deformación plástica para cada profundidad:

$$\varepsilon_p(z) = \beta_1 * \left(\frac{\varepsilon_o}{\varepsilon_r}\right) e^{-\left[\frac{z}{L_N}\right]^\beta} \varepsilon_v$$

iv) Calcula el parámetro k :

$$k = \frac{1}{6} \ln \left(\frac{\varepsilon_{p,z=0}}{\varepsilon_{p,z=6}} \right)$$

v) La deformación permanente total se calcula como:

$$d\delta = \varepsilon_p(z) dz$$

$$\delta = \int_0^{h_{roca}} \varepsilon_p(z) dz$$

$$\delta = \varepsilon_{p,z=0} \int_0^{h_{roca}} e^{-kz} dz = \left(\frac{1 - e^{-kh_{roca}}}{k} \right) * \varepsilon_{p,z=0}$$

Donde:

δ : Deformación plástica total de la subrasante, in.

h_{roca} : Profundidad de la capa rocosa, pies ($z=0$ representa la superficie de la subrasante).

Deformación permanente de mezcla asfáltica (MEPDG):

$$\frac{\varepsilon_p}{\varepsilon_r} = 10^{-3,4488T^{1,5606} N^{0,479244}}$$

$$PD = \sum_{i=1}^{ncapas} \varepsilon_p^i * k_1^i$$

Donde:

ε_p = Deformación plástica acumulada a N repeticiones de carga (in/in).

ε_r = Deformación resilente (in/in).

T = Temperatura de la mezcla (°F).

N = Número de repeticiones de carga.

PD : Deformación permanente total de la capa asfáltica.

k_1 : Parámetro de profundidad, calculado por:

$$k_1 = (C_1 + C_2 * d) * 0,328196^d$$

$$C_1 = -0,1039 * h_{ac}^2 + 2,4868 * h_{ac} - 17,342$$

$$C_2 = 0,0172 * h_{ac}^2 - 1,7331 * h_{ac} + 27,428$$

Donde:

h_{ac} : Espesor total de la capa asfáltica (in).

d : Profundidad del punto analizado (in).

Modelo de fatiga en bases estabilizadas con cemento

En el caso de los pavimentos semirrígidos, el desempeño se rige por el agrietamiento por fatiga en la capa de base estabilizada y no por el agrietamiento en la capa de mezcla asfáltica.

Portland Cement Association (PCA)

$$N_f = \left(\frac{\beta_{c4}}{\sigma_t / M_{rup}} \right)^{\beta_{c3} * 20}$$

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).
- MR : Módulo de ruptura a los 28 días (resistencia a flexión) $\beta_{c3, c4}$: 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.

Tabla A1.3. Modelos constitutivos para materiales de Base utilizados en la fase de verificación de módulos.

Base		
Modelo	Fórmula	Condiciones
1	$Mr = 1059,8 * P_a * \left(\frac{\theta}{P_a} \right)^{0,482} * \left(\frac{\tau_{oct}}{P_a} + 1 \right)^{-0,049}$	Base - $W_{\text{óptima}}$: 6,41%

Informe LM-PI-UMP-103-R1	Fecha de emisión: Octubre, 2019	Página 76 de 299
--------------------------	---------------------------------	------------------



Base		
Modelo	Fórmula	Condiciones
2	$Mr = 39930 * \theta^{0,308}$	Base - W_{óptima}: 6,00%
3	$Mr = 12272,4 * \theta^{0,482}$	Base - W_{óptima}: 6,41%

Tabla A1.3. Modelos constitutivos para materiales de Subbase utilizados en la fase de verificación de módulos.

Subbase		
Modelo	Fórmula	Condiciones
1	$Mr = 1633,5 * P_a * \left(\frac{\theta}{P_a}\right)^{0,316} * \left(\frac{\tau_{oct}}{P_a} + 1\right)^{-0,029}$	Subbase - W_{óptima}: 7,23%
2	$Mr = 65870,3 * \theta^{0,213}$	Relleno - W_{óptima}: 6,70%
3	$Mr = 36154,1 * \theta^{0,308}$	Subbase - W_{óptima}: 7,23%



8 ANEXO 2

Tabla A2.1. Datos de temperatura para Upala

Upala						
Temperatura Max. Aire		Temperatura Prom. Aire		Profundidad		Latitud
°C	°F	°C	°F	mm	in	° decimales
31,08	87,94	25,7	78,25	37,50	1,48	10,88
Modelos					Temperatura Pavimento	
					°C	°F
SHRP					46,35	115,43
LTPP					46,88	116,38
Instituto del Asfalto					33,52	92,33
Witczak					49,93	121,87
Promedio					47,72	117,89

Tabla A2.2. Datos de temperatura para Los Chiles

Los Chiles						
Temperatura Max. Aire		Temperatura Prom. Aire		Profundidad		Latitud
°C	°F	°C	°F	mm	in	° decimales
31,55	88,79	26,82	80,27	37,50	1,48	11,00
Modelos					Temperatura Pavimento	
					°C	°F
SHRP					47,39	117,31
LTPP					47,74	117,94
Instituto del Asfalto					34,84	94,72
Witczak					50,96	123,73
Promedio					48,70	119,66

Tabla A2.3. Datos de temperatura para San Carlos

San Carlos						
Temperatura Max. Aire		Temperatura Prom. Aire		Profundidad		Latitud
°C	°F	°C	°F	mm	in	° decimales
25,51	77,92	21,82	71,28	37,50	1,48	10,30
Modelos					Temperatura Pavimento	
					°C	°F
SHRP					42,73	108,91
LTPP					43,89	110,99
Instituto del Asfalto					28,94	84,08
Witczak					46,36	115,46
Promedio					44,33	111,79



Tabla A2.4. Datos de temperatura para Liberia

Liberia						
Temperatura Max. Aire		Temperatura Prom. Aire		Profundidad		Latitud
°C	°F	°C	°F	mm	in	° decimales
32,96	91,33	27,5375	81,5675	37,50	1,48	10,58
Modelos					Temperatura Pavimento	
					°C	°F
SHRP					48,02	118,44
LTPP					48,33	118,99
Instituto del Asfalto					35,70	96,25
Witczak					51,62	124,92
Promedio					49,32	120,78

Tabla A2.5. Datos de temperatura para Nicoya

Nicoya						
Temperatura Max. Aire		Temperatura Prom. Aire		Profundidad		Latitud
°C	°F	°C	°F	mm	in	° decimales
33,60	92,48	28,40	83,12	37,50	1,48	10,10
Modelos					Temperatura Pavimento	
					°C	°F
SHRP					48,77	119,79
LTPP					49,03	120,25
Instituto del Asfalto					36,72	98,09
Witczak					52,42	126,35
Promedio					50,07	122,13



Tabla A2.6. Datos de temperatura para Puntarenas

Puntarenas						
Temperatura Max. Aire		Temperatura Prom. Aire		Profundidad		Latitud
°C	°F	°C	°F	mm	in	° decimales
29,63	85,33	26,81	80,255	37,50	1,48	9,97
Modelos					Temperatura Pavimento	
					°C	°F
SHRP					47,29	117,12
LTPP					47,79	118,03
Instituto del Asfalto					34,83	94,70
Witczak					50,95	123,71
Promedio					48,68	119,62

Tabla A2.7. Datos de temperatura para San José

San José						
Temperatura Max. Aire		Temperatura Prom. Aire		Profundidad		Latitud
°C	°F	°C	°F	mm	in	° decimales
24,91	76,84	21,13	70,03	37,5	1,48	9,93
Modelos					Temperatura Pavimento	
					°C	°F
SHRP					42,05	107,70
LTPP					43,36	110,05
Instituto del Asfalto					28,11	82,60
Witczak					45,72	114,30
Promedio					43,71	110,68



Tabla A2.8. Datos de temperatura para Alajuela

Alajuela						
Temperatura Max. Aire		Temperatura Prom. Aire		Profundidad		Latitud
°C	°F	°C	°F	mm	in	° decimales
28,40	83,12	23,52	74,34	37,5	1,48	10,00
Modelos				Temperatura Pavimento		
				°C	°F	
SHRP				44,27	111,68	
LTPP				45,23	113,41	
Instituto del Asfalto				30,95	87,70	
Witczak				47,93	118,27	
Promedio				45,81	114,45	

Tabla A2.9. Datos de temperatura para Barva de Heredia

Barva de Heredia						
Temperatura Max. Aire		Temperatura Prom. Aire		Profundidad		Latitud
°C	°F	°C	°F	mm	in	° decimales
25,18	77,33	20,22	68,40	37,5	1,48	10,02
Modelos				Temperatura Pavimento		
				°C	°F	
SHRP				41,23	106,21	
LTPP				42,65	108,77	
Instituto del Asfalto				27,04	80,68	
Witczak				44,89	112,81	
Promedio				42,92	109,26	



Tabla A2.10. Datos de temperatura para Cartago

Cartago						
Temperatura Max. Aire		Temperatura Prom. Aire		Profundidad		Latitud
°C	°F	°C	°F	mm	in	° decimales
23,73	74,71	19,33	66,80	37,5	1,48	9,85
Modelos				Temperatura Pavimento		
				°C	°F	
SHRP				40,40	104,71	
LTPP				41,97	107,54	
Instituto del Asfalto				25,99	78,79	
Witczak				44,08	111,34	
Promedio				42,15	107,86	

Tabla A2.11. Datos de temperatura para Buenos Aires

Buenos Aires						
Temperatura Max. Aire		Temperatura Prom. Aire		Profundidad		Latitud
°C	°F	°C	°F	mm	in	° decimales
31,17	88,10	25,85	78,53	37,5	1,48	9,13
Modelos				Temperatura Pavimento		
				°C	°F	
SHRP				46,32	115,38	
LTPP				47,08	116,75	
Instituto del Asfalto				33,70	92,66	
Witczak				50,07	122,13	
Promedio				47,83	118,09	



Tabla A2.12. Datos de temperatura para Aguirre

Aguirre						
Temperatura Max. Aire		Temperatura Prom. Aire		Profundidad		Latitud
°C	°F	°C	°F	mm	in	° decimales
30,98	87,77	26,88	80,38	37,5	1,48	9,48
Modelos				Temperatura Pavimento		
				°C	°F	
SHRP				47,30	117,15	
LTPP				47,87	118,16	
Instituto del Asfalto				34,91	94,84	
Witczak				51,01	123,82	
Promedio				48,73	119,71	

Tabla A2.13. Datos de temperatura para Golfito

Golfito						
Temperatura Max. Aire		Temperatura Prom. Aire		Profundidad		Latitud
°C	°F	°C	°F	mm	in	° decimales
31,79	89,23	26,85	80,34	37,5	1,48	8,67
Modelos				Temperatura Pavimento		
				°C	°F	
SHRP				47,20	116,96	
LTPP				47,89	118,20	
Instituto del Asfalto				34,89	94,80	
Witczak				50,99	123,79	
Promedio				48,69	119,65	



Tabla A2.14. Datos de temperatura para Limón

Limón						
Temperatura Max. Aire		Temperatura Prom. Aire		Profundidad		Latitud
°C	°F	°C	°F	mm	in	° decimales
29,79	85,63	25,88	78,58	37,5	1,48	9,95
Modelos				Temperatura Pavimento		
				°C	°F	
SHRP				46,43	115,57	
LTPP				47,07	116,72	
Instituto del Asfalto				33,73	92,71	
Witczak				50,09	122,17	
Promedio				47,86	118,15	

Tabla A2.15. Datos de temperatura para Orotina

Orotina						
Temperatura Max. Aire		Temperatura Prom. Aire		Profundidad		Latitud
°C	°F	°C	°F	mm	in	° decimales
31,33	88,40	25,76	78,37	37,5	1,48	9,93
Modelos				Temperatura Pavimento		
				°C	°F	
SHRP				46,32	115,38	
LTPP				46,98	116,56	
Instituto del Asfalto				33,59	92,47	
Witczak				49,99	121,98	
Promedio				47,76	117,97	



9 ANEXO 3

9.1 Estructura de Pavimento 1 (EP1)

Tabla A3. 1 Cálculo de módulos EP1 CBR 1

	Capa	Mr (1 iteración)	Mr (1 iteración)	Invariante de esfuerzos (θ)	T_{oct}	Mr (modelo 1)	Mr (modelo 2)	Mr (modelo 3)	Mr (promedio modelos)	Mr (promedio modelos)	Criterio de aceptación
		(psi)	(MPa)			(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	
Iteración 1	Base	28000,000	193,053	175,803	43,153	127960,771	196230,979	148262,879	157484,876	157,485	-18,424
	Subbase	14000,000	96,527								
	Subrasante	4500,000	31,026							31,026	0,000
Iteración 2	Base	22841,250	157,485	180,937	43,733	129720,474	197978,386	150334,188	159344,349	159,344	1,181
	Subbase	14000,000	96,527								
	Subrasante	4500,000	31,026							31,026	0,000
Iteración 3	Base	23110,944	159,344	180,661	43,696	129626,658	197885,151	150223,409	159245,073	159,245	-0,062
	Subbase	14000,000	96,527								
	Subrasante	4500,000	31,026							31,026	0,000
Iteraci	Base	23096,545	159,245	180,674	43,698	129631,351	197889,810	150228,944	159250,035	159,250	0,003
	Subbase	14000,000	96,527								



Capa	Mr (1 iteración)	Mr (1 iteración)	Invariante de esfuerzos (θ)	T_{oct}	Mr (modelo 1)	Mr (modelo 2)	Mr (modelo 3)	Mr (promedio modelos)	Mr (promedio modelos)	Criterio de aceptación	
	(psi)	(MPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(MPa)	(%)	
Subrasante	4500,000	31,026							31,026	0,000	
Iteración 5	Base	23097,265	159,250	180,674	43,698	129631,351	197889,810	150228,944	159250,035	159,250	0,000
	Subbase	14000,000	96,527								
	Subrasante	4500,000	31,026						31,026	0,000	

TablaA3. 2 Resumen de módulos EP1 CBR 1

Mr Final MPa (psi)	
Base granular	159,25 (23097)
Subbase Granular	0
Subrasante	31,03 (4500)



TablaA3. 3 Deformación permanente EP1 CBR 1

Deformación Permanente					
	Espesor cm (in)	ϵ_v (in/in)	Módulo resiliente MPa (psi)	δ (cm)	N max
Base granular	15 (5,91)	0,00244	159,25 (23097)	0,645	48479
Subbase Granular	0	0,00290	0	0,000	
Subrasante_interfaz	-	0,00437	31,03 (4500)	0,555	
Subrasante_6" de interfaz	-	0,00221	-	-	
			Total	1,200	



TablaA3. 4 Cálculo de módulos EP1 CBR 2

	Capa	Mr (1 iteración)	Mr (1 iteración)	Invariante de esfuerzos (θ)	T_{oct}	Mr (modelo 1)	Mr (modelo 2)	Mr (modelo 3)	Mr (promedio modelos)	Mr (promedio modelos)	Criterio de aceptación
		(psi)	(MPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(MPa)	(%)
Iteración 1	Base	28000,000	193,053	182,807	43,991	130352,456	198606,311	151081,037	160013,268	160,013	-17,114
	Subbase	14000,000	96,527								
	Subrasante	6000,000	41,369							41,369	0,000
Iteración 2	Base	23207,962	160,013	186,454	44,616	131569,237	199818,446	152526,515	161304,732	161,305	0,807
	Subbase	14000,000	96,527								
	Subrasante	6000,000	41,369							41,369	0,000
Iteración 3	Base	23395,273	161,305	186,312	44,587	131522,316	199771,547	152470,496	161254,786	161,255	-0,031
	Subbase	14000,000	96,527								
	Subrasante	6000,000	41,369							41,369	0,000
Iteración 4	Base	23388,029	161,255	186,320	44,590	131524,985	199774,268	152473,746	161257,666	161,258	0,002
	Subbase	14000,000	96,527								
	Subrasante	6000,000	41,369							41,369	0,000
Iteración 5	Base	23388,447	161,258	186,320	44,590	131524,985	199774,268	152473,746	161257,666	161,258	0,000
	Subbase	14000,000	96,527								
	Subrasante	6000,000	41,369							41,369	0,000



TablaA3. 5 Resumen módulos EP1 CBR 2

Mr Final MPa (psi)	
Base granular	161,26 (23388)
Subbase Granular	0
Subrasante	41,37 (6000)

TablaA3. 6 Deformación Permanente EP1 CBR 2

Deformación Permanente					
	Espesor cm (in)	ϵ_v (in/in)	Módulo resiliente MPa (psi)	δ (cm)	N max
Base granular	15 (5,91)	0,00246	161,26 (23388)	0,655	49918
Subbase Granular	0	0,00262	0	0,000	
Subrasante_interfaz	-	0,00373	41,37 (6000)	0,545	
Subrasante_6" de interfaz	-	0,00177	-	-	
			Total	1,200	



TablaA3. 7 Cálculo de módulos EP1 CBR 3

	Capa	Mr (1 iteración) (psi)	Mr (1 iteración) (MPa)	Invariante de esfuerzos (θ) (kPa)	T_{oct} (kPa)	Mr (modelo 1) (kPa)	Mr (modelo 2) (kPa)	Mr (modelo 3) (kPa)	Mr (promedio modelos) (kPa)	Mr (promedio modelos) (MPa)	Criterio de aceptación (%)
Iteración 1	Base	28000,000	193,053	670,419	181,555	235490,689	296356,119	282636,539	271494,449	271,494	40,632
	Subbase	14000,000	96,527								
	Subrasante	9000,000	62,053							62,053	0,000
Iteración 2	Base	39376,941	271,494	184,143	44,198	130800,806	199052,296	151612,298	160488,467	160,488	-40,887
	Subbase	14000,000	96,527								
	Subrasante	9000,000	62,053							62,053	0,000
Iteración 3	Base	23276,884	160,488	683,705	184,160	237616,829	298152,772	285322,609	273697,403	273,697	70,540
	Subbase	14000,000	96,527								
	Subrasante	9000,000	62,053							62,053	0,000
Iteración 4	Base	39696,452	273,697	183,983	44,173	130747,230	198999,017	151548,796	160431,681	160,432	-41,384
	Subbase	14000,000	96,527								
	Subrasante	9000,000	62,053							62,053	0,000
Iteración 5	Base	23268,648	160,432	683,732	184,164	237621,309	298156,476	285328,156	273701,980	273,702	70,603*
	Subbase	14000,000	96,527								
	Subrasante	9000,000	62,053							62,053	0,000

*Modelo no convergió, se utilizaron valores de las últimas iteraciones



TablaA3. 8 Resumen de módulos EP1 CBR 3

Mr Final MPa (psi)	
Base granular	217,07 (31483)
Subbase Granular	0
Subrasante	62,05 (9000)

TablaA3. 9 Deformación permanente EP1 CBR 3

Deformación Permanente					
	Espesor cm (in)	ϵ_v (in/in)	Módulo resiliente MPa (psi)	δ (cm)	N max
Base granular	15 (5,91)	0,00184	217,07 (31483)	0,603	162894
Subbase Granular	0	0,00187	0	0,000	
Subrasante_interfaz	-	0,00261	62,05 (9000)	0,597	
Subrasante_6" de interfaz	-	0,00122	-	-	
			Total	1,200	



TablaA3. 10 Cálculo de módulos EP1 CBR 4

	Capa	Mr (1 iteración)	Mr (1 iteración)	Invariante de esfuerzos (θ)	T_{oct}	Mr (modelo 1)	Mr (modelo 2)	Mr (modelo 3)	Mr (promedio modelos)	Mr (promedio modelos)	Criterio de aceptación
		(psi)	(MPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(MPa)	(%)
Iteración 1	Base	28000,000	193,053	693,902	186,241	239229,330	299515,408	287365,915	275370,218	275,370	42,640
	Subbase	14000,000	96,527								
	Subrasante	12500,000	86,184							86,184	0,000
Iteración 2	Base	39939,073	275,370	668,488	181,190	235179,193	296093,014	282243,957	271172,055	271,172	-1,525
	Subbase	14000,000	96,527								
	Subrasante	12500,000	86,184							86,184	0,000
Iteración 3	Base	39330,181	271,172	669,605	181,397	235359,642	296245,303	282471,165	271358,703	271,359	0,069
	Subbase	14000,000	96,527								
	Subrasante	12500,000	86,184							86,184	0,000
Iteración 4	Base	39357,252	271,359	669,550	181,391	235350,582	296237,796	282459,964	271349,447	271,349	-0,003
	Subbase	14000,000	96,527								
	Subrasante	12500,000	86,184							86,184	0,000
Iteración 5	Base	39355,910	271,349	669,550	181,391	235350,559	296237,777	282459,936	271349,424	271,349	0,000
	Subbase	14000,000	96,527								
	Subrasante	12500,000	86,184							86,184	0,000



TablaA3. 11 Resumen módulos EP1 CBR 4

Mr Final MPa (psi)	
Base granular	271,35 (39356)
Subbase Granular	0
Subrasante	86,18 (12500)

TablaA3. 12 Deformación permanente EP1 CBR 4

Deformación Permanente					
	Espesor cm (in)	ϵ_v (in/in)	Módulo resiliente MPa (psi)	δ (cm)	N max
Base granular	15 (5,91)	0,0014874	271,35 (39356)	0,574	799646
Subbase Granular	0	0,0014462	0	0,000	
Subrasante_interfaz	-	0,0019633	86,18 (12500)	0,626	
Subrasante_6" de interfaz	-	0,00089852	-	-	
			Total	1,200	



TablaA3. 13 Cálculo de módulos EP1 CBR 5

	Capa	Mr (1 iteración) (psi)	Mr (1 iteración) (MPa)	Invariante de esfuerzos (θ) (kPa)	T_{oct} (kPa)	Mr (modelo 1) (kPa)	Mr (modelo 2) (kPa)	Mr (modelo 3) (kPa)	Mr (promedio modelos) (kPa)	Mr (promedio modelos) (MPa)	Criterio de aceptación (%)
Iteración 1	Base	28000,000	193,053	702,762	188,119	240616,397	300688,111	289128,622	276811,043	276,811	43,386
	Subbase	14000,000	96,527								
	Subrasante	14200,000	97,906							97,906	0,000
Iteración 2	Base	40148,048	276,811	677,320	182,890	236598,864	297292,453	284035,253	272642,190	272,642	-1,506
	Subbase	14000,000	96,527								
	Subrasante	14200,000	97,906							97,906	0,000
Iteración 3	Base	39543,406	272,642	678,410	183,105	236773,024	297439,633	284255,339	272822,665	272,823	0,066
	Subbase	14000,000	96,527								
	Subrasante	14200,000	97,906							97,906	0,000
Iteración 4	Base	39569,582	272,823	678,361	183,097	236765,263	297433,125	284245,606	272814,664	272,815	-0,003
	Subbase	14000,000	96,527								
	Subrasante	14200,000	97,906							97,906	0,000
Iteración 5	Base	39568,422	272,815	678,368	183,095	236766,490	297434,056	284246,998	272815,848	272,816	0,000
	Subbase	14000,000	96,527								
	Subrasante	14200,000	97,906							97,906	0,000



TablaA3. 14 Resumen módulos EP1 CBR 5

Mr Final MPa (psi)	
Base granular	272,82 (39569)
Subbase Granular	0
Subrasante	97,91(14200)

TablaA3. 15 Deformación permanente EP1 CBR 5

Deformación Permanente					
	Espesor cm (in)	ϵ_v (in/in)	Módulo resiliente MPa (psi)	δ (cm)	N max
Base granular	15 (5,91)	0,00149	272,82 (39569)	0,590	1139202
Subbase Granular	0	0,00138	0	0,000	
Subrasante_interfaz	-	0,00182	97,91(14200)	0,610	
Subrasante_6" de interfaz	-	0,00081	-	-	
			Total	1,200	



9.2 Estructura de Pavimento 2 (EP2)

TablaA3. 16 Cálculo de módulos EP2 CBR 1

	Capa	Mr (1 iteración)	Mr (1 iteración)	Invariante de esfuerzos (θ)	T_{oct}	Mr (modelo 1)	Mr (modelo 2)	Mr (modelo 3)	Mr (promedio modelos)	Mr (promedio modelos)	Criterio de aceptación
		(psi)	(MPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(MPa)	(%)
Iteración 1	Base	28000,000	193,053	252,311	52,959	151766,823	219328,756	176466,641	182520,740	182,521	-5,456
	Subbase	14000,000	96,527	41,391	68,391	111724,349	145575,980	113805,515	123701,948	123,702	28,1532192
	Subrasante	4500,000	31,026							31,026	0,000
Iteración 2	Base	26472,395	182,521	264,761	55,962	155171,429	222606,688	180611,301	186129,806	186,130	1,977
	Subbase	17941,451	123,702	24,381	74,992	94405,451	130056,655	96687,608	107049,905	107,050	-13,4614236
	Subrasante	4500,000	31,026							31,026	0,000
Iteración 3	Base	26995,846	186,130	257,705	54,241	153254,480	220762,511	178275,224	184097,405	184,097	-1,092
	Subbase	15526,276	107,050	34,641	71,363	105555,826	140159,751	107733,986	117816,521	117,817	10,0575673
	Subrasante	4500,000	31,026							31,026	0,000
Iteración 4	Base	26701,071	184,097	262,476	55,378	154555,410	222013,385	179858,548	185475,781	185,476	0,749
	Subbase	17087,842	117,817	27,715	73,751	98328,737	133655,655	100580,296	110854,896	110,855	-5,90886998
	Subrasante	4500,000	31,026							31,026	0,000
Iteración 5	Base	26900,988	185,476	259,478	54,653	153739,950	221229,116	178865,250	184611,438	184,611	-0,466
	Subbase	16078,143	110,855	32,085	72,232	103013,083	137889,522	105219,820	115374,141	115,374	4,0767216
	Subrasante	4500,000	31,026							31,026	0,000



TablaA3. 17 Resumen de módulos EP2 CBR 1

Mr Final MPa (psi)	
Base granular	184,61 (26776)
Subbase Granular	115,37 (16734)
Subrasante	31,03 (4500)

TablaA3. 18 Deformación permanente EP2 CBR 1

Deformación Permanente					
	Espesor cm (in)	ϵ_v (in/in)	Módulo resiliente MPa (psi)	δ (cm)	N max
Base granular	15 (5,91)	0,00212	184,61 (26776)	0,549	30681
Subbase Granular	15 (5,91)	0,00124	115,37 (16734)	0,275	
Subrasante_interfaz	-	0,00176	31,03 (4500)	0,376	
Subrasante_6" de interfaz	-	0,00122	-	-	
			Total	1,200	



TablaA3. 19 Cálculo de módulos EP2 CBR 2

	Capa	Mr (1 iteración) (psi)	Mr (1 iteración) (MPa)	Invariante de esfuerzos (θ) (kPa)	T_{oct} (kPa)	Mr (modelo 1) (kPa)	Mr (modelo 2) (kPa)	Mr (modelo 3) (kPa)	Mr (promedio modelos) (kPa)	Mr (promedio modelos) (MPa)	Criterio de aceptación (%)
Iteración 1	Base	28000,000	193,053	88,347	30,880	92283,005	158754,356	106412,538	119149,966	119,150	-38,281
	Subbase	14000,000	96,527	73,099	66,163	133777,441	164324,612	135594,490	144565,514	144,566	49,7675368
	Subrasante	6000,000	41,369							41,369	0,000
Iteración 2	Base	17281,242	119,150	245,715	55,759	149697,558	217546,673	174227,959	180490,730	180,491	51,482
	Subbase	20967,455	144,566	66,892	80,553	129743,170	161248,121	131939,024	140976,772	140,977	-2,48243357
	Subrasante	6000,000	41,369							41,369	0,000
Iteración 3	Base	26177,967	180,491	253,593	54,825	152040,426	219671,523	176898,412	182870,120	182,870	1,318
	Subbase	20446,952	140,977	48,602	75,366	117392,633	150642,198	119576,697	129203,843	129,204	-8,3509706
	Subrasante	6000,000	41,369							41,369	0,000
Iteración 4	Base	26523,069	182,870	250,127	53,897	151083,375	218742,387	175728,896	181851,552	181,852	-0,557
	Subbase	18739,433	129,204	54,165	73,335	121526,614	154160,124	123635,556	133107,431	133,107	3,02126355
	Subrasante	6000,000	41,369							41,369	0,000
Iteración 5	Base	26375,338	181,852	251,317	54,215	151412,844	219062,390	176131,371	182202,202	182,202	0,193
	Subbase	19305,601	133,107	52,298	74,047	120171,642	153012,580	122306,972	131830,398	131,830	-0,95940055
	Subrasante	6000,000	41,369							41,369	0,000



TablaA3. 20 Resumen módulos EP2 CBR 2

Mr Final MPa (psi)	
Base granular	182,20 (26426)
Subbase Granular	131,83 (19120)
Subrasante	41,37 (6000)

TablaA3. 21 Deformación Permanente EP2 CBR 2

Deformación Permanente					
	Espesor cm (in)	ϵ_v (in/in)	Módulo resiliente MPa (psi)	δ (cm)	N max
Base granular	15 (5,91)	0,00221	182,20 (26426)	0,570	31018
Subbase Granular	15 (5,91)	0,00111	131,83 (19120)	0,259	
Subrasante_interfaz	-	0,00146	41,37 (6000)	0,371	
Subrasante_6" de interfaz	-	0,00099	-	-	
			Total	1,200	



TablaA3. 22 Cálculo de módulos EP2 CBR 3

	Capa	Mr (1 iteración) (psi)	Mr (1 iteración) (MPa)	Invariante de esfuerzos (θ) (kPa)	T_{oct} (kPa)	Mr (modelo 1) (kPa)	Mr (modelo 2) (kPa)	Mr (modelo 3) (kPa)	Mr (promedio modelos) (kPa)	Mr (promedio modelos) (MPa)	Criterio de aceptación (%)
Iteración 1	Base	28000,000	193,053	217,872	48,690	141615,198	209635,834	164415,538	171888,857	171,889	-10,963
	Subbase	14000,000	96,527	114,371	63,924	154169,436	180763,441	155638,980	163523,952	163,524	69,4081724
	Subrasante	9000,000	62,053							62,053	0,000
Iteración 2	Base	24930,371	171,889	101,733	35,636	98587,522	165804,760	113900,395	126097,559	126,098	-26,640
	Subbase	23717,144	163,524	85,676	75,886	140411,490	169976,547	142389,740	150925,926	150,926	-7,70408659
	Subrasante	9000,000	62,053							62,053	0,000
Iteración 3	Base	18288,905	126,098	98,260	33,152	97047,261	164040,825	112009,801	124365,962	124,366	-1,373
	Subbase	21889,955	150,926	104,269	78,095	149344,086	177238,098	151268,990	159283,725	159,284	5,53768279
	Subrasante	9000,000	62,053							62,053	0,000
Iteración 4	Base	18037,758	124,366	105,789	35,454	100470,388	167813,585	116067,340	128117,104	128,117	3,016
	Subbase	23102,151	159,284	101,941	79,119	148255,751	176387,586	150220,465	158287,934	158,288	-0,6251678
	Subrasante	9000,000	62,053							62,053	0,000
Iteración 5	Base	18581,815	128,117	105,690	35,073	100440,388	167765,378	116015,165	128073,644	128,074	-0,034
	Subbase	22957,724	158,288	100,917	78,700	147794,316	176008,729	149754,128	157852,391	157,852	-0,27515882
	Subrasante	9000,000	62,053							62,053	0,000



TablaA3. 23 Resumen de módulos EP2 CBR 3

Mr Final MPa (psi)	
Base granular	128,07 (18576)
Subbase Granular	157,85 (22895)
Subrasante	62,05 (9000)

TablaA3. 24 Deformación permanente EP2 CBR 3

Deformación Permanente					
	Espesor cm (in)	ϵ_v (in/in)	Modulo resiliente MPa (psi)	δ (cm)	N max
Base granular	15 (5,91)	0,00335	128,07 (18576)	0,675	162894
Subbase Granular	15 (5,91)	0,00101	157,85 (22895)	0,221	
Subrasante_interfaz	-	0,00117	62,05 (9000)	0,305	
Subrasante_6" de interfaz	-	0,00076	-	-	
			Total	1,200	



TablaA3. 25 Cálculo de módulos EP2 CBR 4

	Capa	Mr (1 iteración) (psi)	Mr (1 iteración) (MPa)	Invariante de esfuerzos (θ) (kPa)	T_{oct} (kPa)	Mr (modelo 1) (kPa)	Mr (modelo 2) (kPa)	Mr (modelo 3) (kPa)	Mr (promedio modelos) (kPa)	Mr (promedio modelos) (MPa)	Criterio de aceptación (%)
Iteración 1	Base	28000,000	193,053	714,262	184,989	242641,683	302195,170	291399,613	278745,488	278,745	44,388
	Subbase	14000,000	96,527	144,109	62,804	165886,135	189885,026	167122,233	174297,798	174,298	80,5697022
	Subrasante	12500,000	86,184							86,184	0,000
Iteración 2	Base	40428,615	278,745	228,972	50,695	144944,820	212868,978	168401,034	175404,944	175,405	-37,073
	Subbase	25279,758	174,298	96,227	68,638	145850,698	174233,509	147574,973	155886,393	155,886	-10,5631883
	Subrasante	12500,000	86,184							86,184	0,000
Iteración 3	Base	25440,336	175,405	220,347	51,393	142252,008	210366,311	165312,981	172643,767	172,644	-1,574
	Subbase	22609,410	155,886	120,885	73,037	156627,646	182908,871	158317,155	165951,224	165,951	6,45651649
	Subrasante	12500,000	86,184							86,184	0,000
Iteración 4	Base	25039,861	172,644	221,918	51,903	142714,545	210827,209	165880,135	173140,630	173,141	0,288
	Subbase	24069,190	165,951	117,973	74,334	155389,395	181961,381	157132,650	164827,808	164,828	-0,67695534
	Subrasante	12500,000	86,184							86,184	0,000
Iteración 5	Base	25111,925	173,141	221,771	51,845	142671,714	210784,028	165826,969	173094,237	173,094	-0,027
	Subbase	23906,252	164,828	118,244	74,181	155506,495	182050,460	157243,895	164933,617	164,934	0,06419344
	Subrasante	12500,000	86,184							86,184	0,000



TablaA3. 26 Resumen módulos EP2 CBR 4

Mr Final MPa (psi)	
Base granular	143,09 (25105)
Subbase Granular	164,93 (23922)
Subrasante	86,18 (12500)

TablaA3. 27 Deformación permanente EP2 CBR 4

Deformación Permanente					
	Espesor cm (in)	ϵ_v (in/in)	Módulo resiliente MPa (psi)	δ (cm)	N max
Base granular	15 (5,91)	0,00246	143,09 (25105)	0,637	35224
Subbase Granular	15 (5,91)	0,00092	164,93 (23922)	0,236	
Subrasante_interfaz	-	0,00090	86,18 (12500)	0,327	
Subrasante_6" de interfaz	-	0,00058	-	-	
			Total	1,200	



TablaA3. 28 Cálculo de módulos EP2 CBR 5

	Capa	Mr (1 iteración) (psi)	Mr (1 iteración) (MPa)	Invariante de esfuerzos (θ) (kPa)	T_{oct} (kPa)	Mr (modelo 1) (kPa)	Mr (modelo 2) (kPa)	Mr (modelo 3) (kPa)	Mr (promedio modelos) (kPa)	Mr (promedio modelos) (MPa)	Criterio de aceptación (%)
Iteración 1	Base	28000,000	193,053	710,312	186,407	241932,504	301679,354	290621,607	278077,822	278,078	44,042
	Subbase	14000,000	96,527	154,641	62,513	169634,814	192759,576	170792,893	177729,094	177,729	84,1244699
	Subrasante	14200,000	97,906							97,906	0,000
Iteración 2	Base	40331,778	278,078	223,827	50,246	143388,481	211384,202	166566,472	173779,718	173,780	-37,507
	Subbase	25777,426	177,729	107,961	68,403	151258,080	178556,523	152898,805	160904,469	160,904	-9,46644404
	Subrasante	14200,000	97,906							97,906	0,000
Iteración 3	Base	25204,617	173,780	215,885	51,193	140866,194	209045,069	163691,031	171200,765	171,201	-1,484
	Subbase	23337,220	160,904	131,480	73,211	160836,568	186211,512	162467,317	169838,466	169,838	5,5523607
	Subrasante	14200,000	97,906							97,906	0,000
Iteración 4	Base	24830,572	171,201	217,133	51,617	141237,122	209416,536	164146,459	171600,039	171,600	0,233
	Subbase	24632,987	169,838	129,135	74,317	159893,095	185499,272	161569,503	168987,290	168,987	-0,50116781
	Subrasante	14200,000	97,906							97,906	0,000
Iteración 5	Base	24888,481	171,600	217,037	51,576	141208,889	209387,860	164111,285	171569,345	171,569	-0,018
	Subbase	24509,534	168,987	129,312	74,202	159965,671	185553,449	161637,743	169052,288	169,052	0,03846311
	Subrasante	14200,000	97,906							97,906	0,000



TablaA3. 29 Resumen módulos EP2 CBR 5

Mr Final MPa (psi)	
Base granular	171,57 (24884)
Subbase Granular	169,05 (24519)
Subrasante	97,91(14200)

TablaA3. 30 Deformación permanente EP2 CBR 5

Deformación Permanente					
	Espesor cm (in)	ϵ_v (in/in)	Módulo resiliente MPa (psi)	δ (cm)	N max
Base granular	15 (5,91)	0,00212	171,57 (24884)	0,555	32319
Subbase Granular	15 (5,91)	0,00100	169,05 (24519)	0,304	
Subrasante_interfaz	-	0,00143	97,91(14200)	0,342	
Subrasante_6" de interfaz	-	0,00102	-	-	
			Total	1,200	

9.3 Estructura de Pavimento 3 (EP3)

TablaA3. 31 Cálculo de módulos EP3 CBR 1

	Capa	Mr (1 iteración)	Mr (1 iteración)	Invariante de esfuerzos (θ)	T_{oct}	Mr (modelo 1)	Mr (modelo 2)	Mr (modelo 3)	Mr (promedio modelos)	Mr (promedio modelos)	Criterio de aceptación
		(psi)	(MPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(MPa)	(%)
Iteración 1	Base	600000,000	4136,854	123,615	43,529	107966,982	176058,468	125114,406	136379,952	136,380	-96,703
	Subbase	14000,000	96,527	8,696	20,144	68971,530	104416,349	70383,923	81257,267	81,257	-15,819
	Subrasante	4500,000	31,026							31,026	0,000
Iteración 2	Base	600000,000	4136,854	154,803	89,900	118570,307	188690,973	139444,952	148902,077	148,902	-96,401
	Subbase	11785,370	81,257	16,616	17,833	84683,125	119856,580	85917,148	96818,951	96,819	19,151
	Subrasante	4500,000	31,026							31,026	0,000
Iteración 3	Base	600000,000	4136,854	123,808	43,545	108047,869	176143,414	125208,888	136466,723	136,467	-96,701
	Subbase	14042,402	96,819	8,546	20,188	68591,786	104029,305	70006,978	80876,023	80,876	-16,467
	Subrasante	4500,000	31,026							31,026	0,000
Iteración 4	Base	600000,000	4136,854	154,538	89,898	118472,539	188591,471	139329,894	148797,968	148,798	-96,403
	Subbase	11730,075	80,876	16,816	17,775	85004,963	120162,134	86234,049	97133,715	97,134	20,102
	Subrasante	4500,000	31,026							31,026	0,000
Iteración 5	Base	600000,000	4136,854	124,016	43,563	108134,422	176234,304	125310,009	136559,578	136,560	-96,699*
	Subbase	14088,054	97,134	8,384	20,235	68177,298	103606,031	69595,465	80459,598	80,460	-17,166*
	Subrasante	4500,000	31,026							31,026	0,000

*Modelo no convergió, se utilizaron valores de las últimas iteraciones



TablaA3. 32 Resumen de módulos EP3 CBR 1

Mr Final MPa (psi)	
Base Estabilizada	4136,85 (600000)
Subbase Granular	88,80 (12879)
Subrasante	31,03 (4500)

TablaA3. 33 Deformación permanente EP3 CBR 1

Deformación Permanente					
	Espesor cm (in)	ϵ_v (in/in)	Módulo resiliente MPa (psi)	δ (cm)	N max
Base Estabilizada	15 (5,91)	0,00008	4136,85 (600000)	0,000	105701133
Subbase Granular	15 (5,91)	0,00043	88,80 (12879)	0,192	
Subrasante_interfaz	-	0,00064	31,03 (4500)	1,008	
Subrasante_6" de interfaz	-	0,00052	-	-	
			Total	1,200	



TablaA3. 34 Cálculo de módulos EP3 CBR 2

	Capa	Mr (1 iteración) (psi)	Mr (1 iteración) (MPa)	Invariante de esfuerzos (θ) (kPa)	T_{oct} (kPa)	Mr (modelo 1) (kPa)	Mr (modelo 2) (kPa)	Mr (modelo 3) (kPa)	Mr (promedio modelos) (kPa)	Mr (promedio modelos) (MPa)	Criterio de aceptación (%)
Iteración 1	Base	600000,000	4136,854	263,316	157,277	150782,265	222231,750	180135,467	184383,161	184,383	-95,543
	Subbase	14000,000	96,527	24,759	20,623	95985,290	130483,493	97146,796	107871,860	107,872	11,7535034
	Subrasante	6000,000	41,369							41,369	0,000
Iteración 2	Base	600000,000	4136,854	109,962	24,275	102837,272	169825,371	118252,214	130304,952	130,305	-96,850
	Subbase	15645,490	107,872	19,190	22,579	88514,168	123590,605	89814,379	100639,717	100,640	-6,70438249
	Subrasante	6000,000	41,369							41,369	0,000
Iteración 3	Base	600000,000	4136,854	265,608	157,104	151418,819	222825,888	180889,697	185044,801	185,045	-95,527
	Subbase	14596,557	100,640	22,657	21,550	93309,120	128041,196	94528,495	105292,937	105,293	4,62364145
	Subrasante	6000,000	41,369							41,369	0,000
Iteración 4	Base	600000,000	4136,854	43,417	11,283	66104,448	127555,350	75558,227	89739,341	89,739	-97,831
	Subbase	15271,449	105,293	20,423	22,214	90282,088	125241,075	91553,891	102359,018	102,359	-2,78643511
	Subrasante	6000,000	41,369							41,369	0,000
Iteración 5	Base	600000,000	4136,854	254,745	153,203	148518,203	219978,426	177285,330	181927,320	181,927	-95,602*
	Subbase	14845,920	102,359	21,830	21,796	92213,144	127031,085	93452,061	104232,097	104,232	1,82991102
	Subrasante	6000,000	41,369							41,369	0,000

*Modelo no convergió, se utilizaron valores de las últimas iteraciones



TablaA3. 35 Resumen módulos EP3 CBR 2

Mr Final MPa (psi)	
Base Estabilizada	4136,85 (600000)
Subbase Granular	104,23 (15118)
Subrasante	41,37 (6000)

TablaA3. 36 Deformación Permanente EP3 CBR 2

Deformación Permanente					
	Espesor cm (in)	ϵ_v (in/in)	Módulo resiliente MPa (psi)	δ (cm)	N max
Base Estabilizada	15 (5,91)	0,00009	4136,85 (600000)	0,000	279598115
Subbase Granular	15 (5,91)	0,00042	104,23 (15118)	0,202	
Subrasante_interfaz	-	0,00059	41,37 (6000)	0,998	
Subrasante_6" de interfaz	-	0,00048	-	-	
			Total	1,200	



TablaA3. 37 Cálculo de módulos EP3 CBR 3

	Capa	Mr (1 iteración)	Mr (1 iteración)	Invariante de esfuerzos (θ)	T_{oct}	Mr (modelo 1)	Mr (modelo 2)	Mr (modelo 3)	Mr (promedio modelos)	Mr (promedio modelos)	Criterio de aceptación
		(psi)	(MPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(MPa)
Iteración 1	Base	600000,000	4136,854	259,244	160,342	149563,091	221167,709	178787,560	183172,786	183,173	-95,572
	Subbase	14000,000	96,527	48,629	18,972	118859,684	150660,037	119597,174	129705,632	129,706	34,3729385
	Subrasante	9000,000	62,053							62,053	0,000
Iteración 2	Base	600000,000	4136,854	53,405	13,329	72969,155	135954,580	83487,777	97470,504	97,471	-97,644
	Subbase	18812,211	129,706	34,352	23,547	106367,883	139909,408	107455,847	117911,046	117,911	-9,09334876
	Subrasante	9000,000	62,053							62,053	0,000
Iteración 3	Base	600000,000	4136,854	269,783	159,547	152487,313	223898,783	182254,568	186213,554	186,214	-95,499
	Subbase	17101,551	117,911	39,350	22,197	111072,631	144016,992	112047,400	122379,008	122,379	3,78926445
	Subrasante	9000,000	62,053							62,053	0,000
Iteración 4	Base	600000,000	4136,854	51,641	13,546	71790,312	134555,931	82147,580	96164,607	96,165	-97,675
	Subbase	17749,574	122,379	37,452	22,713	109335,797	142508,105	110353,851	120732,584	120,733	-1,34534782
	Subrasante	9000,000	62,053							62,053	0,000
Iteración 5	Base	600000,000	4136,854	259,267	155,485	149714,032	221173,692	178795,129	183227,618	183,228	-95,571
	Subbase	17510,781	120,733	38,151	22,523	109981,699	143070,246	110983,858	121345,268	121,345	0,50747163
	Subrasante	9000,000	62,053							62,053	0,000



TablaA3. 38 Resumen de módulos EP3 CBR 3

Mr Final MPa (psi)	
Base Estabilizada	4136,85 (600000)
Subbase Granular	121,35 (17600)
Subrasante	62,05 (9000)

TablaA3. 39 Deformación permanente EP3 CBR 3

Deformación Permanente					
	Espesor cm (in)	ϵ_v (in/in)	Módulo resiliente MPa (psi)	δ (cm)	N max
Base Estabilizada	15 (5,91)	0,00010	4136,85 (600000)	0,000	19278521694
Subbase Granular	15 (5,91)	0,00039	121,35 (17600)	0,208	
Subrasante_interfaz	-	0,00047	62,05 (9000)	0,992	
Subrasante_6" de interfaz	-	0,00038	-	-	
			Total	1,200	



TablaA3. 40 Cálculo de módulos EP3 CBR 4

	Capa	Mr (1 iteración) (psi)	Mr (1 iteración) (MPa)	Invariante de esfuerzos (θ) (kPa)	T_{oct} (kPa)	Mr (modelo 1) (kPa)	Mr (modelo 2) (kPa)	Mr (modelo 3) (kPa)	Mr (promedio modelos) (kPa)	Mr (promedio modelos) (MPa)	Criterio de aceptación (%)
Iteración 1	Base	600000,000	4136,854	255,837	162,949	148536,543	220268,383	177651,164	182152,030	182,152	-95,597
	Subbase	14000,000	96,527	68,101	18,449	132225,415	161864,623	132669,076	142253,038	142,253	47,371849
	Subrasante	12500,000	86,184							86,184	0,000
Iteración 2	Base	600000,000	4136,854	62,828	14,920	78854,194	142932,186	90289,787	104025,389	104,025	-97,485
	Subbase	20632,059	142,253	51,527	23,802	120899,436	152529,096	121748,539	131725,690	131,726	-7,400438
	Subrasante	12500,000	86,184							86,184	0,000
Iteración 3	Base	600000,000	4136,854	271,631	161,773	152923,009	224370,171	182855,409	186716,196	186,716	-95,487
	Subbase	19105,196	131,726	55,345	22,144	123715,063	154869,411	124458,954	134347,809	134,348	1,99059031
	Subrasante	12500,000	86,184							86,184	0,000
Iteración 4	Base	600000,000	4136,854	272,728	161,685	153222,837	224648,693	183210,755	187027,428	187,027	-95,479
	Subbase	19485,502	134,348	54,391	22,392	123029,208	154296,930	123794,240	133706,793	133,707	-0,4771322
	Subrasante	12500,000	86,184							86,184	0,000
Iteración 5	Base	600000,000	4136,854	272,459	161,705	153149,579	224580,620	183123,883	186951,361	186,951	-95,481*
	Subbase	19392,531	133,707	54,624	22,331	123197,584	154437,588	123957,458	133864,210	133,864	0,11773325
	Subrasante	12500,000	86,184							86,184	0,000

*Modelo no convergió, se utilizaron valores de las últimas iteraciones



TablaA3. 41 Resumen módulos EP3 CBR 4

Mr Final MPa (psi)	
Base Estabilizada	4136,85 (600000)
Subbase Granular	133,86 (19415)
Subrasante	86,18 (12500)

TablaA3. 42 Deformación permanente EP3 CBR 4

Deformación Permanente					
	Espesor cm (in)	ϵ_v (in/in)	Módulo resiliente MPa (psi)	δ (cm)	N max
Base Estabilizada	15 (5,91)	0,000096	4136,85 (600000)	0,000	1.00E+50
Subbase Granular	15 (5,91)	0,000365	133,86 (19415)	0,217	
Subrasante_interfaz	-	0,000388	86,18 (12500)	0,945	
Subrasante_6" de interfaz	-	0,000309	-	-	
			Total	1,162	



TablaA3. 43 Cálculo de módulos EP3 CBR 5

	Capa	Mr (1 iteración) (psi)	Mr (1 iteración) (MPa)	Invariante de esfuerzos (θ) (kPa)	T_{oct} (kPa)	Mr (modelo 1) (kPa)	Mr (modelo 2) (kPa)	Mr (modelo 3) (kPa)	Mr (promedio modelos) (kPa)	Mr (promedio modelos) (MPa)	Criterio de aceptación (%)
Iteración 1	Base	600000,000	4136,854	254,483	163,979	148127,358	219908,616	177197,292	181744,422	181,744	-95,607
	Subbase	14000,000	96,527	75,525	18,319	136624,892	165471,490	136965,064	146353,815	146,354	51,6201878
	Subrasante	14200,000	97,906							97,906	0,000
Iteración 2	Base	600000,000	4136,854	275,701	162,380	154004,888	225400,296	184170,911	187858,698	187,859	-95,459
	Subbase	21226,826	146,354	58,890	23,145	126133,020	156930,899	126861,637	136641,852	136,642	-6,63594836
	Subrasante	14200,000	97,906							97,906	0,000
Iteración 3	Base	600000,000	4136,854	271,863	162,700	152958,157	224429,102	182930,574	186772,611	186,773	-95,485
	Subbase	19818,225	136,642	62,171	21,997	128351,391	158753,882	128998,106	138701,126	138,701	1,50705986
	Subrasante	14200,000	97,906							97,906	0,000
Iteración 4	Base	600000,000	4136,854	272,688	162,634	153183,744	224638,713	183198,018	187006,825	187,007	-95,479
	Subbase	20116,898	138,701	61,471	22,176	127886,609	158371,180	128548,681	138268,823	138,269	-0,31167961
	Subrasante	14200,000	97,906							97,906	0,000
Iteración 5	Base	600000,000	4136,854	272,513	162,648	153135,905	224594,271	183141,302	186957,159	186,957	-95,481*
	Subbase	20054,197	138,269	61,618	22,139	127984,428	158451,770	128643,282	138359,827	138,360	0,06581645
	Subrasante	14200,000	97,906							97,906	0,000

*Modelo no convergió, se utilizaron valores de las últimas iteraciones



TablaA3. 44 Resumen módulos EP3 CBR 5

Mr Final MPa (psi)	
Base Estabilizada	4136,85 (600000)
Subbase Granular	138,36 (20067)
Subrasante	97,91(14200)

TablaA3. 45 Deformación permanente EP3 CBR 5

Deformación Permanente					
	Espesor cm (in)	ϵ_v (in/in)	Módulo resiliente MPa (psi)	δ (cm)	N max
Base Estabilizada	15 (5,91)	0,00010	4136,85 (600000)	0,000	1.00E+50
Subbase Granular	15 (5,91)	0,00036	138,36 (20067)	0,212	
Subrasante_interfaz	-	0,00036	97,91(14200)	0,833	
Subrasante_6" de interfaz	-	0,00029	-	-	
			Total	1,045	

9.4 Estructura de Pavimento 4 (EP4)

TablaA3. 46 Cálculo de módulos EP4 CBR 1

	Capa	Mr (1 iteración) (psi)	Mr (1 iteración) (MPa)	Invariante de esfuerzos (θ) (kPa)	T_{oct} (kPa)	Mr (modelo 1) (kPa)	Mr (modelo 2) (kPa)	Mr (modelo 3) (kPa)	Mr (promedio modelos) (kPa)	Mr (promedio modelos) (MPa)	Criterio de aceptación (%)
Iteración 1	Base	28000,000	193,053	254,404	53,154	152362,121	219887,601	177170,794	183140,172	183,140	-5,135
	Subbase	14000,000	96,527	51,102	58,128	119653,563	152260,309	121438,426	131117,433	131,117	35,8355416
	Subrasante	4500,000	31,026							31,026	0,000
Iteración 2	Base	26562,236	183,140	267,726	56,567	155974,602	223371,494	181583,322	186976,473	186,976	2,095
	Subbase	19016,976	131,117	37,814	63,833	108671,993	142800,696	110681,628	120718,105	120,718	-7,93130796
	Subrasante	4500,000	31,026							31,026	0,000
Iteración 3	Base	27118,645	186,976	264,637	55,649	155153,077	222574,719	180570,712	186099,503	186,100	-0,469
	Subbase	17508,681	120,718	40,965	62,270	111488,898	145255,996	113443,972	123396,289	123,396	2,21854328
	Subrasante	4500,000	31,026							31,026	0,000
Iteración 4	Base	26991,451	186,100	265,506	55,894	155385,449	222799,525	180856,206	186347,060	186,347	0,133
	Subbase	17897,119	123,396	40,078	62,680	110711,323	144580,033	112681,383	122657,580	122,658	-0,59864784
	Subrasante	4500,000	31,026							31,026	0,000
Iteración 5	Base	27027,356	186,347	265,270	55,826	155322,311	222738,371	180778,527	186279,736	186,280	-0,036
	Subbase	17789,978	122,658	40,317	62,567	110922,108	144763,402	112888,094	122857,868	122,858	0,16329072
	Subrasante	4500,000	31,026							31,026	0,000



TablaA3. 47 Resumen de módulos EP4 CBR 1

Mr Final MPa (psi)	
Base granular	186,28 (27018)
Subbase Granular	122,86 (17819)
Subrasante	31,03 (4500)

TablaA3. 48 Deformación permanente EP4 CBR 1

Deformación Permanente					
	Espesor cm (in)	ϵ_v (in/in)	Módulo resiliente MPa (psi)	δ (cm)	N max
Base granular	15 (5,91)	0,00212	186,28 (27018)	0,555	32319
Subbase Granular	20 (7,87)	0,00100	122,86 (17819)	0,304	
Subrasante_interfaz	-	0,00143	31,03 (4500)	0,342	
Subrasante_6" de interfaz	-	0,00102	-	-	
			Total	1,200	



TablaA3. 49 Cálculo de módulos EP4 CBR 2

	Capa	Mr (1 iteración) (psi)	Mr (1 iteración) (MPa)	Invariante de esfuerzos (θ) (kPa)	T_{oct} (kPa)	Mr (modelo 1) (kPa)	Mr (modelo 2) (kPa)	Mr (modelo 3) (kPa)	Mr (promedio modelos) (kPa)	Mr (promedio modelos) (MPa)	Criterio de aceptación (%)
Iteración 1	Base	28000,000	193,053	61,974	21,076	78113,891	142330,972	89696,154	103380,339	103,380	-46,450
	Subbase	14000,000	96,527	74,364	56,701	134751,336	164926,196	136312,882	145330,138	145,330	50,5596746
	Subrasante	6000,000	41,369							41,369	0,000
Iteración 2	Base	14994,050	103,380	240,481	56,023	148138,585	216108,633	172429,005	178892,075	178,892	73,043
	Subbase	21078,354	145,330	79,758	68,593	137452,000	167404,610	139284,830	148047,147	148,047	1,86954261
	Subrasante	6000,000	41,369							41,369	0,000
Iteración 3	Base	25946,102	178,892	255,248	55,394	152488,172	220112,005	177453,831	183351,336	183,351	2,493
	Subbase	21472,423	148,047	57,119	64,235	123790,611	155913,521	125674,102	135126,078	135,126	-8,72767169
	Subrasante	6000,000	41,369							41,369	0,000
Iteración 4	Base	26592,863	183,351	252,501	54,469	151742,774	219379,526	176530,570	182550,957	182,551	-0,437
	Subbase	19598,381	135,126	60,224	62,613	125917,500	157681,218	127739,650	137112,789	137,113	1,47026501
	Subrasante	6000,000	41,369							41,369	0,000
Iteración 5	Base	26476,778	182,551	252,957	54,619	151867,129	219501,582	176684,295	182684,335	182,684	0,073
	Subbase	19886,529	137,113	59,725	62,878	125580,810	157402,300	127413,047	136798,719	136,799	-0,22905988
	Subrasante	6000,000	41,369							41,369	0,000



TablaA3. 50 Resumen módulos EP4 CBR 2

Mr Final MPa (psi)	
Base granular	182,68 (26496)
Subbase Granular	136,80 (198401)
Subrasante	41,37 (6000)

TablaA3. 51 Deformación Permanente EP4 CBR 2

Deformación Permanente					
	Espesor cm (in)	ϵ_v (in/in)	Módulo resiliente MPa (psi)	δ (cm)	N max
Base granular	15 (5,91)	0,00222	182,68 (26496)	0,573	30748
Subbase Granular	20 (7.87)	0,00091	136,80 (198401)	0,286	
Subrasante_interfaz	-	0,00118	41,37 (6000)	0,341	
Subrasante_6" de interfaz	-	0,00084	-	-	
			Total	1,200	



TablaA3. 52 Cálculo de módulos EP4 CBR 3

	Capa	Mr (1 iteración) (psi)	Mr (1 iteración) (MPa)	Invariante de esfuerzos (θ) (kPa)	T_{oct} (kPa)	Mr (modelo 1) (kPa)	Mr (modelo 2) (kPa)	Mr (modelo 3) (kPa)	Mr (promedio modelos) (kPa)	Mr (promedio modelos) (MPa)	Criterio de aceptación (%)
Iteración 1	Base	28000,000	193,053	219,300	48,923	142049,961	210058,034	164934,026	210058,034	210,058	8,808
	Subbase	14000,000	96,527	104,639	55,315	150150,513	177371,694	151433,894	177371,694	177,372	83,7542086
	Subrasante	9000,000	62,053							62,053	0,000
Iteración 2	Base	30466,342	210,058	77,426	26,866	86742,364	152432,309	99855,928	152432,309	152,432	-27,433
	Subbase	25725,589	177,372	75,779	63,326	135380,992	165589,734	137106,613	165589,734	165,590	-6,64252513
	Subrasante	9000,000	62,053							62,053	0,000
Iteración 3	Base	22108,437	152,432	73,551	25,400	84675,028	150040,568	97414,895	150040,568	150,041	-1,569
	Subbase	24016,760	165,590	90,177	65,427	142974,304	171840,436	144653,025	171840,436	171,840	3,774812
	Subrasante	9000,000	62,053							62,053	0,000
Iteración 4	Base	21761,545	150,041	79,097	27,073	87631,910	153437,964	100888,808	153437,964	153,438	2,264
	Subbase	24923,348	171,840	89,391	66,026	142562,872	171519,998	144263,141	171519,998	171,520	-0,18647378
	Subrasante	9000,000	62,053							62,053	0,000
Iteración 5	Base	22254,295	153,438	79,002	26,855	87589,348	153381,257	100830,464	153381,257	153,381	-0,037
	Subbase	24876,873	171,520	88,634	65,809	142186,352	171209,819	143886,047	171209,819	171,210	-0,18084155
	Subrasante	9000,000	62,053							62,053	0,000



TablaA3. 53 Resumen de módulos EP4 CBR 3

Mr Final MPa (psi)	
Base granular	153,38 (22246)
Subbase Granular	171,21 (24832)
Subrasante	62,05 (9000)

TablaA3. 54 Deformación permanente EP4 CBR 3

Deformación Permanente					
	Espesor cm (in)	ϵ_v (in/in)	Módulo resiliente MPa (psi)	δ (cm)	N max
Base granular	15 (5,91)	0,00277	153,38 (22246)	0,641	21045
Subbase Granular	20 (7.87)	0,00078	171,21 (24832)	0,248	
Subrasante_interfaz	-	0,00089	62,05 (9000)	0,311	
Subrasante_6" de interfaz	-	0,00063	-	-	
			Total	1,200	



TablaA3. 55 Cálculo de módulos EP4 CBR 4

	Capa	Mr (1 iteración) (psi)	Mr (1 iteración) (MPa)	Invariante de esfuerzos (θ) (kPa)	T_{oct} (kPa)	Mr (modelo 1) (kPa)	Mr (modelo 2) (kPa)	Mr (modelo 3) (kPa)	Mr (promedio modelos) (kPa)	Mr (promedio modelos) (MPa)	Criterio de aceptación (%)
Iteración 1	Base	28000,000	193,053	715,283	184,932	242811,162	302328,076	291600,198	278913,145	278,913	44,475
	Subbase	14000,000	96,527	127,931	47,999	160238,168	185129,362	161103,819	168823,783	168,824	74,8987112
	Subrasante	12500,000	86,184							86,184	0,000
Iteración 2	Base	40452,932	278,913	228,910	50,676	144926,835	212851,202	168379,028	175385,688	175,386	-37,118
	Subbase	24485,820	168,824	93,547	58,296	144840,757	173188,532	146296,837	154775,375	154,775	-8,3213439
	Subrasante	12500,000	86,184							86,184	0,000
Iteración 3	Base	25437,543	175,386	220,687	51,576	142348,809	210466,405	165436,091	172750,435	172,750	-1,503
	Subbase	22448,270	154,775	111,393	62,237	152938,969	179750,575	154379,512	162356,352	162,356	4,89805072
	Subrasante	12500,000	86,184							86,184	0,000
Iteración 4	Base	25055,332	172,750	221,733	51,976	142653,398	210772,928	165813,304	173079,877	173,080	0,191
	Subbase	23547,798	162,356	110,088	63,002	152348,368	179300,159	153820,448	161822,992	161,823	-0,32851196
	Subrasante	12500,000	86,184							86,184	0,000
Iteración 5	Base	25103,114	173,080	221,680	51,947	142638,384	210757,380	165794,162	173063,309	173,063	-0,010
	Subbase	23470,441	161,823	110,152	62,943	152377,979	179322,266	153847,873	161849,373	161,849	0,01630229
	Subrasante	12500,000	86,184							86,184	0,000



TablaA3. 56 Resumen módulos EP4 CBR 4

Mr Final MPa (psi)	
Base granular	173,06 (25101)
Subbase Granular	161,85 (23474)
Subrasante	86,18 (12500)

TablaA3. 57 Deformación permanente EP4 CBR 4

Deformación Permanente					
	Espesor cm (in)	ϵ_v (in/in)	Módulo resiliente MPa (psi)	δ (cm)	N max
Base granular	15 (5,91)	0,00250	173,06 (25101)	0,636	31292
Subbase Granular	20 (7.87)	0,00079	161,85 (23474)	0,263	
Subrasante_interfaz	-	0,00066	86,18 (12500)	0,300	
Subrasante_6" de interfaz	-	0,00046	-	-	
			Total	1,200	



TablaA3. 58 Cálculo de módulos EP4 CBR 5

	Capa	Mr (1 iteración) (psi)	Mr (1 iteración) (MPa)	Invariante de esfuerzos (θ) (kPa)	T_{oct} (kPa)	Mr (modelo 1) (kPa)	Mr (modelo 2) (kPa)	Mr (modelo 3) (kPa)	Mr (promedio modelos) (kPa)	Mr (promedio modelos) (MPa)	Criterio de aceptación (%)
Iteración 1	Base	28000,000	193,053	711,132	186,219	242075,281	301786,639	290783,364	278215,095	278,215	44,113
	Subbase	14000,000	96,527	136,248	47,842	163465,103	187629,978	164259,926	171785,002	171,785	77,9664866
	Subrasante	14200,000	97,906							97,906	0,000
Iteración 2	Base	40351,688	278,215	223,674	50,220	143342,533	211339,658	166511,547	173731,246	173,731	-37,555
	Subbase	24915,308	171,785	102,160	58,194	148931,677	176468,324	150319,904	158573,302	158,573	-7,69083472
	Subrasante	14200,000	97,906							97,906	0,000
Iteración 3	Base	25197,587	173,731	216,054	51,313	140913,394	209095,456	163752,779	171253,876	171,254	-1,426
	Subbase	22999,113	158,573	119,335	62,378	156299,516	182406,765	157689,105	165465,129	165,465	4,34614569
	Subrasante	14200,000	97,906							97,906	0,000
Iteración 4	Base	24838,275	171,254	216,927	51,661	141170,263	209355,273	164071,318	171532,285	171,532	0,163
	Subbase	23998,688	165,465	118,244	63,052	155826,595	182050,415	157243,840	165040,283	165,040	-0,25675816
	Subrasante	14200,000	97,906							97,906	0,000
Iteración 5	Base	24878,655	171,532	216,881	51,635	141157,266	209341,736	164054,715	171517,906	171,518	-0,008
	Subbase	23937,069	165,040	118,292	63,006	155847,711	182065,966	157263,262	165058,980	165,059	0,01132856
	Subrasante	14200,000	97,906							97,906	0,000



TablaA3. 59 Resumen módulos EP4 CBR 5

Mr Final MPa (psi)	
Base granular	171,52 (24877)
Subbase Granular	165,06 (23940)
Subrasante	97,91(14200)

TablaA3. 60 Deformación permanente EP4 CBR 5

Deformación Permanente					
	Espesor cm (in)	ϵ_v (in/in)	Módulo resiliente MPa (psi)	δ (cm)	N max
Base granular	15 (5,91)	0,00246	171,52 (24877)	0,625	30327
Subbase Granular	20 (7.87)	0,00080	165,06 (23940)	0,264	
Subrasante_interfaz	-	0,00072	97,91(14200)	0,311	
Subrasante_6" de interfaz	-	0,00050	-	-	
			Total	1,200	

9.5 Estructura de Pavimento 5 (EP5)

TablaA3. 61 Cálculo de módulos EP5 CBR 1

	Capa	Mr (1 iteración)	Mr (1 iteración)	Invariante de esfuerzos (θ)	T_{oct}	Mr (modelo 1)	Mr (modelo 2)	Mr (modelo 3)	Mr (promedio modelos)	Mr (promedio modelos)	Criterio de aceptación
		(psi)	(MPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(MPa)	(%)
Iteración 1	Base	600000,000	4136,854	115,581	25,479	105282,411	172452,022	121126,926	132953,786	132,954	-96,786
	Subbase	14000,000	96,527	11,643	20,507	75626,819	111112,483	77002,983	87914,095	87,914	-8,922
	Subrasante	4500,000	31,026							31,026	0,000
Iteración 2	Base	600000,000	4136,854	109,806	25,028	102733,177	169750,882	118171,055	130218,371	130,218	-96,852
	Subbase	12750,861	87,914	15,588	19,289	82958,944	118237,629	84244,097	95146,890	95,147	8,227
	Subrasante	4500,000	31,026							31,026	0,000
Iteración 3	Base	600000,000	4136,854	114,672	25,406	104885,887	172033,271	120666,960	132528,706	132,529	-96,796
	Subbase	13799,890	95,147	12,269	20,314	76892,814	112358,957	78255,207	89168,992	89,169	-6,283
	Subrasante	4500,000	31,026							31,026	0,000
Iteración 4	Base	600000,000	4136,854	110,662	25,094	103115,627	170157,505	118614,338	130629,157	130,629	-96,842
	Subbase	12932,869	89,169	15,008	19,469	81966,458	117286,106	83265,525	94172,697	94,173	5,611
	Subrasante	4500,000	31,026							31,026	0,000
Iteración 5	Base	600000,000	4136,854	114,027	25,356	104603,256	171734,503	120339,173	132225,644	132,226	-96,804*
	Subbase	13658,595	94,173	12,713	20,178	77764,328	113212,992	79116,770	90031,363	90,031	-4,398
	Subrasante	4500,000	31,026							31,026	0,000

*Modelo no convergió, se utilizaron valores de las últimas iteraciones



TablaA3. 62 Resumen de módulos EP5 CBR 1

Mr Final MPa (psi)	
Base Estabilizada	4136,85 (600000)
Subbase Granular	90,03 (13058)
Subrasante	31,03 (4500)

TablaA3. 63 Deformación permanente EP5 CBR 1

Deformación Permanente					
	Espesor cm (in)	ϵ_v (in/in)	Módulo resiliente MPa (psi)	δ (cm)	N max
Base Estabilizada	15 (5,91)	0,00009	4136,85 (600000)	0,046	86092745
Subbase Granular	20 (7.87)	0,00043	90,03 (13058)	0,259	
Subrasante_interfaz	-	0,00065	31,03 (4500)	0,895	
Subrasante_6" de interfaz	-	0,00052	-	-	
Total				1,200	



TablaA3. 64 Cálculo de módulos EP5 CBR 2

	Capa	Mr (1 iteración)	Mr (1 iteración)	Invariante de esfuerzos (θ)	T_{oct}	Mr (modelo 1)	Mr (modelo 2)	Mr (modelo 3)	Mr (promedio modelos)	Mr (promedio modelos)	Criterio de aceptación
		(psi)	(MPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(MPa)	(%)
Iteración 1	Base	600000,000	4136,854	33,168	9,272	58116,198	117403,133	66361,222	80626,851	80,627	-98,051
	Subbase	14000,000	96,527	25,737	19,591	97193,905	131564,237	98312,443	109023,528	109,024	12,9466135
	Subrasante	6000,000	41,369							41,369	0,000
Iteración 2	Base	600000,000	4136,854	117,983	24,766	106364,208	173548,079	122333,851	134082,046	134,082	-96,759
	Subbase	15812,526	109,024	20,361	21,105	90221,091	125159,383	91467,550	102282,675	102,283	-6,18293478
	Subrasante	6000,000	41,369							41,369	0,000
Iteración 3	Base	600000,000	4136,854	114,024	24,482	104641,563	171733,224	120337,770	132237,519	132,238	-96,803
	Subbase	14834,848	102,283	23,246	20,296	94099,338	128742,243	95277,804	106039,795	106,040	3,67327167
	Subrasante	6000,000	41,369							41,369	0,000
Iteración 4	Base	600000,000	4136,854	116,248	24,641	105613,214	172758,111	121463,542	133278,289	133,278	-96,778
	Subbase	15379,772	106,040	21,633	20,750	91974,664	126785,896	93191,346	103983,968	103,984	-1,93873117
	Subrasante	6000,000	41,369							41,369	0,000
Iteración 5	Base	600000,000	4136,854	115,036	24,554	105084,952	172201,286	120851,436	132712,558	132,713	-96,792*
	Subbase	15081,600	103,984	22,514	20,503	93148,296	127868,476	94344,164	105120,312	105,120	1,09280643
	Subrasante	6000,000	41,369							41,369	0,000

*Modelo no convergió, se utilizaron valores de las últimas iteraciones



TablaA3. 65 Resumen módulos EP5 CBR 2

Mr Final MPa (psi)	
Base Estabilizada	4136,85 (600000)
Subbase Granular	105,12 (15246)
Subrasante	41,37 (6000)

TablaA3. 66 Deformación Permanente EP5 CBR 2

Deformación Permanente					
	Espesor cm (in)	ϵ_v (in/in)	Módulo resiliente MPa (psi)	δ (cm)	N max
Base Estabilizada	15 (5,91)	0,00009	4136,85 (600000)	0,047	279598115
Subbase Granular	20 (7.87)	0,00040	105,12 (15246)	0,257	
Subrasante_interfaz	-	0,00056	41,37 (6000)	0,897	
Subrasante_6" de interfaz	-	0,00044	-	-	
			Total	1,200	



TablaA3. 67 Cálculo de módulos EP5 CBR 3

	Capa	Mr (1 iteración)	Mr (1 iteración)	Invariante de esfuerzos (θ)	T_{oct}	Mr (modelo 1)	Mr (modelo 2)	Mr (modelo 3)	Mr (promedio modelos)	Mr (promedio modelos)	Criterio de aceptación
		(psi)	(MPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(MPa)	(%)
Iteración 1	Base	600000,000	4136,854	262,802	160,459	150545,434	222098,139	179966,010	184203,195	184,203	-95,547
	Subbase	14000,000	96,527	46,643	18,406	117321,890	149327,960	118071,138	128240,329	128,240	32,8549089
	Subrasante	9000,000	62,053							62,053	0,000
Iteración 2	Base	600000,000	4136,854	46,153	12,505	68040,075	129979,172	77817,136	91945,461	91,945	-97,777
	Subbase	18599,687	128,240	35,285	22,057	107314,622	140710,697	108346,886	118790,735	118,791	-7,36866042
	Subrasante	9000,000	62,053							62,053	0,000
Iteración 3	Base	600000,000	4136,854	43,691	12,660	66260,943	127803,114	75788,030	89950,696	89,951	-97,826
	Subbase	17229,139	118,791	38,589	20,779	110430,684	143419,216	111375,515	121741,805	121,742	2,48425947
	Subrasante	9000,000	62,053							62,053	0,000
Iteración 4	Base	600000,000	4136,854	44,355	12,642	66745,019	128398,253	76341,055	90494,776	90,495	-97,812
	Subbase	17657,156	121,742	37,537	21,064	109462,120	142577,397	110431,448	120823,655	120,824	-0,75417801
	Subrasante	9000,000	62,053							62,053	0,000
Iteración 5	Base	600000,000	4136,854	44,142	12,650	66589,810	128207,677	76163,807	90320,431	90,320	-97,817*
	Subbase	17523,990	120,824	37,865	20,976	109765,271	142841,176	110727,000	121111,149	121,111	0,2379452
	Subrasante	9000,000	62,053							62,053	0,000

*Modelo no convergió, se utilizaron valores de las últimas iteraciones



TablaA3. 68 Resumen de módulos EP5 CBR 3

Mr Final MPa (psi)	
Base Estabilizada	4136,85 (600000)
Subbase Granular	121,11 (17566)
Subrasante	62,05 (9000)

TablaA3. 69 Deformación permanente EP5 CBR 3

Deformación Permanente					
	Espesor cm (in)	ϵ_v (in/in)	Módulo resiliente MPa (psi)	δ (cm)	N max
Base Estabilizada	15 (5,91)	0,00010	4136,85 (600000)	0,049	27080788474
Subbase Granular	20 (7.87)	0,00037	121,11 (17566)	0,265	
Subrasante_interfaz	-	0,00044	62,05 (9000)	0,886	
Subrasante_6" de interfaz	-	0,00035	-	-	
			Total	1,200	



TablaA3. 70 Cálculo de módulos EP5 CBR 4

	Capa	Mr (1 iteración)	Mr (1 iteración)	Invariante de esfuerzos (θ)	T_{oct}	Mr (modelo 1)	Mr (modelo 2)	Mr (modelo 3)	Mr (promedio modelos)	Mr (promedio modelos)	Criterio de aceptación
		(psi)	(MPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(MPa)
Iteración	Base	600000,000	4136,854	257,378	162,908	148968,192	220676,062	178165,987	182603,413	182,603	-95,586
	Subbase	14000,000	96,527	63,342	18,060	129246,099	159385,781	129741,233	139457,704	139,458	44,4759279
	Subrasante	12500,000	86,184							86,184	0,000
Iteración	Base	600000,000	4136,854	54,187	13,965	73460,153	136565,087	84075,220	98033,487	98,033	-97,630
	Subbase	20226,630	139,458	50,660	21,744	120317,486	151978,816	121113,915	131136,739	131,137	-5,96665842
	Subrasante	12500,000	86,184							86,184	0,000
Iteración	Base	600000,000	4136,854	263,014	157,860	150681,367	222153,224	180035,866	184290,152	184,290	-95,545
	Subbase	19019,776	131,137	53,137	21,071	122168,414	153532,408	122908,261	132869,694	132,870	1,32148696
	Subrasante	12500,000	86,184							86,184	0,000
Iteración	Base	600000,000	4136,854	263,829	157,809	150907,761	222365,006	180304,530	184525,765	184,526	-95,539
	Subbase	19271,120	132,870	52,621	21,212	121787,449	153213,406	122539,160	132513,338	132,513	-0,2681995
	Subrasante	12500,000	86,184							86,184	0,000
Iteración	Base	600000,000	4136,854	263,665	157,823	150862,278	222322,578	180250,694	184478,516	184,479	-95,541*
	Subbase	19219,435	132,513	52,728	21,183	121866,132	153279,327	122615,407	132586,955	132,587	0,05555428
	Subrasante	12500,000	86,184							86,184	0,000

*Modelo no convergió, se utilizaron valores de las últimas iteraciones



TablaA3. 71 Resumen módulos EP5 CBR 4

Mr Final MPa (psi)	
Base Estabilizada	4136,85 (600000)
Subbase Granular	132,59 (19230)
Subrasante	86,18 (12500)

TablaA3. 72 Deformación permanente EP5 CBR 4

Deformación Permanente					
	Espesor cm (in)	ϵ_v (in/in)	Módulo resiliente MPa (psi)	δ (cm)	N max
Base Estabilizada	15 (5,91)	0,000096	4136,85 (600000)	0,050	1.00E+50
Subbase Granular	20 (7.87)	0,000348	132,59 (19230)	0,277	
Subrasante_interfaz	-	0,000362	86,18 (12500)	0,830	
Subrasante_6" de interfaz	-	0,000284	-	-	
			Total	1,158	



TablaA3. 73 Cálculo de módulos EP5 CBR 5

	Capa	Mr (1 iteración) (psi)	Mr (1 iteración) (MPa)	Invariante de esfuerzos (θ) (kPa)	T_{oct} (kPa)	Mr (modelo 1) (kPa)	Mr (modelo 2) (kPa)	Mr (modelo 3) (kPa)	Mr (promedio modelos) (kPa)	Mr (promedio modelos) (MPa)	Criterio de aceptación (%)
Iteración 1	Base	600000,000	4136,854	255,312	163,863	148363,061	220128,975	177475,241	181989,093	181,989	-95,601
	Subbase	14000,000	96,527	69,633	17,991	133174,485	162633,172	133580,918	143129,525	143,130	48,2798752
	Subrasante	14200,000	97,906							97,906	0,000
Iteración 2	Base	600000,000	4136,854	57,584	14,494	75625,875	139146,736	86575,729	100449,447	100,449	-97,572
	Subbase	20759,183	143,130	57,069	21,793	124931,270	155884,334	125640,084	135485,229	135,485	-5,34082389
	Subrasante	14200,000	97,906							97,906	0,000
Iteración 3	Base	600000,000	4136,854	274,290	162,826	153611,010	225044,282	183715,885	187457,059	187,457	-95,469
	Subbase	19650,471	135,485	59,173	21,210	126388,314	157091,169	127049,026	136842,836	136,843	1,00203321
	Subrasante	14200,000	97,906							97,906	0,000
Iteración 4	Base	600000,000	4136,854	274,901	162,789	153776,924	225198,537	183912,991	187629,484	187,629	-95,464
	Subbase	19847,375	136,843	58,799	21,315	126132,189	156879,446	126801,495	136604,377	136,604	-0,17425789
	Subrasante	14200,000	97,906							97,906	0,000
Iteración 5	Base	600000,000	4136,854	274,793	162,795	153747,740	225171,385	183878,291	187599,139	187,599	-95,465*
	Subbase	19812,790	136,604	58,865	21,297	126177,181	156916,653	126844,984	136646,273	136,646	0,03066947
	Subrasante	14200,000	97,906							97,906	0,000

*Modelo no convergió, se utilizaron valores de las últimas iteraciones



TablaA3. 74 Resumen módulos EP5 CBR 5

Mr Final MPa (psi)	
Base Estabilizada	4136,85 (600000)
Subbase Granular	136,65 (19819)
Subrasante	97,91 (14200)

TablaA3. 75 Deformación permanente EP5 CBR 5

Deformación Permanente					
	Espesor cm (in)	ϵ_v (in/in)	Módulo resiliente MPa (psi)	δ (cm)	N max
Base Estabilizada	15 (5,91)	0,00010	4136,85 (600000)	0,050	1.00E+50
Subbase Granular	20 (7,87)	0,00034	136,65 (19819)	0,271	
Subrasante_interfaz	-	0,00033	97,91 (14200)	0,731	
Subrasante_6" de interfaz	-	0,00026	-	-	
			Total	1,052	



9.6 Estructura de Pavimento 6 (EP6)

TablaA3. 76 Cálculo de módulos EP6 CBR 1

	Capa	Mr (1 iteración) (psi)	Mr (1 iteración) (MPa)	Invariante de esfuerzos (θ) (kPa)	T_{oct} (kPa)	Mr (modelo 1) (kPa)	Mr (modelo 2) (kPa)	Mr (modelo 3) (kPa)	Mr (promedio modelos) (kPa)	Mr (promedio modelos) (MPa)	Criterio de aceptación (%)
Iteración 1	Base	28000,000	193,053	236,045	47,288	147264,665	214872,876	170888,494	177675,345	177,675	-7,966
	Subbase	14000,000	96,527	24,634	45,650	95258,400	130342,166	96994,684	107531,750	107,532	11,4011557
	Subrasante	4500,000	31,026							31,026	0,000
Iteración 2	Base	25769,630	177,675	242,864	47,997	149262,111	216766,094	173250,637	179759,614	179,760	1,173
	Subbase	15596,162	107,532	21,045	48,135	90586,513	126043,314	92403,118	103010,982	103,011	-4,20412445
	Subrasante	4500,000	31,026							31,026	0,000
Iteración 3	Base	26071,928	179,760	240,584	47,764	148597,523	216137,245	172464,732	179066,500	179,067	-0,386
	Subbase	14940,480	103,011	22,936	47,367	93098,880	128374,932	94884,978	105452,930	105,453	2,37057068
	Subrasante	4500,000	31,026							31,026	0,000
Iteración 4	Base	25971,400	179,067	241,796	47,883	148951,298	216471,870	172882,770	179435,313	179,435	0,206
	Subbase	15294,654	105,453	21,840	47,763	91661,435	127042,743	93464,463	104056,214	104,056	-1,32449263
	Subrasante	4500,000	31,026							31,026	0,000
Iteración 5	Base	26024,892	179,435	241,110	47,815	148751,079	216282,517	172646,171	179226,589	179,227	-0,116
	Subbase	15092,078	104,056	22,464	47,538	92486,273	127808,086	94279,741	104858,033	104,858	0,77056379
	Subrasante	4500,000	31,026							31,026	0,000



TablaA3. 77 Resumen de módulos EP6 CBR 1

Mr Final MPa (psi)	
Base granular	179,23 (25995)
Subbase Granular	104,86 (26308)
Subrasante	31,03 (4500)

TablaA3. 78 Deformación permanente EP6 CBR 1

Deformación Permanente					
	Espesor cm (in)	ϵ_v (in/in)	Módulo resiliente MPa (psi)	δ (cm)	N max
Base granular	20 (7,87)	0,00196	179,23 (25995)	0,662	27712
Subbase Granular	20 (7,87)	0,00088	104,86 (26308)	0,244	
Subrasante_interfaz	-	0,00125	31,03 (4500)	0,294	
Subrasante_6" de interfaz	-	0,00090	-	-	
			Total	1,200	



TablaA3. 79 Cálculo de módulos EP6 CBR 2

	Capa	Mr (1 iteración) (psi)	Mr (1 iteración) (MPa)	Invariante de esfuerzos (θ) (kPa)	T_{oct} (kPa)	Mr (modelo 1) (kPa)	Mr (modelo 2) (kPa)	Mr (modelo 3) (kPa)	Mr (promedio modelos) (kPa)	Mr (promedio modelos) (MPa)	Criterio de aceptación (%)
Iteración 1	Base	28000,000	193,053	226,720	46,677	144463,379	212221,984	167600,728	174762,030	174,762	-9,475
	Subbase	14000,000	96,527	45,589	44,242	115747,824	148602,610	117242,719	127197,718	127,198	31,7747801
	Subrasante	6000,000	41,369							41,369	0,000
Iteración 2	Base	25347,090	174,762	240,839	48,114	148654,505	216207,621	172552,620	179138,249	179,138	2,504
	Subbase	18448,469	127,198	34,840	49,175	106206,237	140330,476	107923,794	118153,502	118,154	-7,11035969
	Subrasante	6000,000	41,369							41,369	0,000
Iteración 3	Base	25981,806	179,138	237,369	47,732	147638,715	215243,510	171350,007	178077,411	178,077	-0,592
	Subbase	17136,717	118,154	37,656	47,906	108876,200	142672,929	110538,459	120695,863	120,696	2,15174335
	Subrasante	6000,000	41,369							41,369	0,000
Iteración 4	Base	25827,945	178,077	238,376	47,839	147934,492	215524,235	171699,864	178386,197	178,386	0,173
	Subbase	17505,455	120,696	36,801	48,263	108080,764	141976,754	109759,368	119938,962	119,939	-0,62711419
	Subrasante	6000,000	41,369							41,369	0,000
Iteración 5	Base	25872,730	178,386	238,078	47,806	147847,105	215441,258	171596,426	178294,930	178,295	-0,051
	Subbase	17395,676	119,939	37,057	48,159	108319,935	142186,341	109993,739	120166,672	120,167	0,18985508
	Subrasante	6000,000	41,369							41,369	0,000



TablaA3. 80 Resumen módulos EP6 CBR 2

Mr Final MPa (psi)	
Base granular	178,30 (25859)
Subbase Granular	120,17 (17429)
Subrasante	41,37 (6000)

TablaA3. 81 Deformación Permanente EP6 CBR 2

Deformación Permanente					
	Espesor cm (in)	ϵ_v (in/in)	Módulo resiliente MPa (psi)	δ (cm)	N max
Base granular	20 (7,87)	0,00201	178,30 (25859)	0,674	26988
Subbase Granular	20 (7,87)	0,00078	120,17 (17429)	0,229	
Subrasante_interfaz	-	0,00103	41,37 (6000)	0,297	
Subrasante_6" de interfaz	-	0,00074	-	-	
			Total	1,200	



TablaA3. 82 Cálculo de módulos EP6 CBR 3

	Capa	Mr (1 iteración) (psi)	Mr (1 iteración) (MPa)	Invariante de esfuerzos (θ) (kPa)	T_{oct} (kPa)	Mr (modelo 1) (kPa)	Mr (modelo 2) (kPa)	Mr (modelo 3) (kPa)	Mr (promedio modelos) (kPa)	Mr (promedio modelos) (MPa)	Criterio de aceptación (%)
Iteración 1	Base	28000,000	193,053	215,045	46,227	140851,607	208794,280	163383,816	171009,901	171,010	-11,418
	Subbase	14000,000	96,527	75,201	40,162	135704,204	165319,796	136783,539	145935,846	145,936	51,1871785
	Subrasante	9000,000	62,053							62,053	0,000
Iteración 2	Base	24802,889	171,010	233,552	48,062	146472,263	214171,471	170016,334	176886,689	176,887	3,437
	Subbase	21166,205	145,936	58,497	49,338	125098,449	156706,981	126599,973	136135,135	136,135	-6,71576706
	Subrasante	9000,000	62,053							62,053	0,000
Iteración 3	Base	25655,245	176,887	230,691	47,713	145622,796	213359,867	169009,161	175997,274	175,997	-0,503
	Subbase	19744,732	136,135	60,533	48,159	126490,097	157853,382	127941,378	137428,285	137,428	0,94990213
	Subrasante	9000,000	62,053							62,053	0,000
Iteración 4	Base	25526,247	175,997	231,095	47,761	145743,205	213474,906	169151,789	176123,300	176,123	0,072
	Subbase	19932,288	137,428	60,263	48,325	126307,141	157703,207	127765,410	137258,586	137,259	-0,12348218
	Subrasante	9000,000	62,053							62,053	0,000
Iteración 5	Base	25544,525	176,123	231,043	47,755	145727,785	213460,194	169133,547	176107,175	176,107	-0,009
	Subbase	19907,675	137,259	60,302	48,306	126333,574	157725,006	127790,948	137283,176	137,283	0,01791518
	Subrasante	9000,000	62,053							62,053	0,000



TablaA3. 83 Resumen de módulos EP6 CBR 3

Mr Final MPa (psi)	
Base granular	176,11 (25542)
Subbase Granular	137,28 (19911)
Subrasante	62,05 (9000)

TablaA3. 84 Deformación permanente EP6 CBR 3

Deformación Permanente					
	Espesor cm (in)	ϵ_v (in/in)	Módulo resiliente MPa (psi)	δ (cm)	N max
Base granular	20 (7,87)	0,00208	176,11 (25542)	0,603	26371
Subbase Granular	20 (7,87)	0,00070	137,28 (19911)	0,000	
Subrasante_interfaz	-	0,00079	62,05 (9000)	0,597	
Subrasante_6" de interfaz	-	0,00056	-	-	
			Total	1,200	



TablaA3. 85 Cálculo de módulos EP6 CBR 4

	Capa	Mr (1 iteración)	Mr (1 iteración)	Invariante de esfuerzos (θ)	T_{oct}	Mr (modelo 1)	Mr (modelo 2)	Mr (modelo 3)	Mr (promedio modelos)	Mr (promedio modelos)	Criterio de aceptación
		(psi)	(MPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(MPa)
Iteración 1	Base	28000,000	193,053	528,308	167,245	210506,604	275390,254	251977,133	245957,997	245,958	27,404
	Subbase	14000,000	96,527	97,128	39,268	147162,189	174579,881	147999,386	156580,485	156,580	62,2148525
	Subrasante	12500,000	86,184							86,184	0,000
Iteración 2	Base	35673,191	245,958	549,374	165,949	214564,959	278726,816	256771,036	250020,937	250,021	1,652
	Subbase	22710,079	156,580	69,578	42,536	132342,351	162606,087	133548,751	142832,396	142,832	-8,7802058
	Subrasante	12500,000	86,184							86,184	0,000
Iteración 3	Base	36262,471	250,021	542,784	165,533	213337,467	277692,614	255281,629	248770,570	248,771	-0,500
	Subbase	20716,088	142,832	73,683	41,423	134794,334	164603,258	135927,095	145108,229	145,108	1,59335873
	Subrasante	12500,000	86,184							86,184	0,000
Iteración 4	Base	36081,121	248,771	544,020	165,629	213567,700	277887,368	255561,866	249005,645	249,006	0,094
	Subbase	21046,169	145,108	73,027	41,633	134408,098	164290,374	135553,639	144750,704	144,751	-0,24638529
	Subrasante	12500,000	86,184							86,184	0,000
Iteración 5	Base	36115,215	249,006	543,816	165,609	213529,756	277855,148	255515,496	248966,800	248,967	-0,016
	Subbase	20994,315	144,751	73,126	41,599	134466,366	164337,537	135609,913	144804,605	144,805	0,03723765
	Subrasante	12500,000	86,184							86,184	0,000



TablaA3. 86 Resumen módulos EP6 CBR 4

Mr Final MPa (psi)	
Base granular	248,97 (36110)
Subbase Granular	144,81 (21002)
Subrasante	86,18 (12500)

TablaA3. 87 Deformación permanente EP6 CBR 4

Deformación Permanente					
	Espesor cm (in)	ϵ_v (in/in)	Módulo resiliente MPa (psi)	δ (cm)	N max
Base granular	20 (7,87)	0,001461	248,97 (36110)	0,629	113622
Subbase Granular	20 (7,87)	0,0006192	144,81 (21002)	0,237	
Subrasante_interfaz	-	0,00059338	86,18 (12500)	0,334	
Subrasante_6" de interfaz	-	0,00041968	-	-	
			Total	1,200	



TablaA3. 88 Cálculo de módulos EP6 CBR 5

	Capa	Mr (1 iteración) (psi)	Mr (1 iteración) (MPa)	Invariante de esfuerzos (θ) (kPa)	T_{oct} (kPa)	Mr (modelo 1) (kPa)	Mr (modelo 2) (kPa)	Mr (modelo 3) (kPa)	Mr (promedio modelos) (kPa)	Mr (promedio modelos) (MPa)	Criterio de aceptación (%)
Iteración 1	Base	28000,000	193,053	525,743	168,173	209976,091	274977,769	251386,751	245446,870	245,447	27,139
	Subbase	14000,000	96,527	104,957	39,074	150818,445	177486,565	151575,729	159960,246	159,960	65,7162302
	Subrasante	14200,000	97,906							97,906	0,000
Iteración 2	Base	35599,059	245,447	547,657	167,096	214194,112	278458,144	256383,808	249678,688	249,679	1,724
	Subbase	23200,272	159,960	77,701	42,393	137045,819	166475,699	138168,627	147230,048	147,230	-7,95835095
	Subrasante	14200,000	97,906							97,906	0,000
Iteración 3	Base	36212,832	249,679	541,734	166,682	213091,395	277527,146	255043,621	248554,054	248,554	-0,450
	Subbase	21353,913	147,230	81,204	41,405	138999,117	168046,442	140057,688	149034,416	149,034	1,22554273
	Subrasante	14200,000	97,906							97,906	0,000
Iteración 4	Base	36049,718	248,554	542,690	166,763	213269,213	277677,841	255260,377	248735,811	248,736	0,073
	Subbase	21615,614	149,034	80,732	41,565	138738,527	167838,069	139806,632	148794,410	148,794	-0,16104068
	Subrasante	14200,000	97,906							97,906	0,000
Iteración 5	Base	36076,079	248,736	542,557	166,750	213244,504	277656,865	255230,202	248710,524	248,711	-0,010
	Subbase	21580,805	148,794	80,795	41,545	138773,223	167865,844	139840,089	148826,385	148,826	0,02149
	Subrasante	14200,000	97,906							97,906	0,000



TablaA3. 89 Resumen módulos EP6 CBR 5

Mr Final MPa (psi)	
Base granular	272,82 (39569)
Subbase Granular	148,83 (21585)
Subrasante	97,91(14200)

TablaA3. 90 Deformación permanente EP6 CBR 5

Deformación Permanente					
	Espesor cm (in)	ϵ_v (in/in)	Módulo resiliente MPa (psi)	δ (cm)	N max
Base granular	20 (7,87)	0,00147	272,82 (39569)	0,640	124727
Subbase Granular	20 (7,87)	0,00061	148,83 (21585)	0,236	
Subrasante_interfaz	-	0,00054	97,91(14200)	0,324	
Subrasante_6" de interfaz	-	0,00038	-	-	
			Total	1,200	

9.7 Estructura de Pavimento 7 (EP7)

TablaA3. 91 Cálculo de módulos EP7 CBR 1

	Capa	Mr (1 iteración) (psi)	Mr (1 iteración) (MPa)	Invariante de esfuerzos (θ) (kPa)	T_{oct} (kPa)	Mr (modelo 1) (kPa)	Mr (modelo 2) (kPa)	Mr (modelo 3) (kPa)	Mr (promedio modelos) (kPa)	Mr (promedio modelos) (MPa)	Criterio de aceptación (%)
Iteración 1	Base	600000,000	4136,854	335,063	166,880	169034,573	239352,704	202320,821	203569,366	203,569	-95,079
	Subbase	14000,000	96,527	4,983	13,798	57942,991	92736,834	59289,870	69989,898	69,990	-27,492
	Subrasante	4500,000	31,026							31,026	0,000
Iteración 2	Base	600000,000	4136,854	324,307	168,023	166360,424	236959,247	199163,680	200827,784	200,828	-95,145
	Subbase	10151,177	69,990	14,371	11,108	81039,770	116207,230	82160,255	93135,752	93,136	33,070
	Subrasante	4500,000	31,026							31,026	0,000
Iteración 3	Base	600000,000	4136,854	333,744	167,018	168709,100	239062,147	201936,600	203235,949	203,236	-95,087
	Subbase	13508,199	93,136	6,145	13,455	61918,906	96973,130	63245,824	74045,953	74,046	-20,497
	Subrasante	4500,000	31,026							31,026	0,000
Iteración 4	Base	600000,000	4136,854	326,024	167,839	166790,385	237345,077	199671,405	201268,956	201,269	-95,135
	Subbase	10739,458	74,046	12,851	11,549	78217,251	113473,180	79379,829	90356,754	90,357	22,028
	Subrasante	4500,000	31,026							31,026	0,000
Iteración 5	Base	600000,000	4136,854	332,658	167,135	168440,495	238822,298	201619,631	202960,808	202,961	-95,094*
	Subbase	13105,139	90,357	7,103	13,171	64822,672	100010,085	66129,824	76987,527	76,988	-14,796
	Subrasante	4500,000	31,026							31,026	0,000

*Modelo no convergió, se utilizaron valores de las últimas iteraciones



TablaA3. 92 Resumen de módulos EP7 CBR 1

Mr Final MPa (psi)	
Base Estabilizada	4136,85 (600000)
Subbase Granular	83,67 (12136)
Subrasante	31,03 (4500)

TablaA3. 93 Deformación permanente EP7 CBR 1

Deformación Permanente					
	Espesor cm (in)	ϵ_v (in/in)	Módulo resiliente MPa (psi)	δ (cm)	N max
Base Estabilizada	20 (7,87)	0,000083	4136,85 (600000)	0,000	2.49E+09
Subbase Granular	20 (7,87)	0,000302	83,67 (12136)	0,210	
Subrasante_interfaz	-	0,000432	31,03 (4500)	0,990	
Subrasante_6" de interfaz	-	0,000354	-	-	
			Total	1,200	



TablaA3. 94 Cálculo de módulos EP7 CBR 2

	Capa	Mr (1 iteración)	Mr (1 iteración)	Invariante de esfuerzos (θ)	T_{oct}	Mr (modelo 1)	Mr (modelo 2)	Mr (modelo 3)	Mr (promedio modelos)	Mr (promedio modelos)	Criterio de aceptación
		(psi)	(MPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(MPa)
Iteración 1	Base	600000,000	4136,854	333,667	167,689	168668,466	239045,003	201913,938	203209,135	203,209	-95,088
	Subbase	14000,000	96,527	14,766	13,417	81683,267	116880,803	82849,773	93804,614	93,805	-2,81993566
	Subrasante	6000,000	41,369							41,369	0,000
Iteración 2	Base	600000,000	4136,854	332,665	167,785	168421,226	238823,840	201621,669	202955,578	202,956	-95,094
	Subbase	13605,209	93,805	15,652	13,164	83207,153	118340,393	84349,993	95299,179	95,299	1,59327497
	Subrasante	6000,000	41,369							41,369	0,000
Iteración 3	Base	600000,000	4136,854	333,215	167,732	168557,059	238945,343	201782,218	203094,874	203,095	-95,091
	Subbase	13821,977	95,299	15,165	13,303	82377,310	117546,708	83533,184	94485,734	94,486	-0,85356982
	Subrasante	6000,000	41,369							41,369	0,000
Iteración 4	Base	600000,000	4136,854	332,922	167,764	168484,468	238880,500	201696,531	203020,500	203,020	-95,092
	Subbase	13703,997	94,486	15,430	13,227	82831,217	117981,175	83980,005	94930,799	94,931	0,47103883
	Subrasante	6000,000	41,369							41,369	0,000
Iteración 5	Base	600000,000	4136,854	333,083	167,747	168524,329	238916,117	201743,595	203061,347	203,061	-95,091*
	Subbase	13768,548	94,931	15,285	13,269	82583,252	117743,929	83735,922	94687,701	94,688	-0,25607933
	Subrasante	6000,000	41,369							41,369	0,000

*Modelo no convergió, se utilizaron valores de las últimas iteraciones



TablaA3. 95 Resumen módulos EP7 CBR 2

Mr Final MPa (psi)	
Base Estabilizada	4136,85 (600000)
Subbase Granular	94,67 (13733)
Subrasante	41,37 (6000)

TablaA3. 96 Deformación Permanente EP7 CBR 2

Deformación Permanente					
	Espesor cm (in)	ϵ_v (in/in)	Módulo resiliente MPa (psi)	δ (cm)	N max
Base Estabilizada	20 (7,87)	0,00008	4136,85 (600000)	0,000	42018635870
Subbase Granular	20 (7,87)	0,00029	94,67 (13733)	0,213	
Subrasante_interfaz	-	0,00038	41,37 (6000)	0,987	
Subrasante_6" de interfaz	-	0,00031	-	-	
			Total	1,200	



TablaA3. 97 Cálculo de módulos EP7 CBR 3

	Capa	Mr (1 iteración) (psi)	Mr (1 iteración) (MPa)	Invariante de esfuerzos (θ) (kPa)	T_{oct} (kPa)	Mr (modelo 1) (kPa)	Mr (modelo 2) (kPa)	Mr (modelo 3) (kPa)	Mr (promedio modelos) (kPa)	Mr (promedio modelos) (MPa)	Criterio de aceptación (%)
Iteración 1	Base	600000,000	4136,854	331,613	168,933	168127,354	238590,874	201313,969	202677,399	202,677	-95,101
	Subbase	14000,000	96,527	29,844	12,813	102041,086	135779,511	102899,578	113573,392	113,573	17,6601984
	Subrasante	9000,000	62,053							62,053	0,000
Iteración 2	Base	600000,000	4136,854	337,216	168,464	169505,916	239825,419	202946,484	204092,606	204,093	-95,066
	Subbase	16472,428	113,573	25,187	14,153	96677,942	130960,715	97660,980	108433,213	108,433	-4,52586556
	Subrasante	9000,000	62,053							62,053	0,000
Iteración 3	Base	600000,000	4136,854	335,561	168,601	169099,809	239462,100	202465,550	203675,820	203,676	-95,077
	Subbase	15726,908	108,433	26,594	13,756	98363,229	132485,097	99309,023	110052,450	110,052	1,49330347
	Subrasante	9000,000	62,053							62,053	0,000
Iteración 4	Base	600000,000	4136,854	336,087	168,559	169229,096	239577,834	202618,705	203808,545	203,809	-95,073
	Subbase	15961,758	110,052	26,150	13,881	97838,865	132011,804	98796,425	109549,031	109,549	-0,45743487
	Subrasante	9000,000	62,053							62,053	0,000
Iteración 5	Base	600000,000	4136,854	335,923	168,571	169188,838	239541,787	202570,998	203767,208	203,767	-95,074*
	Subbase	15888,744	109,549	26,288	13,842	98002,429	132159,534	98956,335	109706,099	109,706	0,14337691
	Subrasante	9000,000	62,053							62,053	0,000

*Modelo no convergió, se utilizaron valores de las últimas iteraciones



TablaA3. 98 Resumen de módulos EP7 CBR 3

Mr Final MPa (psi)	
Base Estabilizada	4136,85 (600000)
Subbase Granular	109,71 (15912)
Subrasante	62,05 (9000)

TablaA3. 99 Deformación permanente EP7 CBR 3

Deformación Permanente					
	Espesor cm (in)	ϵ_v (in/in)	Modulo resiliente MPa (psi)	δ (cm)	N max
Base Estabilizada	20 (7,87)	0,00008	4136,85 (600000)	0,000	1E+50
Subbase Granular	20 (7,87)	0,00027	109,71 (15912)	0,222	
Subrasante_interfaz	-	0,00030	62,05 (9000)	0,963	
Subrasante_6" de interfaz	-	0,00025	-	-	
			Total	1,185	



TablaA3. 100 Cálculo de módulos EP7 CBR 4

	Capa	Mr (1 iteración) (psi)	Mr (1 iteración) (MPa)	Invariante de esfuerzos (θ) (kPa)	T_{oct} (kPa)	Mr (modelo 1) (kPa)	Mr (modelo 2) (kPa)	Mr (modelo 3) (kPa)	Mr (promedio modelos) (kPa)	Mr (promedio modelos) (MPa)	Criterio de aceptación (%)
Iteración 1	Base	600000,000	4136,854	329,862	170,025	167664,179	238202,235	200801,032	202222,482	202,222	-95,112
	Subbase	14000,000	96,527	42,230	12,614	113878,629	146200,088	114511,700	124863,472	124,863	29,3565394
	Subrasante	12500,000	86,184							86,184	0,000
Iteración 2	Base	600000,000	4136,854	338,478	169,406	169780,850	240101,422	203312,110	204398,127	204,398	-95,059
	Subbase	18109,916	124,863	35,896	14,595	108117,241	141225,947	108921,047	119421,412	119,421	-4,35840874
	Subrasante	12500,000	86,184							86,184	0,000
Iteración 3	Base	600000,000	4136,854	336,893	169,520	169393,496	239754,556	202852,649	204000,234	204,000	-95,069
	Subbase	17320,611	119,421	37,133	14,226	109292,567	142248,969	110063,802	120535,113	120,535	0,93258069
	Subrasante	12500,000	86,184							86,184	0,000
Iteración 4	Base	600000,000	4136,854	337,217	169,495	169472,825	239825,579	202946,695	204081,700	204,082	-95,067
	Subbase	17482,140	120,535	36,880	14,302	109054,528	142042,116	109832,442	120309,696	120,310	-0,18701368
	Subrasante	12500,000	86,184							86,184	0,000
Iteración 5	Base	600000,000	4136,854	337,155	169,501	169457,456	239811,867	202928,536	204065,953	204,066	-95,067*
	Subbase	17449,446	120,310	36,932	14,286	109103,073	142084,321	109879,636	120355,677	120,356	0,03821893
	Subrasante	12500,000	86,184							86,184	0,000

*Modelo no convergió, se utilizaron valores de las últimas iteraciones



TablaA3. 101 Resumen módulos EP7 CBR 4

Mr Final MPa (psi)	
Base Estabilizada	4136,85 (600000)
Subbase Granular	120,36 (17456)
Subrasante	86,18 (12500)

TablaA3. 102 Deformación permanente EP7 CBR 4

Deformación Permanente					
	Espesor cm (in)	ϵ_v (in/in)	Módulo resiliente MPa (psi)	δ (cm)	N max
Base Estabilizada	20 (7,87)	0,000084	4136,85 (600000)	0,000	1,00E+50
Subbase Granular	20 (7,87)	0,000256	120,36 (17456)	0,208	
Subrasante_interfaz	-	0,000252	86,18 (12500)	0,654	
Subrasante_6" de interfaz	-	0,000203	-	-	
			Total	0,862	



TablaA3. 103 Cálculo de módulos EP7 CBR 5

	Capa	Mr (1 iteración)	Mr (1 iteración)	Invariante de esfuerzos (θ)	T_{oct}	Mr (modelo 1)	Mr (modelo 2)	Mr (modelo 3)	Mr (promedio modelos)	Mr (promedio modelos)	Criterio de aceptación
		(psi)	(MPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(MPa)	(%)
Iteración	Base	600000,000	4136,854	329,156	170,464	167477,005	238044,928	200593,550	202038,494	202,038	-95,116
	Subbase	14000,000	96,527	46,991	12,582	117789,418	149564,734	118341,945	128565,366	128,565	33,1916412
	Subrasante	14200,000	97,906							97,906	0,000
Iteración	Base	600000,000	4136,854	338,626	169,831	169802,869	240133,717	203354,907	204430,498	204,430	-95,058
	Subbase	18646,830	128,565	40,461	14,723	112281,425	144873,266	113011,999	123388,897	123,389	-4,02633244
	Subrasante	14200,000	97,906							97,906	0,000
Iteración	Base	600000,000	4136,854	337,168	169,927	169447,110	239814,896	202932,549	204064,852	204,065	-95,067
	Subbase	17896,046	123,389	41,547	14,390	113235,552	145692,696	113937,477	124288,575	124,289	0,72914059
	Subrasante	14200,000	97,906							97,906	0,000
Iteración	Base	600000,000	4136,854	337,424	169,910	169509,488	239870,816	203006,606	204128,970	204,129	-95,066
	Subbase	18026,534	124,289	41,359	14,448	113071,740	145552,213	113778,649	124134,201	124,134	-0,12420647
	Subrasante	14200,000	97,906							97,906	0,000
Iteración	Base	600000,000	4136,854	337,385	169,915	169499,913	239862,308	202995,337	204119,186	204,119	-95,066*
	Subbase	18004,144	124,134	41,391	14,438	113099,752	145576,239	113805,807	124160,599	124,161	0,02126615
	Subrasante	14200,000	97,906							97,906	0,000

*Modelo no convergió, se utilizaron valores de las últimas iteraciones



TablaA3. 104 Resumen módulos EP7 CBR 5

Mr Final MPa (psi)	
Base Estabilizada	4136,85 (600000)
Subbase Granular	124,16 (18008)
Subrasante	97,91 (14200)

TablaA3. 105 Deformación permanente EP7 CBR 5

Deformación Permanente					
	Espesor cm (in)	ϵ_v (in/in)	Módulo resiliente MPa (psi)	δ (cm)	N max
Base Estabilizada	20 (7,87)	0,00008	4136,85 (600000)	0,000	1.00E+50
Subbase Granular	20 (7,87)	0,00025	124,16 (18008)	0,204	
Subrasante_interfaz	-	0,00023	97,91 (14200)	0,579	
Subrasante_6" de interfaz	-	0,00019	-	-	
			Total	0,783	



9.8 Estructura de Pavimento 8 (EP8)

TablaA3. 106 Cálculo de módulos EP8 CBR 1

	Capa	Mr (1 iteración) (psi)	Mr (1 iteración) (MPa)	Invariante de esfuerzos (θ) (kPa)	T_{oct} (kPa)	Mr (modelo 1) (kPa)	Mr (modelo 2) (kPa)	Mr (modelo 3) (kPa)	Mr (promedio modelos) (kPa)	Mr (promedio modelos) (MPa)	Criterio de aceptación (%)
Iteración 1	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base granular	28000,00	193,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	161,75	N/A
	Subbase Granular	14000,00	96,53	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	79,29	N/A
	Subrasante	4500,00	31,03							31,03	0,00
Iteración 2	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base granular	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	161,75	N/A
	Subbase Granular	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	79,29	N/A
	Subrasante	4500,00	31,03							31,03	0,00
Iteración 3	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base granular	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	161,75	N/A
	Subbase Granular	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	79,29	N/A
	Subrasante	4500,00	31,03							31,03	0,00



	Capa	Mr (1 iteración)	Mr (1 iteración)	Invariante de esfuerzos (θ)	T_{oct}	Mr (modelo 1)	Mr (modelo 2)	Mr (modelo 3)	Mr (promedio modelos)	Mr (promedio modelos)	Criterio de aceptación
		(psi)	(MPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(MPa)	(%)
Iteración 4	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base granular	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	161,75	N/A
	Subbase Granular	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	79,29	N/A
	Subrasante	4500,00	31,03							31,03	0,00
Iteración 5	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base granular	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	161,75	N/A
	Subbase Granular	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	79,29	N/A
	Subrasante	4500,00	31,03							31,03	0,00

TablaA3. 107 Resumen de módulos EP8 CBR 1

Mr Final MPa (psi)	
Mezcla asfáltica	1923,64 (279000)
Base granular	161,75 (23460)
Subbase Granular	79,29 (11500)
Subrasante	31,03 (4500)

TablaA3. 108 Deformación permanente EP8 CBR 1

Deformación Permanente					
	Espesor cm (in)	ϵ_v (in/in)	Módulo resiliente MPa (psi)	δ (cm)	N max
CA	5 (1,97)	0,00012351	1923,64 (279000)	0,104	190796
Base granular	15 (5,91)	0,0013295	161,75 (23460)	0,416	
Subbase Granular	15 (5,91)	0,0010385	79,29 (11500)	0,256	
Subrasante_interfaz	-	0,0013388	31,03 (4500)	0,424	
Subrasante_6" de interfaz	-	0,00093291	-	-	
Total				1,200	



TablaA3. 109 Fatiga EP8 CBR 1

Fatiga CA						
	Espesor cm (in)	Módulo resiliente MPa (psi)	ϵt (in/in)	FC 50 %	FC 75 %	N
CA	5 (1,97)	1923,64 (279000)	0,000601	560860,13	1026750,43	1686285,11
d	0,332601011	0,608883055				
c1	1	1				
c1'	-2	-2				
c2'	1	1				
c2''	-4,18	-4,18				
FC (%)	50,00	75,00				
n	560860,13	1026750,43				
N	1686285,11	1686285,11				



TablaA3. 110 Cálculo de módulos EP8 CBR 2

	Capa	Mr (1 iteración) (psi)	Mr (1 iteración) (MPa)	Invariante de esfuerzos (θ) (kPa)	T _{oct} (kPa)	Mr (modelo 1) (kPa)	Mr (modelo 2) (kPa)	Mr (modelo 3) (kPa)	Mr (promedio modelos) (kPa)	Mr (promedio modelos) (MPa)	Criterio de aceptación (%)
Iteración 1	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base granular	28000,00	193,05	193,54	107,92	131423,18	202125,58	155291,49	162946,75	162,95	-15,59
	Subbase Granular	14000,00	96,53	18,73	43,34	87404,57	122955,64	89147,91	99836,04	99,84	3,43
	Subrasante	6000,00	41,37							41,37	0,00
Iteración 2	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base granular	23633,43	162,95	213,28	102,15	137923,47	208263,69	162734,54	169640,57	169,64	4,11
	Subbase Granular	14479,99	99,84	19,04	45,37	87817,32	123383,74	89597,09	100266,05	100,27	0,43
	Subrasante	6000,00	41,37							41,37	0,00
Iteración 3	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base granular	24604,28	169,64	210,14	103,44	136898,09	207316,59	161577,89	168597,53	168,60	-0,61
	Subbase Granular	14542,36	100,27	18,06	45,14	86366,82	122002,19	88150,03	98839,68	98,84	-1,42
	Subrasante	6000,00	41,37							41,37	0,00



	Capa	Mr (1 iteración)	Mr (1 iteración)	Invariante de esfuerzos (θ)	T_{oct}	Mr (modelo 1)	Mr (modelo 2)	Mr (modelo 3)	Mr (promedio modelos)	Mr (promedio modelos)	Criterio de aceptación
		(psi)	(MPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(MPa)	(%)
Iteración 4	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base granular	24453,00	168,60	209,07	103,32	136563,81	206989,00	161178,52	168243,78	168,24	-0,21
	Subbase Granular	14335,48	98,84	19,15	44,92	87982,54	123531,94	89752,74	100422,41	100,42	1,60
	Subrasante	6000,00	41,37							41,37	0,00
Iteración 5	Mezcla asfáltica	279000,00								1923,64	0,00
	Base granular	24401,70	168,24	211,07	103,16	137197,67	207596,90	161919,91	168904,83	168,90	0,39
	Subbase Granular	14565,04	100,42	18,09	45,24	86410,83	122045,79	88195,58	98884,07	98,88	-1,53
	Subrasante	6000,00								41,37	0,00



TablaA3. 111 Resumen módulos EP8 CBR 2

Mr Final kPa (psi)	
Mezcla asfáltica	1923,64 (279000)
Base granular	168,91 (24498)
Subbase Granular	98,88 (14342)
Subrasante	41,37 (6000)

TablaA3. 112 Deformación Permanente EP8 CBR 2

Deformación Permanente					
	Espesor cm (in)	ϵ_v (in/in)	Módulo resiliente MPa (psi)	δ (cm)	N max
CA	5 (1,97)	0,000136	1923,64 (279000)	0,121	215509
Base granular	15 (5,91)	0,001279	168,91 (24498)	0,409	
Subbase Granular	15 (5,91)	0,000878	98,88 (14342)	0,241	
Subrasante_interfaz	-	0,001094	41,37 (6000)	0,428	
Subrasante_6" de interfaz	-	0,000760	-	-	
			Total	1,200	

TablaA3. 113 Fatiga EP8 CBR 2

Fatiga CA						
	Espesor cm (in)	Módulo resiliente MPa (psi)	ϵ_t (in/in)	FC 50 %	FC 75 %	N
CA	5 (1,97)	1923,64 (279000)	0,000574	672895,87	1231851,02	2023132,37
d	0,332601011	0,608883055				
c1	1	1				
c1'	-2	-2				
c2'	1	1				
c2''	-4,18	-4,18				
FC (%)	50,00	75,00				
n	672896	1231851,02				
N	2023132	2023132,37				



TablaA3. 114 Cálculo de módulos EP8 CBR 3

	Capa	Mr (1 iteración) (psi)	Mr (1 iteración) (MPa)	Invariante de esfuerzos (θ) (kPa)	T_{oct} (kPa)	Mr (modelo 1) (kPa)	Mr (modelo 2) (kPa)	Mr (modelo 3) (kPa)	Mr (promedio modelos) (kPa)	Mr (promedio modelos) (MPa)	Criterio de aceptación (%)
Iteración 1	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base granular	28000,00	193,05	210,86	106,84	137003,44	207532,85	161841,74	168792,68	168,79	-12,57
	Subbase Granular	14000,00	96,53	55,58	39,45	123360,14	155009,93	124622,28	134330,78	134,33	39,16
	Subrasante	9000,00	62,05							62,05	0,00
Iteración 2	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base granular	24481,31	168,79	257,69	101,26	151124,94	220758,33	178269,94	183384,40	183,38	8,64
	Subbase Granular	19483,03	134,33	37,12	47,91	108383,71	142237,61	110051,10	120224,14	120,22	-10,50
	Subrasante	9000,00	62,05							62,05	0,00
Iteración 3	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base granular	26597,66	183,38	239,51	104,20	145778,19	215838,88	172092,30	177903,12	177,90	-2,99
	Subbase Granular	17437,04	120,22	42,20	45,38	112930,55	146179,28	114488,14	124532,66	124,53	3,58
	Subrasante	9000,00	62,05							62,05	0,00



	Capa	Mr (1 iteración)	Mr (1 iteración)	Invariante de esfuerzos (θ)	T_{oct}	Mr (modelo 1)	Mr (modelo 2)	Mr (modelo 3)	Mr (promedio modelos)	Mr (promedio modelos)	Criterio de aceptación
		(psi)	(MPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(MPa)	(%)
Iteración 4	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base granular	25802,67	177,90	245,73	103,13	147631,43	217550,40	174232,63	179804,82	179,80	1,07
	Subbase Granular	18061,93	124,53	40,66	46,22	111588,21	145023,56	113181,57	123264,44	123,26	-1,02
	Subrasante	9000,00	62,05							62,05	0,00
Iteración 5	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base granular	26078,48	179,80	243,79	103,50	147055,77	217020,85	173569,39	179215,34	179,22	-0,33
	Subbase Granular	17878,00	123,26	41,07	45,97	111947,19	145332,46	113530,33	123603,33	123,60	0,27
	Subrasante	9000,00	62,05							62,05	0,00

TablaA3. 115 Resumen de módulos EP8 CBR 3

Mr Final kPa (psi)	
Mezcla asfáltica	1923,64 (279000)
Base granular	179,22 (25993)
Subbase Granular	123,60 (17927)
Subrasante	62,05(9000)

Informe LM-PI-UMP-103-R1	Fecha de emisión: Octubre, 2019	Página 166 de 299
--------------------------	---------------------------------	-------------------



TablaA3. 116 Deformación permanente EP8 CBR 3

Deformación Permanente					
	Espesor cm (in)	ϵ_v (in/in)	Módulo resiliente MPa (psi)	δ (cm)	N max
CA	5 (1,97)	0,000152	1923,64 (279000)	0,151	270121
Base granular	15 (5,91)	0,001222	179,22 (25993)	0,405	
Subbase Granular	15 (5,91)	0,000732	123,60 (17927)	0,222	
Subrasante_interfaz	-	0,000826	62,05(9000)	0,422	
Subrasante_6" de interfaz	-	0,000571	-	-	
			Total	1,200	



TablaA3. 117 Fatiga EP8 CBR 3

Fatiga CA						
	Espesor cm (in)	Módulo resiliente MPa (psi)	ϵ_t (in/in)	FC 50 %	FC 75 %	N
CA	5 (1,97)	1923,64 (279000)	0.000544	832512.37	1524056.33	2503036.20
d	0,332601011	0,608883055				
c1	1	1				
c1'	-2	-2				
c2'	1	1				
c2''	-4,18	-4,18				
FC (%)	50,00	75,00				
n	832512	1524056,33				
N	2503036	2503036,20				



TablaA3. 118 Cálculo de módulos EP8 CBR 4

	Capa	Mr (1 iteración) (psi)	Mr (1 iteración) (MPa)	Invariante de esfuerzos (θ) (kPa)	T_{oct} (kPa)	Mr (modelo 1) (kPa)	Mr (modelo 2) (kPa)	Mr (modelo 3) (kPa)	Mr (promedio modelos) (kPa)	Mr (promedio modelos) (MPa)	Criterio de aceptación (%)
Iteración 1	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base granular	28000,00	193,05	223,61	106,32	140954,76	211320,00	166487,31	172920,69	172,92	-10,43
	Subbase Granular	14000,00	96,53	84,63	37,96	140937,42	169533,23	141853,05	150774,57	150,77	56,20
	Subrasante	12500,00	86,18							86,18	0,00
Iteración 2	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base granular	25080,03	172,92	278,10	101,56	156769,45	226003,36	184942,62	189238,48	189,24	9,44
	Subbase Granular	21868,00	150,77	61,15	45,33	126969,92	158192,04	128338,47	137833,48	137,83	-8,58
	Subrasante	12500,00	86,18							86,18	0,00
Iteración 3	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base granular	27446,72	189,24	262,84	104,39	152451,54	222108,44	179979,07	184846,35	184,85	-2,32
	Subbase Granular	19991,06	137,83	64,34	43,43	129082,24	159916,38	130366,25	139788,29	139,79	1,42
	Subrasante	12500,00	86,18							86,18	0,00



	Capa	Mr (1 iteración)	Mr (1 iteración)	Invariante de esfuerzos (θ)	T_{oct}	Mr (modelo 1)	Mr (modelo 2)	Mr (modelo 3)	Mr (promedio modelos)	Mr (promedio modelos)	Criterio de aceptación
		(psi)	(MPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(MPa)	(%)
Iteración 4	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base granular	26809,70	184,85	265,99	103,68	153356,07	222923,65	181013,91	185764,55	185,76	0,50
	Subbase Granular	20274,58	139,79	64,06	43,80	128896,08	159769,58	130193,24	139619,63	139,62	-0,12
	Subrasante	12500,00	86,18							86,18	0,00
Iteración 5	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base granular	26942,87	185,76	265,51	103,82	153216,62	222799,34	180855,97	185623,98	185,62	-0,08
	Subbase Granular	20250,12	139,62	64,01	43,75	128866,86	159744,02	130163,12	139591,33	139,59	-0,02
	Subrasante	12500,00	86,18							86,18	0,00

TablaA3. 119 Resumen módulos EP8 CBR 4

Mr Final kPa (psi)	
Mezcla asfáltica	1923,64 (279000)
Base granular	185,62 (26922)
Subbase Granular	139,59 (20246)
Subrasante	86,18 (12500)

Informe LM-PI-UMP-103-R1	Fecha de emisión: Octubre, 2019	Página 170 de 299
--------------------------	---------------------------------	-------------------



TablaA3. 120 Deformación permanente EP8 CBR 4

Deformación Permanente					
	Espesor cm (in)	ϵ_v (in/in)	Módulo resiliente MPa (psi)	δ (cm)	N max
CA	5 (1,97)	0,000164	1923,64 (279000)	0,181	340017
Base granular	15 (5,91)	0,001194	185,62 (26922)	0,407	
Subbase Granular	15 (5,91)	0,000660	139,59 (20246)	0,212	
Subrasante_interfaz	-	0,000657	86,18 (12500)	0,400	
Subrasante_6" de interfaz	-	0,000453	-	-	
			Total	1,200	



TablaA3. 121 Fatiga EP8 CBR 4

Fatiga CA						
	Espesor cm (in)	Módulo resiliente MPa (psi)	ϵt (in/in)	FC 50 %	FC 75 %	N
CA	5 (1,97)	1923,64 (279000)	0,000529	932752,71	1707563,42	2804419,35
d	0,332601011	0,608883055				
c1	1	1				
c1'	-2	-2				
c2'	1	1				
c2''	-4,18	-4,18				
FC (%)	50,00	75,00				
n	932753	1707563,42				
N	2804419	2804419,35				

TablaA3. 122 Cálculo de módulos EP8 CBR 5

	Capa	Mr	Mr	Invariante de esfuerzos (θ)	T_{oct}	Mr (modelo 1)	Mr (modelo 2)	Mr (modelo 3)	Mr (promedio modelos)	Mr (promedio modelos)	Criterio de aceptación
		(psi)	(MPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(MPa)	(%)
Iteración 1	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base granular	28000,00	193,05	228,18	106,19	142340,85	212641,06	168118,95	174366,95	174,37	-9,68
	Subbase Granular	14000,00	96,53	95,24	37,56	146306,97	173849,51	147104,90	155753,79	155,75	61,36



	Capa	Mr (psi)	Mr (MPa)	Invariante de esfuerzos (θ) (kPa)	T_{oct} (kPa)	Mr (modelo 1) (kPa)	Mr (modelo 2) (kPa)	Mr (modelo 3) (kPa)	Mr (promedio modelos) (kPa)	Mr (promedio modelos) (MPa)	Criterio de aceptación (%)
Iteración 2	Subrasante	14200,00	97,91							97,91	0,00
	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base granular	25289,79	174,37	284,45	101,78	158475,97	227580,55	186966,37	191007,63	191,01	9,54
	Subbase Granular	22590,18	155,75	71,33	45,05	133313,74	163470,48	134576,53	143786,91	143,79	-7,68
	Subrasante	14200,00	97,91							97,91	0,00
Iteración 3	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base granular	27703,31	191,01	270,50	104,54	154570,48	224081,39	182487,24	187046,37	187,05	-2,07
	Subbase Granular	20854,53	143,79	73,60	43,35	134691,54	164565,94	135882,53	145046,67	145,05	0,88
	Subrasante	14200,00	97,91							97,91	0,00
Iteración 4	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base granular	27128,78	187,05	272,84	103,92	155238,32	224677,19	183247,13	187720,88	187,72	0,36
	Subbase Granular	21037,24	145,05	73,63	43,61	134701,43	164580,50	135899,92	145060,62	145,06	0,01
	Subrasante	14200,00	97,91							97,91	0,00



	Capa	Mr	Mr	Invariante de esfuerzos (θ)	T_{oct}	Mr (modelo 1)	Mr (modelo 2)	Mr (modelo 3)	Mr (promedio modelos)	Mr (promedio modelos)	Criterio de aceptación
		(psi)	(MPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(MPa)	(%)
Iteración 5	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base granular	27226,61	187,72	272,60	104,02	155168,89	224616,68	183169,89	187651,82	187,65	-0,04
	Subbase Granular	21039,26	145,06	73,54	43,59	134645,17	164533,64	135843,98	145007,60	145,01	-0,04
	Subrasante	14200,00	97,91							97,91	0,00

TablaA3. 123 Resumen módulos EP8 CBR 5

Mr Final kPa (psi)	
Mezcla asfáltica	1923,64 (279000)
Base granular	187,65 (27217)
Subbase Granular	145,01 (21032)
Subrasante	97,91 (14200)



TablaA3. 124 Deformación permanente EP8 CBR 5

Deformación Permanente					
	Espesor cm (in)	ϵ_v (in/in)	Módulo resiliente MPa (psi)	δ (cm)	N max
CA	5 (1,97)	0,000168	1923,64 (279000)	0,195	375781
Base granular	15 (5,91)	0,001187	187,65 (27217)	0,409	
Subbase Granular	15 (5,91)	0,000639	145,01 (21032)	0,209	
Subrasante_interfaz	-	0,000601	97,91 (14200)	0,387	
Subrasante_6" de interfaz	-	0,000414	-	-	
			Total	1,200	



TablaA3. 125 Fatiga EP8 CBR 5

Fatiga CA						
	Espesor cm (in)	Módulo resiliente MPa (psi)	ϵ_t (in/in)	FC 50 %	FC 75 %	N
CA	5 (1,97)	1923,64 (279000)	0,000524	964199,77	1765132,63	2898968,23
d	0,332601011	0,608883055				
c1	1	1				
c1´	-2	-2				
c2´	1	1				
c2´´	-4,18	-4,18				
FC (%)	50,00	75,00				
n	964200	1765132,63				
N	2898968	2898968,23				



9.9 Estructura de Pavimento 9 (EP9)

TablaA3. 126 Cálculo de módulos EP9 CBR 1

	Capa	Mr (1 iteración)	Mr (1 iteración)	Invariante de esfuerzos (θ)	Toct	Mr (modelo 1)	Mr (modelo 2)	Mr (modelo 3)	Mr (promedio modelos)	Mr (promedio modelos)	Criterio de aceptación
		(psi)	(MPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(MPa)	(%)
Iteración 1	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base granular	28000,00	193,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	155,82	-100,00
	Subbase Granular	14000,00	96,53	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	77,22	-100,00
	Subrasante	4500,00	31,03							31,03	0,00
Iteración 2	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base granular	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	155,82	N/A
	Subbase Granular	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	77,22	N/A
	Subrasante	4500,00								31,03	0,00
Iteración 3	Mezcla asfáltica	279000,00								1923,64	0,00
	Base granular	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	155,82	N/A
	Subbase Granular	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	77,22	N/A
	Subrasante	4500,00								31,03	0,00



	Capa	Mr (1 iteración) (psi)	Mr (1 iteración) (MPa)	Invariante de esfuerzos (θ) (kPa)	T_{oct} (kPa)	Mr (modelo 1) (kPa)	Mr (modelo 2) (kPa)	Mr (modelo 3) (kPa)	Mr (promedio modelos) (kPa)	Mr (promedio modelos) (MPa)	Criterio de aceptación (%)
Iteración 4	Mezcla asfáltica	279000,00								1923,64	0,00
	Base granular	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	155,82	N/A
	Subbase Granular	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	77,22	N/A
	Subrasante									31,03	0,00
Iteración 5	Mezcla asfáltica									1923,64	0,00
	Base granular	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	155,82	N/A
	Subbase Granular	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	77,22	N/A
	Subrasante									31,03	0,00

TablaA3. 127 Resumen de módulos EP9 CBR 1

Mr Final MPa (psi)	
Mezcla asfáltica	1923,64 (279000)
Base granular	155,82 (22600)
Subbase Granular	77,22 (11200)
Subrasante	31,03 (4500)



TablaA3. 128 Deformación permanente EP9 CBR 1

Deformación Permanente					
	Espesor cm (in)	ϵ_v (in/in)	Módulo resiliente MPa (psi)	δ (cm)	N max
CA	5 (1,97)	0,000133	1923,64 (279000)	0,117	209122
Base granular	20 (7,87)	0,001162	155,82 (22600)	0,485	
Subbase Granular	20 (7,87)	0,000803	77,22 (11200)	0,264	
Subrasante_interfaz	-	0,001006	31,03 (4500)	0,335	
Subrasante_6" de interfaz	-	0,000709	-	-	
			Total	1,200	

TablaA3. 129 Fatiga EP9 CBR 1

Fatiga CA						
	Espesor cm (in)	Módulo resiliente MPa (psi)	ϵ_t (in/in)	FC 50 %	FC 75 %	N
CA	5 (1,97)	1923,64 (279000)	0,000593	594444,53	1088232,41	1787260,13
d	0,332601011	0,608883055				
c1	1	1				
c1'	-2	-2				
c2'	1	1				
c2''	-4,18	-4,18				
FC (%)	50,00	75,00				
n	594444,53	1088232,41				



Fatiga CA						
	Espesor cm (in)	Módulo resiliente MPa (psi)	ϵ_t (in/in)	FC 50 %	FC 75 %	N
N	1787260,13	1787260,13				

TablaA3. 130 Cálculo de módulos EP9 CBR 2

	Capa	Mr (1 iteración)	Mr (1 iteración)	Invariante de esfuerzos (θ)	T_{oct}	Mr (modelo 1)	Mr (modelo 2)	Mr (modelo 3)	Mr (promedio modelos)	Mr (promedio modelos)	Criterio de aceptación
		(psi)	(MPa)			(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	
Iteración 1	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base granular	28000,00	193,05	175,19	91,37	125805,99	196020,64	148014,26	156613,63	156,61	-18,88
	Subbase Granular	14000,00	96,53	14,70	31,70	81171,14	116762,71	82728,75	93554,20	93,55	-3,08
	Subrasante	6000,00	41,37							41,37	0,00
Iteración 2	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base granular	22714,89	156,61	185,11	86,56	129360,77	199372,39	151994,02	160242,39	160,24	2,32
	Subbase Granular	13568,89	93,55	18,62	32,80	87455,80	122803,95	88988,92	99749,56	99,75	6,62
	Subrasante	6000,00	41,37							41,37	0,00
Iteración 3	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base granular	23241,19	160,24	189,01	86,83	130658,23	200657,90	153530,48	161615,53	161,62	0,86
	Subbase Granular	14467,45	99,75	15,42	33,49	82372,81	117959,16	83957,35	94763,11	94,76	-5,00
	Subrasante	6000,00	41,37							41,37	0,00



	Capa	Mr (1 iteración) (psi)	Mr (1 iteración) (MPa)	Invariante de esfuerzos (θ) (kPa)	Toct (kPa)	Mr (modelo 1) (kPa)	Mr (modelo 2) (kPa)	Mr (modelo 3) (kPa)	Mr (promedio modelos) (kPa)	Mr (promedio modelos) (MPa)	Criterio de aceptación (%)
Iteración 4	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base granular	23440,35	161,62	184,33	87,25	129072,77	199113,34	151685,06	159957,06	159,96	-1,03
	Subbase Granular	13744,23	94,76	17,63	32,75	85953,71	121377,23	87497,82	98276,25	98,28	3,71
	Subrasante	6000,00	41,37							41,37	0,00
Iteración 5	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base granular	23199,81	159,96	187,90	86,86	130288,10	200295,23	153096,44	161226,59	161,23	0,79
	Subbase Granular	14253,77	98,28	16,12	33,30	83542,44	119082,03	85115,45	95913,31	95,91	-2,40
	Subrasante	6000,00	41,37							41,37	0,00

TablaA3. 131 Resumen módulos EP9 CBR 2

Mr Final MPa (psi)	
Mezcla asfáltica	1923,64 (279000)
Base granular	161,23 (23384)
Subbase Granular	95,91(13911)
Subrasante	41,37 (6000)



TablaA3. 132 Deformación Permanente EP9 CBR 2

Deformación Permanente					
	Espesor cm (in)	ϵ_v (in/in)	Módulo resiliente MPa (psi)	δ (cm)	N max
CA	5 (1,97)	0,000144	1923,64 (279000)	0,133	230721
Base granular	20 (7,87)	0,001129	161,23 (23384)	0,480	
Subbase Granular	20 (7,87)	0,000682	95,91(13911)	0,248	
Subrasante_interfaz	-	0,000829	41,37 (6000)	0,339	
Subrasante_6" de interfaz	-	0,000582	-	-	
			Total	1,200	

TablaA3. 133 Fatiga EP9 CBR 2

Fatiga CA						
	Espesor cm (in)	Módulo resiliente MPa (psi)	ϵ_t (in/in)	FC 50 %	FC 75 %	N
CA	5 (1,97)	1923,64 (279000)	0,000576	666090,01	1219391,72	2002669,82
d	0,332601011	0,608883055				
c1	1	1				
c1'	-2	-2				
c2'	1	1				
c2''	-4,18	-4,18				
FC (%)	50,00	75,00				
n	666090,01	1219391,72				



Fatiga CA						
	Espesor cm (in)	Módulo resiliente MPa (psi)	ϵt (in/in)	FC 50 %	FC 75 %	N
N	2002669,82	2002669,82				

TablaA3.134 Cálculo de módulos EP9 CBR 3

	Capa	Mr (1 iteración)	Mr (1 iteración)	Invariante de esfuerzos (θ)	T_{oct}	Mr (modelo 1)	Mr (modelo 2)	Mr (modelo 3)	Mr (promedio modelos)	Mr (promedio modelos)	Criterio de aceptación
		(psi)	(MPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(MPa)
Iteración 1	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base granular	28000,00	193,05	185,28	90,99	129260,27	199429,80	152062,51	160250,86	160,25	-16,99
	Subbase Granular	14000,00	96,53	41,16	29,97	112440,61	145403,19	113610,24	123818,01	123,82	28,27
	Subrasante	9000,00	62,05							62,05	0,00
Iteración 2	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base granular	23242,42	160,25	214,66	86,00	138957,43	208680,42	163244,41	170294,09	170,29	6,27
	Subbase Granular	17958,28	123,82	33,18	34,63	104915,38	138874,90	106308,83	116699,70	116,70	-5,75
	Subrasante	9000,00	62,05							62,05	0,00
Iteración 3	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base granular	24699,07	170,29	207,18	87,52	136541,79	206410,98	160474,70	167809,16	167,81	-1,46
	Subbase Granular	16925,86	116,70	34,70	33,55	106439,82	140207,54	107787,11	118144,82	118,14	1,24
	Subrasante	9000,00	62,05							62,05	0,00



	Capa	Mr (1 iteración) (psi)	Mr (1 iteración) (MPa)	Invariante de esfuerzos (θ) (kPa)	T _{oct} (kPa)	Mr (modelo 1) (kPa)	Mr (modelo 2) (kPa)	Mr (modelo 3) (kPa)	Mr (promedio modelos) (kPa)	Mr (promedio modelos) (MPa)	Criterio de aceptación (%)
Iteración 4	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base granular	24338,66	167,81	208,87	87,16	137091,43	206928,16	161104,38	168374,65	168,37	0,34
	Subbase Granular	17135,46	118,14	34,41	33,79	106156,95	139961,71	107513,94	117877,53	117,88	-0,23
	Subrasante	9000,00	62,05							62,05	0,00
Iteración 5	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base granular	24420,68	168,37	208,53	87,24	136980,26	206823,95	160977,43	168260,55	168,26	-0,07
	Subbase Granular	17096,69	117,88	34,45	33,74	106196,82	139996,04	107552,07	117914,98	117,91	0,03
	Subrasante	9000,00	62,05							62,05	0,00

TablaA3. 135 Resumen de módulos EP9 CBR 3

Mr Final kPa (psi)	
Mezcla asfáltica	1923,64 (279000)
Base granular	168,26 (24404)
Subbase Granular	117,92 (17102)
Subrasante	62,05(9000)

Informe LM-PI-UMP-103-R1	Fecha de emisión: Octubre, 2019	Página 184 de 299
--------------------------	---------------------------------	-------------------



TablaA3. 136 Deformación permanente EP9 CBR 3

Deformación Permanente					
	Espesor cm (in)	ϵ_v (in/in)	Módulo resiliente MPa (psi)	δ (cm)	N max
CA	5 (1,97)	0,000158	1923,64 (279000)	0,157	271400
Base granular	20 (7,87)	0,001095	168,26 (24404)	0,477	
Subbase Granular	20 (7,87)	0,000578	117,92 (17102)	0,230	
Subrasante_interfaz	-	0,000633	62,05(9000)	0,335	
Subrasante_6" de interfaz	-	0,000443	-	-	
			Total	1,200	

TablaA3. 137 Fatiga EP9 CBR 3

Fatiga CA						
	Espesor cm (in)	Módulo resiliente MPa (psi)	ϵt (in/in)	FC 50 %	FC 75 %	N
CA	5 (1,97)	1923,64 (279000)	0,000558	752717,54	1377978,24	2263124,62
d	0,332601011	0,608883055				
c1	1	1				
c1'	-2	-2				
c2'	1	1				
c2''	-4,18	-4,18				
FC (%)	50,00	75,00				
n	752717,54	1377978,24				
N	2263124,62	2263124,62				

TablaA3. 138 Cálculo de módulos EP9 CBR 4

	Capa	Mr (1 iteración)	Mr (1 iteración)	Invariante de esfuerzos (θ)	T_{oct}	Mr (modelo 1)	Mr (modelo 2)	Mr (modelo 3)	Mr (promedio modelos)	Mr (promedio modelos)	Criterio de aceptación
		(psi)	(MPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(MPa)	(%)
Iteración 1	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base granular	28000,00	193,05	192,76	90,86	131755,25	201876,42	154992,02	162874,56	162,87	-15,63
	Subbase Granular	14000,00	96,53	62,06	29,31	128040,80	158693,73	128927,43	138553,99	138,55	43,54
	Subrasante	12500,00	86,18							86,18	0,00



	Capa	Mr (1 iteración)	Mr (1 iteración)	Invariante de esfuerzos (θ)	Toct	Mr (modelo 1)	Mr (modelo 2)	Mr (modelo 3)	Mr (promedio modelos)	Mr (promedio modelos)	Criterio de aceptación
		(psi)	(MPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(MPa)	(%)
Iteración 2	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base granular	23622,96	162,87	228,16	86,26	143092,11	212636,91	168113,82	174614,28	174,61	7,21
	Subbase Granular	20095,56	138,55	50,89	34,20	120112,95	152122,84	121279,92	131171,90	131,17	-5,33
	Subrasante	12500,00	86,18							86,18	0,00
Iteración 3	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base granular	25325,66	174,61	221,13	87,85	140886,72	210596,77	165596,48	172359,99	172,36	-1,29
	Subbase Granular	19024,88	131,17	51,70	33,19	120743,79	152636,43	121872,44	131750,89	131,75	0,44
	Subrasante	12500,00	86,18							86,18	0,00
Iteración 4	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base granular	24998,70	172,36	222,05	87,57	141181,13	210867,14	165929,31	172659,19	172,66	0,17
	Subbase Granular	19108,85	131,75	51,78	33,32	120802,12	152689,31	121933,50	131808,31	131,81	0,04
	Subrasante	12500,00	86,18							86,18	0,00
Iteración 5	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base granular	25042,10	172,66	222,01	87,60	141165,06	210853,16	165912,10	172643,44	172,64	-0,01
	Subbase Granular	19117,18	131,81	51,73	33,32	120762,72	152655,57	121894,55	131770,94	131,77	-0,03
	Subrasante	12500,00	86,18							86,18	0,00



TablaA3. 139 Resumen módulos EP9 CBR 4

Mr Final kPa (psi)	
Mezcla asfáltica	1923,64 (279000)
Base granular	172,64 (25039,81)
Subbase Granular	131,77 (19111,76)
Subrasante	86,18 (12500)

TablaA3. 140 Deformación permanente EP9 CBR 4

Deformación Permanente					
	Espesor cm (in)	ϵ_v (in/in)	Módulo resiliente MPa (psi)	δ (cm)	N max
CA	5 (1,97)	0,000168	1923,64 (279000)	0,181	320527
Base granular	20 (7,87)	0,001079	172,64 (25039,81)	0,481	
Subbase Granular	20 (7,87)	0,000528	131,77 (19111,76)	0,221	
Subrasante_interfaz	-	0,000508	86,18 (12500)	0,318	
Subrasante_6" de interfaz	-	0,000355	-	-	
			Total	1,200	



TablaA3. 141 Fatiga EP9 CBR 4

Fatiga CA						
	Espesor cm (in)	Módulo resiliente MPa (psi)	ϵt (in/in)	FC 50 %	FC 75 %	N
CA	5 (1,97)	1923,64 (279000)	0,000549	801703,92	1467656,19	2410407,34
d	0,332601011	0,608883055				
c1	1	1				
c1'	-2	-2				
c2'	1	1				
c2''	-4,18	-4,18				
FC (%)	50,00	75,00				
n	801703,92	1467656,19				
N	2410407,34	2410407,34				

TablaA3. 142 Cálculo de módulos EP9 CBR 5

	Capa	Mr	Mr	Invariante de esfuerzos (θ)	T_{oct}	Mr (modelo 1)	Mr (modelo 2)	Mr (modelo 3)	Mr (promedio modelos)	Mr (promedio modelos)	Criterio de aceptación
		(psi)	(MPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(MPa)	(%)
Iteración 1	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base granular	28000,00	193,05	192,54	91,37	131663,13	201804,10	154905,14	162790,79	162,79	-15,68
	Subbase Granular	14000,00	96,53	81,22	27,48	139464,76	168052,56	140065,07	149194,13	149,19	54,56
	Subrasante	14200,00	97,91							97,91	0,00



	Capa	Mr	Mr	Invariante de esfuerzos (θ)	T_{oct}	Mr (modelo 1)	Mr (modelo 2)	Mr (modelo 3)	Mr (promedio modelos)	Mr (promedio modelos)	Criterio de aceptación
		(psi)	(MPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(MPa)	(%)
Iteración 2	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base granular	23610,81	162,79	232,75	86,60	144458,18	213944,93	169734,98	176046,03	176,05	8,14
	Subbase Granular	21638,78	149,19	65,14	33,26	129890,14	160338,62	130864,28	140364,35	140,36	-5,92
	Subrasante	14200,00	97,91							97,91	0,00
Iteración 3	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base granular	25533,32	176,05	225,09	88,37	142076,32	211750,82	167018,79	173615,31	173,62	-1,38
	Subbase Granular	20358,13	140,36	66,19	32,14	130586,36	160888,25	131513,44	140996,02	141,00	0,45
	Subrasante	14200,00	97,91							97,91	0,00
Iteración 4	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base granular	25180,77	173,62	226,04	88,07	142376,62	212025,36	167357,79	173919,92	173,92	0,18
	Subbase Granular	20449,74	141,00	66,30	32,28	130646,10	160941,36	131576,23	141054,56	141,05	0,04
	Subrasante	14200,00	97,91							97,91	0,00



	Capa	Mr	Mr	Invariante de esfuerzos (θ)	T_{oct}	Mr (modelo 1)	Mr (modelo 2)	Mr (modelo 3)	Mr (promedio modelos)	Mr (promedio modelos)	Criterio de aceptación
		(psi)	(MPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(MPa)	(%)
Iteración 5	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base granular	25224,95	173,92	225,99	88,11	142360,57	212011,45	167340,60	173904,21	173,90	-0,01
	Subbase Granular	20458,23	141,05	66,24	32,27	130609,32	160910,66	131539,93	141019,97	141,02	-0,02
	Subrasante	14200,00	97,91							97,91	0,00

TablaA3. 143 Resumen módulos EP9 CBR 5

Mr Final kPa (psi)	
Mezcla asfáltica	1923,64 (279000)
Base granular	173,90 (25223)
Subbase Granular	141,02 (20453)
Subrasante	97,91 (14200)



TablaA3. 144 Deformación permanente EP9 CBR 5

Deformación Permanente					
	Espesor cm (in)	ϵ_v (in/in)	Módulo resiliente MPa (psi)	δ (cm)	N max
CA	5 (1,97)	0,000172	1923,64 (279000)	0,194	352847
Base granular	20 (7,87)	0,001080	173,90 (25223)	0,486	
Subbase Granular	20 (7,87)	0,000486	141,02 (20453)	0,209	
Subrasante_interfaz	-	0,000474	97,91 (14200)	0,311	
Subrasante_6" de interfaz	-	0,000330	-	-	
			Total	1,200	

TablaA3. 145 Fatiga EP9 CBR 5

Fatiga CA						
	Espesor cm (in)	Módulo resiliente MPa (psi)	ϵ_t (in/in)	FC 50 %	FC 75 %	N
CA	5 (1,97)	1923,64 (279000)	0,000548	809299,35	1481560,92	2433243,81
d	0,332601011	0,608883055				
c1	1	1				
c1'	-2	-2				
c2'	1	1				
c2''	-4,18	-4,18				



Fatiga CA						
	Espesor cm (in)	Módulo resiliente MPa (psi)	ϵ_t (in/in)	FC 50 %	FC 75 %	N
FC (%)	50,00	75,00				
n	809299,35	1481560,92				
N	2433243,81	2433243,81				

9.10 Estructura de Pavimento 10 (EP10)

TablaA3. 146 Cálculo de módulos EP10 CBR 1

	Capa	Mr (1 iteración)	Mr (1 iteración)	Invariante de esfuerzos (θ)	T_{oct}	Mr (modelo 1)	Mr (modelo 2)	Mr (modelo 3)	Mr (promedio modelos)	Mr (promedio modelos)	Criterio de aceptación
		(psi)	(MPa)			(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	
Iteración 1	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base estabilizada	600000,00	4136,85	0,00	0,00	4136854,38	4136854,38	4136854,38	4136854,38	4136,85	0,00
	Subbase Granular	14000,00	96,53	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-100,00
	Subrasante	4500,00	31,03							31,03	0,00
Iteración 2	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base estabilizada	600000,00	4136,85	0,00	0,00	4136854,38	4136854,38	4136854,38	4136854,38	4136,85	0,00
	Subbase Granular	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	N/A
	Subrasante	4500,00	31,03							31,03	0,00



	Capa	Mr (1 iteración)	Mr (1 iteración)	Invariante de esfuerzos (θ)	T_{oct}	Mr (modelo 1)	Mr (modelo 2)	Mr (modelo 3)	Mr (promedio modelos)	Mr (promedio modelos)	Criterio de aceptación
		(psi)	(MPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(MPa)	(%)
Iteración 3	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base estabilizada	600000,00	4136,85	0,00	0,00	4136854,38	4136854,38	4136854,38	4136854,38	4136,85	0,00
	Subbase Granular	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	84,81	N/A
	Subrasante	4500,00	31,03							31,03	0,00
Iteración 4	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base estabilizada	600000,00	4136,85	0,00	0,00	4136854,38	4136854,38	4136854,38	4136854,38	4136,85	0,00
	Subbase Granular	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	84,81	N/A
	Subrasante	4500,00	31,03							31,03	0,00
Iteración 5	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base estabilizada	600000,00	4136,85	0,00	0,00	4136854,38	4136854,38	4136854,38	4136854,38	4136,85	0,00
	Subbase Granular	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	84,81	N/A
	Subrasante	4500,00	31,03							31,03	0,00



TablaA3. 147 Resumen de módulos EP10 CBR 1

Mr Final MPa (psi)	
Mezcla Asfáltica	1923,64 (279000)
Base Estabilizada	4136,85 (600000)
Subbase Granular	84,81 (12300)
Subrasante	31,03 (4500)

TablaA3. 148 Deformación permanente EP10 CBR 1

Deformación Permanente					
	Espesor cm (in)	ϵ_v (in/in)	Módulo resiliente MPa (psi)	δ (cm)	N max
CA	5 (1,97)	0,000101	1923,64 (279000)	0,491	7459831
Base Estabilizada	15 (5,91)	0,000066	4136,85 (600000)	0,000	
Subbase Granular	15 (5,91)	0,000348	84,81 (12300)	0,130	
Subrasante_interfaz	-	0,000507	31,03 (4500)	0,579	
Subrasante_6" de interfaz	-	0,000419	-	-	
			Total	1,200	



TablaA3. 149 Fatiga EP10 CBR 1

Fatiga CA						
	Espesor cm (in)	Módulo resiliente MPa (psi)	ϵt (in/in)	FC 50 %	FC 75 %	N
CA	5 (1,97)	1923,64 (279000)	0,000108	488735346,48	894713668,16	1469434336,88
d	0,332601011	0,608883055				
c1	1	1				
c1'	-2	-2				
c2'	1	1				
c2''	-4,18	-4,18				
FC (%)	50,00	75,00				
n	488735346,48	894713668,16				
N	1469434336,88	1469434336,88				

TablaA3. 150 Cálculo de módulos EP10 CBR 2

	Capa	Mr (1 iteración)	Mr (1 iteración)	Invariante de esfuerzos (θ)	T_{oct}	Mr (modelo 1)	Mr (modelo 2)	Mr (modelo 3)	Mr (promedio modelos)	Mr (promedio modelos)	Criterio de aceptación
		(psi)	(MPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(MPa)	(%)
Iteración 1	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base estabilizada	600000,00	4136,85	15,52	170,97	4136854,38	4136854,38	4136854,38	4136854,38	4136,85	0,00
	Subbase Granular	14000,00	96,53	16,76	15,46	84966,06	120073,35	86141,93	97060,44	97,06	0,55
	Subrasante	6000,00	41,37							41,37	0,00



	Capa	Mr (1 iteración) (psi)	Mr (1 iteración) (MPa)	Invariante de esfuerzos (θ) (kPa)	T_{oct} (kPa)	Mr (modelo 1) (kPa)	Mr (modelo 2) (kPa)	Mr (modelo 3) (kPa)	Mr (promedio modelos) (kPa)	Mr (promedio modelos) (MPa)	Criterio de aceptación (%)
Iteración 2	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base estabilizada	600000,00	4136,85	15,83	170,93	4136854,38	4136854,38	4136854,38	4136854,38	4136,85	0,00
	Subbase Granular	14077,43	97,06	16,54	15,52	84610,01	119735,28	85791,44	96712,24	96,71	-0,36
	Subrasante	6000,00	41,37							41,37	0,00
Iteración 3	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base estabilizada	600000,00	4136,85	15,62	170,96	4136854,38	4136854,38	4136854,38	4136854,38	4136,85	0,00
	Subbase Granular	14026,92	96,71	16,68	15,48	84841,98	119955,58	86019,79	96939,12	96,94	0,23
	Subrasante	6000,00	41,37							41,37	0,00
Iteración 4	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base estabilizada	600000,00	4136,85	15,77	170,94	4136854,38	4136854,38	4136854,38	4136854,38	4136,85	0,00
	Subbase Granular	14059,83	96,94	16,59	15,51	84690,61	119811,85	85870,79	96791,08	96,79	-0,15
	Subrasante	6000,00	41,37							41,37	0,00
Iteración 5	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base estabilizada	600000,00	4136,85	15,68	170,95	4136854,38	4136854,38	4136854,38	4136854,38	4136,85	0,00
	Subbase Granular	14038,36	96,79	16,65	15,49	84789,76	119906,01	85968,39	96888,05	96,89	0,10
	Subrasante	6000,00	41,37							41,37	0,00



TablaA3. 151 Resumen módulos EP10 CBR 2

Mr Final MPa (psi)	
Mezcla Asfáltica	1923,64 (279000)
Base Estabilizada	4136,85 (600000)
Subbase Granular	96,89 (14052)
Subrasante	41,37 (6000)

TablaA3. 152 Deformación Permanente EP10 CBR 2

Deformación Permanente					
	Espesor cm (in)	ϵ_v (in/in)	Módulo resiliente MPa (psi)	δ (cm)	N max
CA	5 (1,97)	0,000111	1923,64 (279000)	0,532	7214879
Base Estabilizada	15 (5,91)	0,000066	4136,85 (600000)	0,000	
Subbase Granular	15 (5,91)	0,000326	96,89 (14052)	0,125	
Subrasante_interfaz	-	0,000441	41,37 (6000)	0,542	
Subrasante_6" de interfaz	-	0,000361	-	-	
			Total	1,200	



TablaA3. 153 Fatiga EP10 CBR 2

Fatiga CA						
	Espesor cm (in)	Módulo resiliente MPa (psi)	ϵt (in/in)	FC 50 %	FC 75 %	N
CA	5 (1,97)	1923,64 (279000)	0,000101	649657533,60	1189309263,42	1953263855,27
d	0,332601011	0,608883055				
c1	1	1				
c1'	-2	-2				
c2'	1	1				
c2''	-4,18	-4,18				
FC (%)	50,00	75,00				
n	649657533,60	1189309263,42				
N	1953263855,27	1953263855,27				

TablaA3. 154 Cálculo de módulos EP10 CBR 3

	Capa	Mr (1 iteración)	Mr (1 iteración)	Invariante de esfuerzos (θ)	T_{oct}	Mr (modelo 1)	Mr (modelo 2)	Mr (modelo 3)	Mr (promedio modelos)	Mr (promedio modelos)	Criterio de aceptación
		(psi)	(MPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(MPa)	(%)
Iteración 1	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base estabilizada	600000,00	4136,85	33,05	168,31	4136854,38	4136854,38	4136854,38	4136854,38	4136,85	0,00
	Subbase Granular	14000,00	96,53	35,31	14,54	107562,12	140735,42	108374,41	118890,65	118,89	23,17
	Subrasante	9000,00	62,05							62,05	0,00



	Capa	Mr (1 iteración) (psi)	Mr (1 iteración) (MPa)	Invariante de esfuerzos (θ) (kPa)	T_{oct} (kPa)	Mr (modelo 1) (kPa)	Mr (modelo 2) (kPa)	Mr (modelo 3) (kPa)	Mr (promedio modelos) (kPa)	Mr (promedio modelos) (MPa)	Criterio de aceptación (%)
Iteración 2	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base estabilizada	600000,00	4136,85	44,97	166,83	4136854,38	4136854,38	4136854,38	4136854,38	4136,85	0,00
	Subbase Granular	17243,63	118,89	27,49	16,60	99323,76	133427,41	100332,02	111027,73	111,03	-6,61
	Subrasante	9000,00	62,05							62,05	0,00
Iteración 3	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base estabilizada	600000,00	4136,85	40,91	167,34	4136854,38	4136854,38	4136854,38	4136854,38	4136,85	0,00
	Subbase Granular	16103,21	111,03	30,25	15,89	102383,45	136166,08	103323,47	113957,67	113,96	2,64
	Subrasante	9000,00	62,05							62,05	0,00
Iteración 4	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base estabilizada	600000,00	4136,85	42,44	167,15	4136854,38	4136854,38	4136854,38	4136854,38	4136,85	0,00
	Subbase Granular	16528,16	113,96	29,22	16,16	101265,72	135169,04	102231,26	112888,67	112,89	-0,94
	Subrasante	9000,00	62,05							62,05	0,00
Iteración 5	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base estabilizada	600000,00	4136,85	41,88	167,22	4136854,38	4136854,38	4136854,38	4136854,38	4136,85	0,00
	Subbase Granular	16373,12	112,89	29,59	16,06	101676,79	135536,18	102633,03	113282,00	113,28	0,35
	Subrasante	9000,00	62,05							62,05	0,00



TablaA3. 155 Resumen de módulos EP10 CBR 3

Mr Final kPa (psi)	
Mezcla Asfáltica	1923,64 (279000)
Base Estabilizada	4136,85 (600000)
Subbase Granular	113,282 (16430)
Subrasante	62,05(9000)

TablaA3. 156 Deformación permanente EP10 CBR 3

Deformación Permanente					
	Espesor cm (in)	ϵ_v (in/in)	Módulo resiliente MPa (psi)	δ (cm)	N max
CA	5 (1,97)	0,000125	1923,64 (279000)	0,594	7148847
Base Estabilizada	20 (7,87)	0,000067	4136,85 (600000)	0,000	
Subbase Granular	20 (7,87)	0,000301	113,282 (16430)	0,119	
Subrasante_interfaz	-	0,000356	62,05(9000)	0,486	
Subrasante_6" de interfaz	-	0,000290	-	-	
			Total	1,200	



TablaA3. 157 Fatiga EP10 CBR 3

Fatiga CA						
	Espesor cm (in)	Módulo resiliente MPa (psi)	ϵt (in/in)	FC 50 %	FC 75 %	N
CA	5 (1,97)	1923,64 (279000)	0,000091	984209103,58	1801763149,80	2959128415,56
d	0,332601011	0,608883055				
c1	1	1				
c1'	-2	-2				
c2'	1	1				
c2''	-4,18	-4,18				
FC (%)	50,00	75,00				
n	984209103,58	1801763149,80				
N	2959128415,56	2959128415,56				

TablaA3. 158 Cálculo de módulos EP10 CBR 4

	Capa	Mr (1 iteración)	Mr (1 iteración)	Invariante de esfuerzos (θ)	T_{oct}	Mr (modelo 1)	Mr (modelo 2)	Mr (modelo 3)	Mr (promedio modelos)	Mr (promedio modelos)	Criterio de aceptación
		(psi)	(MPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(MPa)	(%)
Iteración 1	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base estabilizada	600000,00	4136,85	45,84	166,58	4136854,38	4136854,38	4136854,38	4136854,38	4136,85	0,00
	Subbase Granular	14000,00	96,53	50,65	14,20	120561,62	151975,56	121110,16	131215,78	131,22	35,94
	Subrasante	12500,00	86,18							86,18	0,00



	Capa	Mr (1 iteración) (psi)	Mr (1 iteración) (MPa)	Invariante de esfuerzos (θ) (kPa)	T_{oct} (kPa)	Mr (modelo 1) (kPa)	Mr (modelo 2) (kPa)	Mr (modelo 3) (kPa)	Mr (promedio modelos) (kPa)	Mr (promedio modelos) (MPa)	Criterio de aceptación (%)
Iteración 2	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base estabilizada	600000,00	4136,85	63,14	164,56	4136854,38	4136854,38	4136854,38	4136854,38	4136,85	0,00
	Subbase Granular	19031,24	131,22	40,58	16,99	112313,47	144962,82	113113,03	123463,11	123,46	-5,91
	Subrasante	12500,00	86,18							86,18	0,00
Iteración 3	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base estabilizada	600000,00	4136,85	59,51	164,98	4136854,38	4136854,38	4136854,38	4136854,38	4136,85	0,00
	Subbase Granular	17906,81	123,46	42,86	16,38	114292,69	146663,23	115036,63	125330,85	125,33	1,51
	Subrasante	12500,00	86,18							86,18	0,00
Iteración 4	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base estabilizada	600000,00	4136,85	60,39	164,87	4136854,38	4136854,38	4136854,38	4136854,38	4136,85	0,00
	Subbase Granular	18177,70	125,33	42,31	16,53	113823,16	146260,86	114580,53	124888,18	124,89	-0,35
	Subrasante	12500,00	86,18							86,18	0,00
Iteración 5	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base estabilizada	600000,00	4136,85	60,18	164,90	4136854,38	4136854,38	4136854,38	4136854,38	4136,85	0,00
	Subbase Granular	18113,50	124,89	42,44	16,50	113934,66	146356,46	114688,85	124993,33	124,99	0,08
	Subrasante	12500,00	86,18							86,18	0,00



TablaA3. 159 Resumen módulos EP10 CBR 4

Mr Final kPa (psi)	
Mezcla Asfáltica	1923,64 (279000)
Base Estabilizada	4136,85 (600000)
Subbase Granular	124,99 (18129)
Subrasante	86,18 (12500)

TablaA3. 160 Deformación permanente EP10 CBR 4

Deformación Permanente					
	Espesor cm (in)	ϵ_v (in/in)	Módulo resiliente MPa (psi)	δ (cm)	N max
CA	5 (1,97)	0,000135	1923,64 (279000)	0,647	7271630
Base granular	20 (7,87)	0,000067	4136,85 (600000)	0,000	
Subbase Estabilizada	20 (7,87)	0,000287	124,99 (18129)	0,116	
Subrasante_interfaz	-	0,000295	86,18 (12500)	0,437	
Subrasante_6" de interfaz	-	0,000240	-	-	
			Total	1,200	



TablaA3. 161 Fatiga EP10 CBR 4

Fatiga CA						
	Espesor cm (in)	Módulo resiliente MPa (psi)	ϵt (in/in)	FC 50 %	FC 75 %	N
CA	5 (1,97)	1923,64 (279000)	0,000083	1389411478,88	2543555422,77	4177412069,34
d	0,332601011	0,608883055				
c1	1	1				
c1'	-2	-2				
c2'	1	1				
c2''	-4,18	-4,18				
FC (%)	50,00	75,00				
n	1389411478,88	2543555422,77				
N	4177412069,34	4177412069,34				

TablaA3. 162 Cálculo de módulos EP10 CBR 5

	Capa	Mr	Mr	Invariante de esfuerzos (θ)	T_{oct}	Mr (modelo 1)	Mr (modelo 2)	Mr (modelo 3)	Mr (promedio modelos)	Mr (promedio modelos)	Criterio de aceptación
		(psi)	(MPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(MPa)	(%)
Iteración 1	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base estabilizada	600000,00	4136,85	50,43	166,00	4136854,38	4136854,38	4136854,38	4136854,38	4136,85	0,00
	Subbase Granular	14000,00	96,53	56,58	14,12	124854,26	155599,68	125308,47	135254,14	135,25	40,12
	Subrasante	14200,00	97,91							97,91	0,00



	Capa	Mr	Mr	Invariante de esfuerzos (θ)	T_{oct}	Mr (modelo 1)	Mr (modelo 2)	Mr (modelo 3)	Mr (promedio modelos)	Mr (promedio modelos)	Criterio de aceptación
		(psi)	(MPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(MPa)	(%)
Iteración 2	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base estabilizada	600000,00	4136,85	69,33	163,86	4136854,38	4136854,38	4136854,38	4136854,38	4136,85	0,00
	Subbase Granular	19616,95	135,25	46,23	17,08	117037,81	149047,74	117750,89	127945,48	127,95	-5,40
	Subrasante	14200,00	97,91							97,91	0,00
Iteración 3	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base estabilizada	600000,00	4136,85	66,01	164,23	4136854,38	4136854,38	4136854,38	4136854,38	4136,85	0,00
	Subbase Granular	18556,92	127,95	48,23	16,54	118632,22	150398,22	119296,76	129442,40	129,44	1,17
	Subrasante	14200,00	97,91							97,91	0,00
Iteración 4	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base estabilizada	600000,00	4136,85	66,70	164,15	4136854,38	4136854,38	4136854,38	4136854,38	4136,85	0,00
	Subbase Granular	18774,03	129,44	47,82	16,65	118309,77	150125,67	118984,27	129139,90	129,14	-0,23
	Subrasante	14200,00	97,91							97,91	0,00
Iteración 5	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base estabilizada	600000,00	4136,85	66,56	164,16	4136854,38	4136854,38	4136854,38	4136854,38	4136,85	0,00
	Subbase Granular	18730,16	129,14	47,91	16,63	118374,93	150180,77	119047,42	129201,04	129,20	0,05
	Subrasante	14200,00	97,91							97,91	0,00



TablaA3. 163 Resumen módulos EP10 CBR 5

Mr Final kPa (psi)	
Mezcla Asfáltica	1923,64 (279000)
Base Estabilizada	4136,85 (600000)
Subbase Granular	129,20 (18739)
Subrasante	97,91 (14200)

TablaA3. 164 Deformación permanente EP10 CBR 5

Deformación Permanente					
	Espesor cm (in)	ϵ_v (in/in)	Módulo resiliente MPa (psi)	δ (cm)	N max
CA	5 (1,97)	0,000138	1923,64 (279000)	0,668	7341375
Base estabilizada	20 (7,87)	0,000067	4136,85 (600000)	0,000	
Subbase Granular	20 (7,87)	0,000283	129,20 (18739)	0,114	
Subrasante_interfaz	-	0,000273	97,91 (14200)	0,418	
Subrasante_6" de interfaz	-	0,000222	-	-	
			Total	1,200	



TablaA3. 165 Fatiga EP10 CBR 5

Fatiga CA						
	Espesor cm (in)	Módulo resiliente MPa (psi)	ϵt (in/in)	FC 50 %	FC 75 %	N
CA	5 (1,97)	1923,64 (279000)	0,000080	1591228369,76	2913015769,84	4784195825,33
d	0,332601011	0,608883055				
c1	1	1				
c1´	-2	-2				
c2´	1	1				
c2´´	-4,18	-4,18				
FC (%)	50,00	75,00				
n	1591228369,76	2913015769,84				
N	4784195825,33	4784195825,33				



9.11 Estructura de Pavimento 11 (EP11)

TablaA3. 166 Cálculo de módulos EP11 CBR 1

	Capa	Mr (1 iteración) (psi)	Mr (1 iteración) (MPa)	Invariante de esfuerzos (θ) (kPa)	T_{oct} (kPa)	Mr (modelo 1) (kPa)	Mr (modelo 2) (kPa)	Mr (modelo 3) (kPa)	Mr (promedio modelos) (kPa)	Mr (promedio modelos) (MPa)	Criterio de aceptación (%)
Iteración 1	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64								0,00
	Base estabilizada	600000,00	4136,85	0,00	0,00	4136854,38	4136854,38	4136854,38	4136854,38	4136,85	0,00
	Subbase Granular	14000,00	96,53	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	78,94	-100,00
	Subrasante	4500,00	31,03							31,03	0,00
Iteración 2	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base estabilizada	600000,00	4136,85	0,00	0,00	4136854,38	4136854,38	4136854,38	4136854,38	4136,85	0,00
	Subbase Granular	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	78,94	N/A
	Subrasante	4500,00	31,03							31,03	0,00
Iteración 3	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base estabilizada	600000,00	4136,85	0,00	0,00	4136854,38	4136854,38	4136854,38	4136854,38	4136,85	0,00
	Subbase Granular	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	78,94	N/A
	Subrasante	4500,00	31,03							31,03	0,00



	Capa	Mr (1 iteración)	Mr (1 iteración)	Invariante de esfuerzos (θ)	T_{oct}	Mr (modelo 1)	Mr (modelo 2)	Mr (modelo 3)	Mr (promedio modelos)	Mr (promedio modelos)	Criterio de aceptación
		(psi)	(MPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(MPa)	(%)
Iteración 4	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base estabilizada	600000,00	4136,85	0,00	0,00	4136854,38	4136854,38	4136854,38	4136854,38	4136,85	0,00
	Subbase Granular	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	78,94	N/A
	Subrasante	4500,00	31,03							31,03	0,00
Iteración 5	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base estabilizada	600000,00	4136,85	0,00	0,00	4136854,38	4136854,38	4136854,38	4136854,38	4136,85	0,00
	Subbase Granular	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	78,94	N/A
	Subrasante	4500,00	31,03							31,03	0,00

TablaA3. 167 Resumen de módulos EP11 CBR 1

Mr Final MPa (psi)	
Mezcla Asfáltica	1923,64 (279000)
Base Estabilizada	4136,85 (600000)
Subbase Granular	78,94 (11450)
Subrasante	31,03 (4500)



TablaA3. 168 Deformación permanente EP11 CBR 1

Deformación Permanente					
	Espesor cm (in)	ϵ_v (in/in)	Módulo resiliente MPa (psi)	δ (cm)	N max
CA	5 (1,97)	0,000135	1923,64 (279000)	0,676	7942557
Base Estabilizada	20 (7,87)	0,000055	4136,85 (600000)	0,000	
Subbase Granular	20 (7,87)	0,000244	78,94 (11450)	0,121	
Subrasante_interfaz	-	0,000339	31,03 (4500)	0,404	
Subrasante_6" de interfaz	-	0,000282	-	-	
			Total	1,200	

TablaA3. 169 Fatiga EP11 CBR 1

Fatiga CA						
	Espesor cm (in)	Módulo resiliente MPa (psi)	ϵ_t (in/in)	FC 50 %	FC 75 %	N
CA	5 (1,97)	1923,64 (279000)	0,000085	1281507686,51	2346019069,87	3852987943,42
d	0,332601011	0,608883055				
c1	1	1				
c1'	-2	-2				
c2'	1	1				
c2''	-4,18	-4,18				



Fatiga CA						
	Espesor cm (in)	Módulo resiliente MPa (psi)	ϵ_t (in/in)	FC 50 %	FC 75 %	N
FC (%)	50,00	75,00				
n	1281507686,51	2346019070				
N	3852987943,42	3852987943				

TablaA3. 170 Cálculo de módulos EP11 CBR 2

	Capa	Mr (1 iteración)	Mr (1 iteración)	Invariante de esfuerzos (θ)	T_{oct}	Mr (modelo 1)	Mr (modelo 2)	Mr (modelo 3)	Mr (promedio modelos)	Mr (promedio modelos)	Criterio de aceptación
		(psi)	(MPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(MPa)	(%)
Iteración 1	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base estabilizada	600000,00	4136,85	67,08	135,72	4136854,38	4136854,38	4136854,38	4136854,38	4136,85	0,00
	Subbase Granular	14000,00	96,53	10,84	10,64	74140,91	109432,78	75325,42	86299,70	86,30	-10,59
	Subrasante	6000,00	41,37							41,37	0,00
Iteración 2	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base estabilizada	600000,00	4136,85	63,03	136,24	4136854,38	4136854,38	4136854,38	4136854,38	4136,85	0,00
	Subbase Granular	12516,71	86,30	13,64	9,84	79742,45	114921,09	80848,62	91837,39	91,84	6,42
	Subrasante	6000,00	41,37							41,37	0,00



	Capa	Mr (1 iteración)	Mr (1 iteración)	Invariante de esfuerzos (θ)	T_{oct}	Mr (modelo 1)	Mr (modelo 2)	Mr (modelo 3)	Mr (promedio modelos)	Mr (promedio modelos)	Criterio de aceptación
		(psi)	(MPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(MPa)	(%)
Iteración 3	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base estabilizada	600000,00	4136,85	65,25	135,95	4136854,38	4136854,38	4136854,38	4136854,38	4136,85	0,00
	Subbase Granular	13319,89	91,84	12,11	10,28	76794,13	112049,39	77943,63	88929,05	88,93	-3,17
	Subrasante	6000,00								41,37	0,00
Iteración 4	Mezcla asfáltica	279000,00								1923,64	0,00
	Base estabilizada	600000,00	4136,85	64,09	136,10	4136854,38	4136854,38	4136854,38	4136854,38	4136,85	0,00
	Subbase Granular	12898,07	88,93	12,91	10,05	78365,64	113584,62	79492,58	90480,95	90,48	1,75
	Subrasante	6000,00								41,37	0,00
Iteración 5	Mezcla asfáltica	279000,00								1923,64	0,00
	Base estabilizada	600000,00	4136,85	64,70	136,02	4136854,38	4136854,38	4136854,38	4136854,38	4136,85	0,00
	Subbase Granular	13123,15	90,48	12,48	10,17	77531,21	112770,65	78670,16	89657,34	89,66	-0,91
	Subrasante	6000,00								41,37	0,00



TablaA3. 171 Resumen módulos EP11 CBR 2

Mr Final MPa (psi)	
Mezcla Asfáltica	1923,64 (279000)
Base Estabilizada	4136,85 (600000)
Subbase Granular	89,66 (13004)
Subrasante	41,37 (6000)

TablaA3. 172 Deformación Permanente EP11 CBR 2

Deformación Permanente					
	Espesor cm (in)	ϵ_v (in/in)	Módulo resiliente MPa (psi)	δ (cm)	N max
CA	5 (1,97)	0,000141	1923,64 (279000)	0,699	7699874
Base Estabilizada	20 (7,87)	0,000055	4136,85 (600000)	0,000	
Subbase Granular	20 (7,87)	0,000232	89,66 (13004)	0,117	
Subrasante_interfaz	-	0,000296	41,37 (6000)	0,384	
Subrasante_6" de interfaz	-	0,000245	-	-	
			Total	1,200	



TablaA3. 173 Fatiga EP11 CBR 2

Fatiga CA						
	Espesor cm (in)	Módulo resiliente MPa (psi)	ϵt (in/in)	FC 50 %	FC 75 %	N
CA	5 (1,97)	1923,64 (279000)	0,000080	1644917321,87	3011302582,18	4945617319,21
d	0,332601011	0,608883055				
c1	1	1				
c1'	-2	-2				
c2'	1	1				
c2''	-4,18	-4,18				
FC (%)	50,00	75,00				
n	1644917321,87	3011302582,18				
N	4945617319,21	4945617319,21				

TablaA3. 174 Cálculo de módulos EP11 CBR 3

	Capa	Mr (1 iteración)	Mr (1 iteración)	Invariante de esfuerzos (θ)	T_{oct}	Mr (modelo 1)	Mr (modelo 2)	Mr (modelo 3)	Mr (promedio modelos)	Mr (promedio modelos)	Criterio de aceptación
		(psi)	(MPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(MPa)	(%)
Iteración 1	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base estabilizada	600000,00	4136,85	75,65	134,64	4136854,38	4136854,38	4136854,38	4136854,38	4136,85	0,00
	Subbase Granular	14000,00	96,53	23,12	10,26	94203,45	128594,49	95119,73	105972,56	105,97	9,79
	Subrasante	9000,00	62,05							62,05	0,00



	Capa	Mr (1 iteración) (psi)	Mr (1 iteración) (MPa)	Invariante de esfuerzos (θ) (kPa)	T_{oct} (kPa)	Mr (modelo 1) (kPa)	Mr (modelo 2) (kPa)	Mr (modelo 3) (kPa)	Mr (promedio modelos) (kPa)	Mr (promedio modelos) (MPa)	Criterio de aceptación (%)
Iteración 2	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base estabilizada	600000,00	4136,85	79,03	134,23	4136854,38	4136854,38	4136854,38	4136854,38	4136,85	0,00
	Subbase Granular	15370,02	105,97	20,96	10,89	91317,08	125940,81	92294,47	103184,12	103,18	-2,63
	Subrasante	9000,00	62,05							62,05	0,00
Iteración 3	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base estabilizada	600000,00	4136,85	78,05	134,35	4136854,38	4136854,38	4136854,38	4136854,38	4136,85	0,00
	Subbase Granular	14965,59	103,18	21,60	10,70	92190,57	126746,97	93149,98	104029,18	104,03	0,82
	Subrasante	9000,00	62,05							62,05	0,00
Iteración 4	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base estabilizada	600000,00	4136,85	78,35	134,31	4136854,38	4136854,38	4136854,38	4136854,38	4136,85	0,00
	Subbase Granular	15088,16	104,03	21,41	10,76	91928,17	126505,08	92893,03	103775,42	103,78	-0,24
	Subrasante	9000,00	62,05							62,05	0,00
Iteración 5	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base estabilizada	600000,00	4136,85	78,27	134,32	4136854,38	4136854,38	4136854,38	4136854,38	4136,85	0,00
	Subbase Granular	15051,35	103,78	21,47	10,74	92007,41	126578,16	92970,63	103852,06	103,85	0,07
	Subrasante	9000,00	62,05							62,05	0,00



TablaA3. 175 Resumen de módulos EP11 CBR 3

Mr Final kPa (psi)	
Mezcla Asfáltica	1923,64 (279000)
Base Estabilizada	4136,85 (600000)
Subbase Granular	103,85 (15062)
Subrasante	62,05(9000)

TablaA3. 176 Deformación permanente EP11 CBR 3

Deformación Permanente					
	Espesor cm (in)	ϵ_v (in/in)	Módulo resiliente MPa (psi)	δ (cm)	N max
CA	5 (1,97)	0,000150	1923,64 (279000)	0,737	7572665
Base Estabilizada	20 (7,87)	0,000056	4136,85 (600000)	0,000	
Subbase Granular	20 (7,87)	0,000218	103,85 (15062)	0,114	
Subrasante_interfaz	-	0,000241	62,05(9000)	0,350	
Subrasante_6" de interfaz	-	0,000198	-	-	
			Total	1,200	



TablaA3. 177 Fatiga EP11 CBR 3

Fatiga CA						
	Espesor cm (in)	Módulo resiliente MPa (psi)	ϵt (in/in)	FC 50 %	FC 75 %	N
CA	5 (1,97)	1923,64 (279000)	0,000073	2362498248,26	4324957236,92	7103100014,70
d	0,332601011	0,608883055				
c1	1	1				
c1'	-2	-2				
c2'	1	1				
c2''	-4,18	-4,18				
FC (%)	50,00	75,00				
n	2362498248,26	4324957236,92				
N	7103100014,70	7103100014,70				

TablaA3. 178 Cálculo de módulos EP11 CBR 4

	Capa	Mr (1 iteración)	Mr (1 iteración)	Invariante de esfuerzos (θ)	T_{oct}	Mr (modelo 1)	Mr (modelo 2)	Mr (modelo 3)	Mr (promedio modelos)	Mr (promedio modelos)	Criterio de aceptación
		(psi)	(MPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(MPa)	(%)
Iteración 1	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base estabilizada	600000,00	4136,85	81,91	133,97	4136854,38	4136854,38	4136854,38	4136854,38	4136,85	0,00
	Subbase Granular	14000,00	96,53	33,32	10,11	105741,59	139005,68	106453,62	117066,97	117,07	21,28
	Subrasante	12500,00	86,18							86,18	0,00



	Capa	Mr (1 iteración)	Mr (1 iteración)	Invariante de esfuerzos (θ)	T_{oct}	Mr (modelo 1)	Mr (modelo 2)	Mr (modelo 3)	Mr (promedio modelos)	Mr (promedio modelos)	Criterio de aceptación
		(psi)	(MPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(MPa)	(%)
Iteración 2	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base estabilizada	600000,00	4136,85	88,83	133,20	4136854,38	4136854,38	4136854,38	4136854,38	4136,85	0,00
	Subbase Granular	16979,13	117,07	29,47	11,33	101679,30	135415,72	102501,15	113198,72	113,20	-3,30
	Subrasante	12500,00	86,18							86,18	0,00
Iteración 3	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base estabilizada	600000,00	4136,85	87,57	133,34	4136854,38	4136854,38	4136854,38	4136854,38	4136,85	0,00
	Subbase Granular	16418,09	113,20	30,21	11,10	102482,68	136129,96	103283,84	113965,49	113,97	0,68
	Subrasante	12500,00	86,18							86,18	0,00
Iteración 4	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base estabilizada	600000,00	4136,85	87,82	133,31	4136854,38	4136854,38	4136854,38	4136854,38	4136,85	0,00
	Subbase Granular	16529,30	113,97	30,06	11,15	102324,97	135989,92	103130,23	113815,04	113,82	-0,13
	Subrasante	12500,00	86,18							86,18	0,00
Iteración 5	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base estabilizada	600000,00	4136,85	87,78	133,31	4136854,38	4136854,38	4136854,38	4136854,38	4136,85	0,00
	Subbase Granular	16507,48	113,82	30,09	11,14	102356,00	136017,48	103160,45	113844,64	113,84	0,03



Capa	Mr (1 iteración)	Mr (1 iteración)	Invariante de esfuerzos (θ)	T_{oct}	Mr (modelo 1)	Mr (modelo 2)	Mr (modelo 3)	Mr (promedio modelos)	Mr (promedio modelos)	Criterio de aceptación
	(psi)	(MPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(MPa)	(%)
Subrasante	12500,00	86,18							86,18	0,00

TablaA3. 179 Resumen módulos EP11 CBR 4

Mr Final kPa (psi)	
Mezcla Asfáltica	1923,64 (279000)
Base Estabilizada	4136,85 (600000)
Subbase Granular	113,85 (16512)
Subrasante	86,18 (12500)

TablaA3. 180 Deformación permanente EP11 CBR 4

Deformación Permanente					
	Espesor cm (in)	ϵ_v (in/in)	Módulo resiliente MPa (psi)	δ (cm)	N max
CA	5 (1,97)	0,000157	1923,64 (279000)	0,781	5676705
Base granular	20 (7,87)	0,000056	4136,85 (600000)	0,000	
Subbase Estabilizada	20 (7,87)	0,000211	113,85 (16512)	0,109	
Subrasante_interfaz	-	0,000201	86,18 (12500)	0,310	



Subrasante_6" de interfaz	-	0,000165	-	-	
			Total	1,200	

TablaA3. 181 Fatiga EP11 CBR 4

Fatiga CA						
	Espesor cm (in)	Módulo resiliente MPa (psi)	ϵt (in/in)	FC 50 %	FC 75 %	N
CA	5 (1,97)	1923,64 (279000)	0,000067	3180380633,17	5822230871,81	9562149618,06
d	0,332601011	0,608883055				
c1	1	1				
c1'	-2	-2				
c2'	1	1				
c2''	-4,18	-4,18				
FC (%)	50,00	75,00				
n	3180380633,17	5822230871,81				
N	9562149618,06	9562149618,06				



TablaA3. 182 Cálculo de módulos EP11 CBR 5

	Capa	Mr	Mr	Invariante de esfuerzos (θ)	T_{oct}	Mr (modelo 1)	Mr (modelo 2)	Mr (modelo 3)	Mr (promedio modelos)	Mr (promedio modelos)	Criterio de aceptación
		(psi)	(MPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(MPa)	(%)
Iteración 1	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base estabilizada	600000,00	4136,85	84,14	133,77	4136854,38	4136854,38	4136854,38	4136854,38	4136,85	0,00
	Subbase Granular	14000,00	96,53	37,28	10,09	109557,26	142366,47	110195,29	120706,34	120,71	25,05
	Subrasante	14200,00	97,91							97,91	0,00
Iteración 2	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base estabilizada	600000,00	4136,85	92,13	129,53	4136854,38	4136854,38	4136854,38	4136854,38	4136,85	0,00
	Subbase Granular	17506,97	120,71	33,14	11,46	105514,21	138841,08	106271,39	116875,56	116,88	-3,17
	Subrasante	14200,00	97,91							97,91	0,00
Iteración 3	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base estabilizada	600000,00	4136,85	90,93	133,03	4136854,38	4136854,38	4136854,38	4136854,38	4136,85	0,00
	Subbase Granular	16951,37	116,88	33,81	11,25	106193,56	139437,19	106931,80	117520,85	117,52	0,55
	Subrasante	14200,00	97,91							97,91	0,00
Iteración	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base estabilizada	600000,00	4136,85	91,13	133,01	4136854,38	4136854,38	4136854,38	4136854,38	4136,85	0,00



	Capa	Mr	Mr	Invariante de esfuerzos (θ)	T_{oct}	Mr (modelo 1)	Mr (modelo 2)	Mr (modelo 3)	Mr (promedio modelos)	Mr (promedio modelos)	Criterio de aceptación
		(psi)	(MPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(MPa)	(%)
Iteración 5	Subbase Granular	17044,96	117,52	33,70	11,28	106080,37	139337,97	106821,79	117413,38	117,41	-0,09
	Subrasante	14200,00	97,91							97,91	0,00
	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base estabilizada	600000,00	4136,85	91,10	133,01	4136854,38	4136854,38	4136854,38	4136854,38	4136,85	0,00
	Subbase Granular	17029,37	117,41	33,72	11,28	106099,34	139354,61	106840,23	117431,39	117,43	0,02
	Subrasante	14200,00	97,91							97,91	0,00

TablaA3. 183 Resumen módulos EP11 CBR 5

Mr Final kPa (psi)	
Mezcla Asfáltica	1923,64 (279000)
Base Estabilizada	4136,85 (600000)
Subbase Granular	117,43 (17032)
Subrasante	97,91 (14200)

TablaA3. 184 Deformación permanente EP11 CBR 5

Deformación Permanente					
	Espesor cm (in)	ϵ_v (in/in)	Módulo resiliente MPa (psi)	δ (cm)	N max
CA	5 (1,97)	0,000159	1923,64 (279000)	0,785	7647463



Base estabilizada	20 (7,87)	0,000056	4136,85 (600000)	0,000	
Subbase Granular	20 (7,87)	0,000209	117,43 (17032)	0,111	
Subrasante_interfaz	-	0,000186	97,91 (14200)	0,304	
Subrasante_6" de interfaz	-	0,000153	-	-	
			Total	1,200	

TablaA3. 185 Fatiga EP11 CBR 5

Fatiga CA						
	Espesor cm (in)	Módulo resiliente MPa (psi)	ϵ_t (in/in)	FC 50 %	FC 75 %	N
CA	5 (1,97)	1923,64 (279000)	0,000065	3571602573,43	6538429566,57	10738399620,21
d	0,332601011	0,608883055				
c1	1	1				
c1'	-2	-2				
c2'	1	1				
c2''	-4,18	-4,18				
FC (%)	50,00	75,00				
n	3571602573,43	6538429566,57				
N	10738399620,21	10738399620,21				



9.12 Estructura de Pavimento 12 (EP12)

TablaA3. 186 Cálculo de módulos EP12 CBR 1

	Capa	Mr (1 iteración) (psi)	Mr (1 iteración) (MPa)	Invariante de esfuerzos (θ) (kPa)	T_{oct} (kPa)	Mr (modelo 1) (kPa)	Mr (modelo 2) (kPa)	Mr (modelo 3) (kPa)	Mr (promedio modelos) (kPa)	Mr (promedio modelos) (MPa)	Criterio de aceptación (%)
Iteración 1	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base Granular	28000,00	193,05	104,91	84,45	98444,98	167382,11	115600,66	127142,58	127,14	-34,14
	Subbase Granular	14000,00	96,53	-11,82							
	Subrasante	4500,00	31,03							31,03	0,00
Iteración 2	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base Granular	18440,47	127,14								-100,00
	Subbase Granular										
	Subrasante	4500,00	31,03							31,03	0,00
Iteración 3	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base Granular										
	Subbase Granular										
	Subrasante	4500,00	31,03							31,03	0,00



	Capa	Mr (1 iteración) (psi)	Mr (1 iteración) (MPa)	Invariante de esfuerzos (θ) (kPa)	T_{oct} (kPa)	Mr (modelo 1) (kPa)	Mr (modelo 2) (kPa)	Mr (modelo 3) (kPa)	Mr (promedio modelos) (kPa)	Mr (promedio modelos) (MPa)	Criterio de aceptación (%)
Iteración 4	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base Granular										
	Subbase Granular										
	Subrasante	4500,00	31,03							31,03	0,00
Iteración 5	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base Granular										
	Subbase Granular										
	Subrasante	4500,00	31,03							31,03	0,00

*No aplica, el invariante de esfuerzos es negativo

TablaA3. 187 Resumen de módulos EP12 CBR 1

Mr Final MPa (psi)	
Mezcla Asfáltica	1923,64 (279000)
Base Granular	146,03 (21180)
Subbase Granular	89,63 (13000)
Subrasante	31,03 (4500)



TablaA3. 188 Deformación permanente EP12 CBR 1

Deformación Permanente					
	Espesor cm (in)	ϵ_v (in/in)	Módulo resiliente MPa (psi)	δ (cm)	N max
CA	5 (1,97)	0,000148	1923,64 (279000)	0,209	284667
Base Granular	15 (5,91)	0,001051	146,03 (21180)	0,335	
Subbase Granular	15 (5,91)	0,000851	89,63 (13000)	0,233	
Subrasante_interfaz	-	0,001187	31,03 (4500)	0,423	
Subrasante_6" de interfaz	-	0,000839	-	-	
Total				1,200	

TablaA3. 189 Fatiga EP12 CBR 1

Fatiga CA						
	Espesor cm (in)	Módulo resiliente MPa (psi)	ϵ_t (in/in)	FC 50 %	FC 75 %	N
CA	5 (1,97)	1923,64 (279000)	0,000566	216617,22	464771,02	869494,74
d	0,33260101	0,60888306				
c1	1	1				
c1'	-2	-2				



Fatiga CA						
	Espesor cm (in)	Módulo resiliente MPa (psi)	ϵ_t (in/in)	FC 50 %	FC 75 %	N
c2'	1	1				
c2''	-4,18	-4,18				
FC (%)	50,00	75,00				
n	216617,22	464771				
N	869494,74	869495				

TablaA3. 190 Cálculo de módulos EP12 CBR 2

	Capa	Mr (1 iteración)	Mr (1 iteración)	Invariante de esfuerzos (θ)	T_{oct}	Mr (modelo 1)	Mr (modelo 2)	Mr (modelo 3)	Mr (promedio modelos)	Mr (promedio modelos)	Criterio de aceptación
		(psi)	(MPa)			(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	
Iteración 1	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base Granular	28000,00	193,05	118,99	83,13	104646,35	174003,42	122836,52	133828,76	133,83	-30,68
	Subbase Granular	14000,00	96,53	11,94	37,02	75924,08	111714,67	77607,17	111714,67	111,71	15,73
	Subrasante	6000,00	41,37							41,37	0,00
Iteración 2	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base Granular	19410,22	133,83	163,85	70,61	122547,93	192021,96	143316,41	152628,77	152,63	14,05
	Subbase Granular	16202,84	111,71	8,05	41,34	66969,36	102721,06	68737,51	102721,06	102,72	-8,05
	Subrasante	6000,00	41,37							41,37	0,00



	Capa	Mr (1 iteración)	Mr (1 iteración)	Invariante de esfuerzos (θ)	T_{oct}	Mr (modelo 1)	Mr (modelo 2)	Mr (modelo 3)	Mr (promedio modelos)	Mr (promedio modelos)	Criterio de aceptación
		(psi)	(MPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(MPa)	(%)
Iteración 3	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base Granular	22136,93	152,63	146,16	73,49	115879,68	185382,23	135637,37	145633,09	145,63	-4,58
	Subbase Granular	14898,43	102,72	11,08	37,98	74136,14	109950,85	75841,62	109950,85	109,95	7,04
	Subrasante	6000,00	41,37							41,37	0,00
Iteración 4	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base Granular	21122,29	145,63	156,11	73,24	119625,12	189179,90	140010,82	149605,28	149,61	2,73
	Subbase Granular	15947,02	109,95	7,48	40,76	65447,46	101132,76	67205,95	101132,76	101,13	-8,02
	Subrasante	6000,00	41,37							41,37	0,00
Iteración 5	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base Granular	21698,41	149,61	156,11	73,24	119625,12	189179,90	140010,82	149605,28	149,61	0,00
	Subbase Granular	14668,07	101,13	7,48	40,76	65447,46	101132,76	67205,95	101132,76	101,13	0,00
	Subrasante	6000,00	41,37							41,37	0,00



TablaA3. 191 Resumen módulos EP12 CBR 2

Mr Final MPa (psi)	
Mezcla Asfáltica	1923,64 (279000)
Base Granular	149,61 (21698)
Subbase Granular	101,13 (14668)
Subrasante	41,37 (6000)

TablaA3. 192 Deformación Permanente EP12 CBR 2

Deformación Permanente					
	Espesor cm (in)	ϵ_v (in/in)	Módulo resiliente MPa (psi)	δ (cm)	N max
CA	5 (1,97)	0,000156	1923,64 (279000)	0,205	336052
Base Granular	15 (5,91)	0,001027	149,61 (21698)	0,334	
Subbase Granular	15 (5,91)	0,000764	101,13 (14668)	0,223	
Subrasante_interfaz	-	0,000992	41,37 (6000)	0,438	
Subrasante_6" de interfaz	-	0,000699	-	-	
			Total	1,200	



TablaA3. 193 Fatiga EP12 CBR 2

Fatiga CA						
	Espesor cm (in)	Módulo resiliente MPa (psi)	ϵ_t (in/in)	FC 50 %	FC 75 %	N
CA	5 (1,97)	1923,64 (279000)	0,000549	244299,10	524164,89	980608,93
d	0,33260101	0,60888306				
c1	1	1				
c1'	-2	-2				
c2'	1	1				
c2''	-4,18	-4,18				
FC (%)	50,00	75,00				
n	244299,10	524164,89				
N	980608,93	980608,93				

TablaA3. 194 Cálculo de módulos EP12 CBR 3

	Capa	Mr (1 iteración)	Mr (1 iteración)	Invariante de esfuerzos (θ)	T_{oct}	Mr (modelo 1)	Mr (modelo 2)	Mr (modelo 3)	Mr (promedio modelos)	Mr (promedio modelos)	Criterio de aceptación
		(psi)	(MPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(MPa)	(%)
Iteración 1	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base Granular	28000,00	193,05	137,85	81,67	112384,33	182070,13	131864,19	142106,21	142,11	-26,39
	Subbase Granular	14000,00	96,53	45,94	34,03	116298,09	148845,21	117519,60	127554,30	127,55	32,14
	Subrasante	9000,00	62,05							62,05	0,00



	Capa	Mr (1 iteración) (psi)	Mr (1 iteración) (MPa)	Invariante de esfuerzos (θ) (kPa)	T_{oct} (kPa)	Mr (modelo 1) (kPa)	Mr (modelo 2) (kPa)	Mr (modelo 3) (kPa)	Mr (promedio modelos) (kPa)	Mr (promedio modelos) (MPa)	Criterio de aceptación (%)
Iteración 2	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base Granular	20610,76	142,11	186,19	71,09	130314,43	199730,70	152421,71	160822,28	160,82	13,17
	Subbase Granular	18500,19	127,55	35,07	40,36	106627,48	140523,43	108138,44	118429,78	118,43	-7,15
	Subrasante	9000,00	62,05							62,05	0,00
Iteración 3	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base Granular	23325,30	160,82	171,41	74,99	125073,22	194706,60	146464,43	155414,75	155,41	-3,36
	Subbase Granular	17176,79	118,43	36,82	38,74	108328,67	141995,42	109780,23	120034,77	120,03	1,36
	Subrasante	9000,00	62,05							62,05	0,00
Iteración 4	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base Granular	22541,00	155,41	175,06	73,92	126390,18	195973,99	147959,13	156774,43	156,77	0,87
	Subbase Granular	17409,57	120,03	36,73	39,09	108233,84	141919,46	109695,32	119949,54	119,95	-0,07
	Subrasante	9000,00	62,05							62,05	0,00
Iteración 5	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base Granular	22738,21	156,77	174,37	74,18	126140,81	195736,54	147678,67	156518,67	156,52	-0,16
	Subbase Granular	17397,21	119,95	36,58	39,04	108096,20	141796,70	109558,15	119817,02	119,82	-0,11
	Subrasante	9000,00	62,05							62,05	0,00



TablaA3. 195 Resumen de módulos EP12 CBR 3

Mr Final MPa (psi)	
Mezcla Asfáltica	1923,64 (279000)
Base Granular	156,52 (22701)
Subbase Granular	119,82 (17378)
Subrasante	62,05(9000)

TablaA3. 196 Deformación permanente EP12 CBR 3

Deformación Permanente					
	Espesor cm (in)	ϵ_v (in/in)	Módulo resiliente MPa (psi)	δ (cm)	N max
CA	5 (1,97)	0,000167	1923,64 (279000)	0,253	330024
Base Granular	15 (5,91)	0,000993	156,52 (22701)	0,326	
Subbase Granular	15 (5,91)	0,000656	119,82 (17378)	0,201	
Subrasante_interfaz	-	0,000758	62,05(9000)	0,419	
Subrasante_6" de interfaz	-	0,000534	-	-	
			Total	1,200	



TablaA3. 197 Fatiga EP12 CBR 3

Fatiga CA						
	Espesor cm (in)	Módulo resiliente MPa (psi)	ϵt (in/in)	FC 50 %	FC 75 %	N
CA	5 (1,97)	1923,64 (279000)	0,000525	292858,56	628353,42	1175525,07
d	0,332601011	0,608883055				
c1	1	1				
c1'	-2	-2				
c2'	1	1				
c2''	-4,18	-4,18				
FC (%)	50,00	75,00				
n	292858,56	628353,42				
N	1175525,07	1175525,07				

TablaA3. 198 Cálculo de módulos EP12 CBR 4

	Capa	Mr (1 iteración)	Mr (1 iteración)	Invariante de esfuerzos (θ)	T_{oct}	Mr (modelo 1)	Mr (modelo 2)	Mr (modelo 3)	Mr (promedio modelos)	Mr (promedio modelos)	Criterio de aceptación
		(psi)	(MPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(MPa)	(%)
Iteración 1	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base Granular	28000,00	193,05	151,87	80,83	117781,39	187580,98	138163,37	147841,91	147,84	-23,42
	Subbase Granular	14000,00	96,53	73,24	32,43	134820,46	164393,89	135677,16	144963,84	144,96	50,18



	Capa	Mr (1 iteración) (psi)	Mr (1 iteración) (MPa)	Invariante de esfuerzos (θ) (kPa)	T_{oct} (kPa)	Mr (modelo 1) (kPa)	Mr (modelo 2) (kPa)	Mr (modelo 3) (kPa)	Mr (promedio modelos) (kPa)	Mr (promedio modelos) (MPa)	Criterio de aceptación (%)
Iteración 2	Subrasante	12500,00	86,18							86,18	0,00
	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base Granular	21442,66	147,84	205,25	71,50	136564,41	205816,56	159752,08	167377,68	167,38	13,21
	Subbase Granular	21025,23	144,96	56,90	39,37	124278,73	155785,02	125524,35	135196,03	135,20	-6,74
	Subrasante	12500,00	86,18							86,18	0,00
Iteración 3	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base Granular	24276,08	167,38	192,05	75,18	132110,80	201645,30	154714,42	162823,50	162,82	-2,72
	Subbase Granular	19608,53	135,20	57,70	37,92	124873,89	156252,87	126069,82	135732,19	135,73	0,40
	Subrasante	12500,00	86,18							86,18	0,00
Iteración 4	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base Granular	23615,55	162,82	194,17	74,38	132845,16	202330,04	155537,39	163570,87	163,57	0,46
	Subbase Granular	19686,29	135,73	58,16	38,10	125176,70	156512,50	126372,84	136020,68	136,02	0,21
	Subrasante	12500,00	86,18							86,18	0,00



	Capa	Mr (1 iteración)	Mr (1 iteración)	Invariante de esfuerzos (θ)	T_{oct}	Mr (modelo 1)	Mr (modelo 2)	Mr (modelo 3)	Mr (promedio modelos)	Mr (promedio modelos)	Criterio de aceptación
		(psi)	(MPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(MPa)	(%)
Iteración 5	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base Granular	23723,95	163,57	194,05	74,50	132801,00	202291,81	155491,39	163528,07	163,53	-0,03
	Subbase Granular	19728,13	136,02	57,92	38,11	125015,25	156376,59	126214,19	135868,68	135,87	-0,11
	Subrasante	12500,00	86,18							86,18	0,00

TablaA3. 199 Resumen módulos EP12 CBR 4

Mr Final MPa (psi)	
Mezcla Asfáltica	1923,64 (279000)
Base Estabilizada	163,53 (23718)
Subbase Granular	135,87 (19706)
Subrasante	86,18 (12500)



TablaA3. 200 Deformación permanente EP12 CBR 4

Deformación Permanente					
	Espesor cm (in)	ϵ_v (in/in)	Módulo resiliente MPa (psi)	δ (cm)	N max
CA	5 (1,97)	0,000175	1923,64 (279000)	0,272	476265
Base Granular	15 (5,91)	0,000966	163,53 (23718)	0,331	
Subbase Estabilizada	15 (5,91)	0,000587	135,87 (19706)	0,193	
Subrasante_interfaz	-	0,000603	86,18 (12500)	0,404	
Subrasante_6" de interfaz	-	0,000424	-	-	
			Total	1,200	

TablaA3. 201 Fatiga EP12 CBR 4

Fatiga CA						
	Espesor cm (in)	Módulo resiliente MPa (psi)	ϵ_t (in/in)	FC 50 %	FC 75 %	N
CA	5 (1,97)	1923,64 (279000)	0,000505	339991,02	729480,19	1364713,29
d	0,332601011	0,608883055				
c1	1	1				
c1'	-2	-2				
c2'	1	1				



Fatiga CA						
	Espesor cm (in)	Módulo resiliente MPa (psi)	ϵ_t (in/in)	FC 50 %	FC 75 %	N
c2''	-4,18	-4,18				
FC (%)	50,00	75,00				
n	339991,02	729480,19				
N	1364713,29	1364713,29				

TablaA3. 202 Cálculo de módulos EP12 CBR 5

	Capa	Mr	Mr	Invariante de esfuerzos (θ)	T_{oct}	Mr (modelo 1)	Mr (modelo 2)	Mr (modelo 3)	Mr (promedio modelos)	Mr (promedio modelos)	Criterio de aceptación
		(psi)	(MPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(MPa)
Iteración 1	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base Granular	28000,00	193,05	156,93	80,59	119666,31	189485,21	140364,59	149838,70	149,84	-22,38
	Subbase Granular	14000,00	96,53	83,28	32,03	140416,13	168951,48	141149,73	150172,45	150,17	55,58
	Subrasante	14200,00	97,91							97,91	0,00
Iteración 2	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base Granular	21732,27	149,84	211,30	71,74	138479,98	207666,22	162004,53	169383,58	169,38	13,04
	Subbase Granular	21780,67	150,17	66,18	39,10	130362,71	160878,89	131502,38	140914,66	140,91	-6,16
	Subrasante	14200,00	97,91							97,91	0,00



	Capa	Mr	Mr	Invariante de esfuerzos (θ)	T_{oct}	Mr (modelo 1)	Mr (modelo 2)	Mr (modelo 3)	Mr (promedio modelos)	Mr (promedio modelos)	Criterio de aceptación
		(psi)	(MPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(MPa)	(%)
Iteración 3	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base Granular	24567,01	169,38	199,07	75,28	134413,95	203888,57	157416,39	165239,64	165,24	-2,45
	Subbase Granular	20437,94	140,91	66,46	37,79	130575,83	161023,63	131673,49	141090,98	141,09	0,13
	Subrasante	14200,00	97,91							97,91	0,00
Iteración 4	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base Granular	23965,98	165,24	200,73	74,59	134979,71	204409,47	158046,23	165811,80	165,81	0,35
	Subbase Granular	20463,52	141,09	67,01	37,58	130923,86	161307,45	132009,22	141413,51	141,41	0,23
	Subrasante	14200,00	97,91							97,91	0,00
Iteración 5	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base Granular	24048,97	165,81	200,70	74,68	134967,58	204401,27	158036,29	165801,71	165,80	-0,01
	Subbase Granular	20510,30	141,41	66,80	37,93	130782,84	161199,18	131881,12	141287,72	141,29	-0,09
	Subrasante	14200,00	97,91							97,91	0,00



TablaA3. 203 Resumen módulos EP12 CBR 5

Mr Final MPa (psi)	
Mezcla Asfáltica	1923,64 (279000)
Base Estabilizada	165,80 (24048)
Subbase Granular	141,29 (20492,05)
Subrasante	97,91 (14200)

TablaA3. 204 Deformación permanente EP12 CBR 5

Deformación Permanente					
	Espesor cm (in)	ϵ_v (in/in)	Módulo resiliente MPa (psi)	δ (cm)	N max
CA	5 (1,97)	0,000178	1923,64 (279000)	0,288	519671
Base Granular	15 (5,91)	0,000959	165,80 (24048)	0,332	
Subbase Granular	15 (5,91)	0,000566	141,29 (20492,05)	0,190	
Subrasante_interfaz	-	0,000550	97,91 (14200)	0,390	
Subrasante_6" de interfaz	-	0,000388	-	-	
			Total	1,200	



TablaA3. 205 Fatiga EP12 CBR 5

Fatiga CA						
	Espesor cm (in)	Módulo resiliente MPa (psi)	ϵ_t (in/in)	FC 50 %	FC 75 %	N
CA	5 (1,97)	1923,64 (279000)	0,000499	356309,31	764492,50	1430214,39
d	0,332601011	0,608883055				
c1	1	1				
c1'	-2	-2				
c2'	1	1				
c2''	-4,18	-4,18				
FC (%)	50,00	75,00				
n	356309,31	764492,50				
N	1430214,39	1430214,39				



9.13 Estructura de Pavimento 13 (EP13)

TablaA3. 206 Cálculo de módulos EP13 CBR 1

	Capa	Mr (1 iteración) (psi)	Mr (1 iteración) (MPa)	Invariante de esfuerzos (θ) (kPa)	T_{oct} (kPa)	Mr (modelo 1) (kPa)	Mr (modelo 2) (kPa)	Mr (modelo 3) (kPa)	Mr (promedio modelos) (kPa)	Mr (promedio modelos) (MPa)	Criterio de aceptación (%)
Iteración 1	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base granular	28000,00	193,05	167,06	43,24	124848,99	193171,93	144661,84	154227,59	154,23	-20,11
	Subbase Granular	14000,00	96,53								
	Subrasante	4500,00	31,03							31,03	0,00
Iteración 2	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base granular	22368,82	154,23	174,30	43,69	127406,44	195712,47	147650,25	156923,05	156,92	1,75
	Subbase Granular	0,00	0,00								
	Subrasante	4500,00	31,03							31,03	0,00
Iteración 3	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base granular	22759,76	156,92	174,30	43,69	127406,44	195712,47	147650,25	156923,05	156,92	0,00
	Subbase Granular	0,00	0,00								
	Subrasante	4500,00	31,03							31,03	0,00



	Capa	Mr (1 iteración) (psi)	Mr (1 iteración) (MPa)	Invariante de esfuerzos (θ) (kPa)	T_{oct} (kPa)	Mr (modelo 1) (kPa)	Mr (modelo 2) (kPa)	Mr (modelo 3) (kPa)	Mr (promedio modelos) (kPa)	Mr (promedio modelos) (MPa)	Criterio de aceptación (%)
Iteración 4	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base granular	22759,76	156,92	174,30	43,69	127406,44	195712,47	147650,25	156923,05	156,92	0,00
	Subbase Granular	0,00	0,00								
	Subrasante	4500,00	31,03							31,03	0,00
Iteración 5	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base granular	22759,76	156,92	174,30	43,69	127406,44	195712,47	147650,25	156923,05	156,92	0,00
	Subbase Granular	0,00	0,00								
	Subrasante	4500,00	31,03							31,03	0,00



TablaA3. 207 Resumen de módulos EP13 CBR 1

Mr Final MPa (psi)	
Mezcla asfáltica	1923,64 (279000)
Base granular	156,92 (22760)
Subbase Granular	0
Subrasante	31,03 (4500)

TablaA3. 208 Deformación permanente EP13 CBR 1

Deformación Permanente					
	Espesor cm (in)	ϵ_v (in/in)	Módulo resiliente MPa (psi)	δ (cm)	N max
CA	-	0	1923,64 (279000)	0,000	35975
Base granular	20 (7,87)	0,002232	156,92 (22760)	0,751	
Subbase Granular	-	0	0	0,000	
Subrasante_interfaz	-	0,003009	31,03 (4500)	0,449	
Subrasante_6" de interfaz	-	0,001747	-	-	
			Total	1,200	



TablaA3. 209 Cálculo de módulos EP13 CBR 2

	Capa	Mr (1 iteración)	Mr (1 iteración)	Invariante de esfuerzos (θ)	T_{oct}	Mr (modelo 1)	Mr (modelo 2)	Mr (modelo 3)	Mr (promedio modelos)	Mr (promedio modelos)	Criterio de aceptación
		(psi)	(MPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(MPa)	(%)
Iteración 1	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base granular	28000,00	193,05	176,44	43,86	128149,42	196448,54	148520,20	157706,05	157,71	-18,31
	Subbase Granular	14000,00	96,53								
	Subrasante	6000,00	41,37							41,37	0,00
Iteración 2	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base granular	22873,33	157,71	490,42	163,18	203250,16	269150,64	243100,08	238500,30	238,50	51,23
	Subbase Granular	0,00	0,00								
	Subrasante	6000,00	41,37							41,37	0,00
Iteración 3	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base granular	34591,54	238,50	169,68	43,39	125781,52	194100,00	145750,97	155210,83	155,21	-34,92
	Subbase Granular	0,00	0,00								
	Subrasante	6000,00	41,37							41,37	0,00



	Capa	Mr (1 iteración)	Mr (1 iteración)	Invariante de esfuerzos (θ)	T_{oct}	Mr (modelo 1)	Mr (modelo 2)	Mr (modelo 3)	Mr (promedio modelos)	Mr (promedio modelos)	Criterio de aceptación
		(psi)	(MPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(MPa)	(%)
Iteración 4	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base granular	22511,43	155,21	180,09	44,13	129408,83	197692,82	149994,98	159032,21	159,03	2,46
	Subbase Granular	0,00	0,00								
	Subrasante	6000,00	41,37							41,37	0,00
Iteración 5	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base granular	23065,67	159,03	182,50	44,32	130232,54	198504,96	150960,40	159899,30	159,90	0,55
	Subbase Granular	0,00	0,00								
	Subrasante	6000,00	41,37							41,37	0,00

TablaA3. 210 Resumen módulos EP13 CBR 2

Mr Final kPa (psi)	
Mezcla asfáltica	1923,64 (279000)
Base granular	159,90 (23191)
Subbase Granular	0
Subrasante	41,37 (6000)

Informe LM-PI-UMP-103-R1	Fecha de emisión: Octubre, 2019	Página 246 de 299
--------------------------	---------------------------------	-------------------



Tabla A3. 211 Deformación Permanente EP13 CBR 2

Deformación Permanente					
	Espesor cm (in)	ϵ_v (in/in)	Módulo resiliente MPa (psi)	δ (cm)	N max
CA	-	0,000000	1923,64 (279000)	0,000	36626
Base granular	20 (7,87)	0,002238	159,90 (23191)	0,759	
Subbase Granular	-	0,000000	0	0,000	
Subrasante_interfaz	-	0,002569	41,37 (6000)	0,441	
Subrasante_6" de interfaz	-	0,001418	-	-	
			Total	1,200	



TablaA3. 212 Cálculo de módulos EP13 CBR 3

	Capa	Mr (1 iteración)	Mr (1 iteración)	Invariante de esfuerzos (θ)	T_{oct}	Mr (modelo 1)	Mr (modelo 2)	Mr (modelo 3)	Mr (promedio modelos)	Mr (promedio modelos)	Criterio de aceptación
		(psi)	(MPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(MPa)	(%)
Iteración 1	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base granular	28000,00	193,05	499,87	164,91	205058,69	270736,78	245345,77	240380,41	240,38	24,52
	Subbase Granular	14000,00	96,53								
	Subrasante	9000,00	62,05								0,00
Iteración 2	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64								0,00
	Base granular	34864,23	240,38	489,60	163,03	203090,64	269010,71	242902,32	238334,56	238,33	-0,85
	Subbase Granular	0,00	0,00							0,00	
	Subrasante	9000,00	62,05							62,05	0,00
Iteración 3	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base granular	34567,50	238,33	489,60	163,03	203090,64	269010,71	242902,32	238334,56	238,33	0,00
	Subbase Granular	0,00	0,00							0,00	
	Subrasante	9000,00	62,05							62,05	0,00



	Capa	Mr (1 iteración)	Mr (1 iteración)	Invariante de esfuerzos (θ)	T_{oct}	Mr (modelo 1)	Mr (modelo 2)	Mr (modelo 3)	Mr (promedio modelos)	Mr (promedio modelos)	Criterio de aceptación
		(psi)	(MPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(MPa)	(%)
Iteración 4	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base granular	34567,50	238,33	489,60	163,03	203090,64	269010,71	242902,32	238334,56	238,33	0,00
	Subbase Granular	0,00	0,00							0,00	
	Subrasante	9000,00	62,05							62,05	0,00
Iteración 5	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base granular	34567,50	238,33	489,60	163,03	203090,64	269010,71	242902,32	238334,56	238,33	0,00
	Subbase Granular	0,00	0,00							0,00	
	Subrasante	9000,00	62,05							62,05	0,00

TablaA3. 213 Resumen de módulos EP13 CBR 3

Mr Final kPa (psi)	
Mezcla asfáltica	1923,64 (279000)
Base granular	238,34 (34568)
Subbase Granular	0
Subrasante	62,05(9000)

Informe LM-PI-UMP-103-R1	Fecha de emisión: Octubre, 2019	Página 249 de 299
--------------------------	---------------------------------	-------------------



TablaA3. 214 Deformación permanente EP13 CBR 3

Deformación Permanente					
	Espesor cm (in)	ϵ_v (in/in)	Módulo resiliente MPa (psi)	δ (cm)	N max
CA	-	0,000000	1923,64 (279000)	0,000	220050
Base granular	20 (7,87)	0,001478	238,34 (34568)	0,674	
Subbase Granular	-	0,000000	0	0,000	
Subrasante_interfaz	-	0,001706	62,05(9000)	0,526	
Subrasante_6" de interfaz	-	0,000943	-	-	
			Total	1,200	



TablaA3. 215 Cálculo de módulos EP13 CBR 4

	Capa	Mr (1 iteración)	Mr (1 iteración)	Invariante de esfuerzos (θ)	T_{oct}	Mr (modelo 1)	Mr (modelo 2)	Mr (modelo 3)	Mr (promedio modelos)	Mr (promedio modelos)	Criterio de aceptación
		(psi)	(MPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(MPa)	(%)
Iteración 1	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base granular	28000,00	193,05	515,11	168,01	207924,08	273252,29	248922,53	243366,30	243,37	26,06
	Subbase Granular	14000,00	96,53							0,00	-100,00
	Subrasante	12500,00	86,18							86,18	0,00
Iteración 2	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base granular	35297,30	243,37	504,83	165,89	205998,75	271562,07	246517,17	241359,33	241,36	-0,82
	Subbase Granular	0,00	0,00							0,00	0
	Subrasante	12500,00	86,18							86,18	0,00
Iteración 3	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base granular	35006,21	241,36	504,83	165,89	205998,75	271562,07	246517,17	241359,33	241,36	0,00
	Subbase Granular	0,00	0,00							0,00	0
	Subrasante	12500,00	86,18							86,18	0,00



	Capa	Mr (1 iteración) (psi)	Mr (1 iteración) (MPa)	Invariante de esfuerzos (θ) (kPa)	T_{oct} (kPa)	Mr (modelo 1) (kPa)	Mr (modelo 2) (kPa)	Mr (modelo 3) (kPa)	Mr (promedio modelos) (kPa)	Mr (promedio modelos) (MPa)	Criterio de aceptación (%)
Iteración 4	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base granular	35006,21	241,36	504,83	165,89	205998,75	271562,07	246517,17	241359,33	241,36	0,00
	Subbase Granular	0,00								0,00	0
	Subrasante	12500,00								86,18	0,00
Iteración 5	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64	0,00	0,00	1923637,28	1923637,28	1923637,28	1923637,28	1923,64	0,00
	Base granular	35006,21	241,36	504,83	165,89	205998,75	271562,07	246517,17	241359,33	241,36	0,00
	Subbase Granular	0,00								0,00	0
	Subrasante	12500,00								86,18	0,00

TablaA3. 216 Resumen módulos EP13 CBR 4

Mr Final kPa (psi)	
Mezcla asfáltica	1923,64 (279000)
Base granular	241,36 (35006)
Subbase Granular	0
Subrasante	86,18 (12500)

Informe LM-PI-UMP-103-R1	Fecha de emisión: Octubre, 2019	Página 252 de 299
--------------------------	---------------------------------	-------------------



TablaA3. 217 Deformación permanente EP13 CBR 4

Deformación Permanente					
	Espesor cm (in)	ϵ_v (in/in)	Módulo resiliente MPa (psi)	δ (cm)	N max
CA	-	0,000000	1923,64 (279000)	0,000	337046
Base granular	20 (7,87)	0,001499	241,36 (35006)	0,711	
Subbase Granular	-	0,000000	0	0,000	
Subrasante_interfaz	-	0,001413	86,18 (12500)	0,489	
Subrasante_6" de interfaz	-	0,000737	-	-	
			Total	1,200	



TablaA3. 218 Cálculo de módulos EP13 CBR 5

	Capa	Mr (psi)	Mr (MPa)	Invariante de esfuerzos (θ) (kPa)	T_{oct} (kPa)	Mr (modelo 1) (kPa)	Mr (modelo 2) (kPa)	Mr (modelo 3) (kPa)	Mr (promedio modelos) (kPa)	Mr (promedio modelos) (MPa)	Criterio de aceptación (%)
Iteración 1	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base granular	28000,00	193,05	520,83	169,25	208984,92	274183,72	250251,65	244473,43	244,47	26,64
	Subbase Granular	14000,00	96,53								
	Subrasante	14200,00	97,91							97,91	0,00
Iteración 2	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base granular	35457,87	244,47	510,07	166,95	206984,37	272427,14	247747,20	242386,24	242,39	-0,85
	Subbase Granular	0,00	0,00								
	Subrasante	14200,00	97,91							97,91	0,00
Iteración 3	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base granular	35155,15	242,39	510,07	166,95	206984,37	272427,14	247747,20	242386,24	242,39	0,00
	Subbase Granular	0,00	0,00								
	Subrasante	14200,00	97,91							97,91	0,00



	Capa	Mr	Mr	Invariante de esfuerzos (θ)	Toct	Mr (modelo 1)	Mr (modelo 2)	Mr (modelo 3)	Mr (promedio modelos)	Mr (promedio modelos)	Criterio de aceptación
		(psi)	(MPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(MPa)	(%)
Iteración 4	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base granular	35155,15	242,39	510,07	166,95	206984,37	272427,14	247747,20	242386,24	242,39	0,00
	Subbase Granular	0,00	0,00								
	Subrasante	14200,00	97,91							97,91	0,00
Iteración 5	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base granular	35155,15	242,39	510,07	166,95	206984,37	272427,14	247747,20	242386,24	242,39	0,00
	Subbase Granular	0,00	0,00								
	Subrasante	14200,00	97,91							97,91	0,00

TablaA3. 219 Resumen módulos EP13 CBR 5

Mr Final kPa (psi)	
Mezcla asfáltica	1923,64 (279000)
Base granular	242,39 (35155)
Subbase Granular	0
Subrasante	97,91 (14200)

Informe LM-PI-UMP-103-R1	Fecha de emisión: Octubre, 2019	Página 255 de 299
--------------------------	---------------------------------	-------------------



TablaA3. 220 Deformación permanente EP13 CBR 5

Deformación Permanente					
	Espesor cm (in)	ϵ_v (in/in)	Módulo resiliente MPa (psi)	δ (cm)	N max
CA	-	0,000000	1923,64 (279000)	0,000	558203
Base granular	20 (7,87)	0,001488	242,39 (35155)	0,735	
Subbase Granular	-	0,000000	0	0,000	
Subrasante_interfaz	-	0,001302	97,91 (14200)	0,465	
Subrasante_6" de interfaz	-	0,000666	-	-	
			Total	1,200	

9.14 Estructura de Pavimento 14 (EP14)

TablaA3. 221 Cálculo de módulos EP14 CBR 1

	Capa	Mr (1 iteración)	Mr (1 iteración)	Invariante de esfuerzos (θ)	T_{oct}	Mr (modelo 1)	Mr (modelo 2)	Mr (modelo 3)	Mr (promedio modelos)	Mr (promedio modelos)	Criterio de aceptación
		(psi)	(MPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(MPa)	(%)
Iteración 1	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base Granular	28000,00	193,05	21,44	79,34	45864,65	102643,95	53778,19	67428,93	67,43	-65,07
	Subbase Granular	14000,00	96,53								
	Subrasante	4500,00	31,03							31,03	0,00
Iteración 2	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base Granular	9779,74	67,43	148,38	20,12	119033,06	186242,41	136623,57	147299,68	147,30	118,45
	Subbase Granular	0,00	0,00								
	Subrasante	4500,00	31,03							31,03	0,00
Iteración 3	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base Granular	21364,01	147,30	43,23	71,27	64461,54	127385,96	75401,26	89082,92	89,08	-39,52
	Subbase Granular	0,00	0,00								
	Subrasante	4500,00	31,03							31,03	0,00



	Capa	Mr (1 iteración)	Mr (1 iteración)	Invariante de esfuerzos (θ)	T_{oct}	Mr (modelo 1)	Mr (modelo 2)	Mr (modelo 3)	Mr (promedio modelos)	Mr (promedio modelos)	Criterio de aceptación
		(psi)	(MPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(MPa)	(%)
Iteración 4	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base Granular	12920,38	89,08	78,19	58,68	86116,94	152891,72	100327,30	113111,99	113,11	26,97
	Subbase Granular	0,00	0,00								
	Subrasante	4500,00	31,03							31,03	0,00
Iteración 5	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base Granular	16405,51	113,11	78,19	58,68	86116,94	152891,72	100327,30	113111,99	113,11	0,00
	Subbase Granular	0,00	0,00								
	Subrasante	4500,00	31,03							31,03	0,00

TablaA3. 222 Resumen de módulos EP14 CBR 1

Mr Final MPa (psi)	
Mezcla Asfáltica	1923,64 (279000)
Base Granular	113,11 (16406)
Subbase Granular	0
Subrasante	31,03 (4500)

Informe LM-PI-UMP-103-R1	Fecha de emisión: Octubre, 2019	Página 258 de 299
--------------------------	---------------------------------	-------------------



TablaA3. 223 Deformación permanente EP14 CBR 1

Deformación Permanente					
	Espesor cm (in)	ϵ_v (in/in)	Módulo resiliente MPa (psi)	δ (cm)	N max
CA	7 (2,756)	0,000147	1923,64 (279000)	0,187	227104
Base Granular	20 (7,87)	0,001147	113,11 (16406)	0,442	
Subbase Granular	0	0,000000	0	0,000	
Subrasante_interfaz	-	0,001615	31,03 (4500)	0,572	
Subrasante_6" de interfaz	-	0,001156	-	-	
			Total	1,200	

TablaA3. 224 Fatiga EP14 CBR 1

Fatiga CA						
	Espesor cm (in)	Módulo resiliente MPa (psi)	ϵ_t (in/in)	FC 50 %	FC 75 %	N
CA	7 (2,756)	1923,64 (279000)	0,000673	110232,10	236512,52	442468,18
d	0,33260101	0,60888306				
c1	1	1				
c1'	-2	-2				
c2'	1	1				

Informe LM-PI-UMP-103-R1	Fecha de emisión: Octubre, 2019	Página 259 de 299
--------------------------	---------------------------------	-------------------



Fatiga CA						
	Espesor cm (in)	Módulo resiliente MPa (psi)	et (in/in)	FC 50 %	FC 75 %	N
c2''	-4,18	-4,18				
FC (%)	50,00	75,00				
n	110232,10	236513				
N	442468,18	442468				

TablaA3. 225 Cálculo de módulos EP14 CBR 2

	Capa	Mr (1 iteración)	Mr (1 iteración)	Invariante de esfuerzos (θ)	T _{oct}	Mr (modelo 1)	Mr (modelo 2)	Mr (modelo 3)	Mr (promedio modelos)	Mr (promedio modelos)	Criterio de aceptación
		(psi)	(MPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(MPa)	(%)
Iteración 1	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base Granular	28000,00	193,05	144,45	60,16	115707,92	184708,91	134867,20	145094,68	145,09	-24,84
	Subbase Granular	14000,00	96,53								
	Subrasante	6000,00	41,37							41,37	0,00
Iteración 2	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base Granular	21044,20	145,09	73,22	68,74	83166,83	149833,70	97204,79	110068,44	110,07	-24,14
	Subbase Granular	0,00	0,00								
	Subrasante	6000,00	41,37							41,37	0,00



	Capa	Mr (1 iteración)	Mr (1 iteración)	Invariante de esfuerzos (θ)	T_{oct}	Mr (modelo 1)	Mr (modelo 2)	Mr (modelo 3)	Mr (promedio modelos)	Mr (promedio modelos)	Criterio de aceptación
		(psi)	(MPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(MPa)	(%)
Iteración 3	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base Granular	15964,08	110,07	96,18	60,31	95107,78	162964,13	110861,42	122977,77	122,98	11,73
	Subbase Granular	0,00	0,00								
	Subrasante	6000,00	41,37							41,37	0,00
Iteración 4	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base Granular	17836,42	122,98	83,98	64,79	88957,10	156294,08	103843,10	116364,76	116,36	-5,38
	Subbase Granular	0,00	0,00								
	Subrasante	6000,00	41,37							41,37	0,00
Iteración 5	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base Granular	16877,28	116,36	87,84	63,37	90947,29	158473,02	106117,57	118512,63	118,51	1,85
	Subbase Granular	0,00	0,00								
	Subrasante	6000,00	41,37							41,37	0,00



TablaA3. 226 Resumen módulos EP14 CBR 2

Mr Final MPa (psi)	
Mezcla Asfáltica	1923,64 (279000)
Base Granular	118,51 (17189)
Subbase Granular	0
Subrasante	41,37 (6000)

TablaA3. 227 Deformación Permanente EP14 CBR 2

Deformación Permanente					
	Espesor cm (in)	ϵ_v (in/in)	Módulo resiliente MPa (psi)	δ (cm)	N max
CA	7 (2,756)	0,000155	1923,64 (279000)	0,203	241339
Base Granular	20 (7,87)	0,001086	118,51 (17189)	0,427	
Subbase Granular	0	0,000000	0	0,000	
Subrasante_interfaz	-	0,001348	41,37 (6000)	0,570	
Subrasante_6" de interfaz	-	0,000955	-	-	
			Total	1,200	



TablaA3. 228 Fatiga EP14 CBR 2

Fatiga CA						
	Espesor cm (in)	Módulo resiliente MPa (psi)	ϵt (in/in)	FC 50 %	FC 75 %	N
CA	7 (2,756)	1923,64 (279000)	0,000638	136115,42	292047,44	546363,04
d	0,33260101	0,60888306				
c1	1	1				
c1'	-2	-2				
c2'	1	1				
c2''	-4,18	-4,18				
FC (%)	50,00	75,00				
n	136115,42	292047,44				
N	546363,04	546363,04				

TablaA3. 229 Cálculo de módulos EP14 CBR 3

	Capa	Mr (1 iteración)	Mr (1 iteración)	Invariante de esfuerzos (θ)	T_{oct}	Mr (modelo 1)	Mr (modelo 2)	Mr (modelo 3)	Mr (promedio modelos)	Mr (promedio modelos)	Criterio de aceptación
		(psi)	(MPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(MPa)	(%)
Iteración 1	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base Granular	28000,00	193,05	94,94	72,98	94136,32	162313,56	110169,61	122206,50	122,21	-36,70
	Subbase Granular	14000,00	96,53								
	Subrasante	9000,00	62,05							62,05	0,00



	Capa	Mr (1 iteración)	Mr (1 iteración)	Invariante de esfuerzos (θ)	T_{oct}	Mr (modelo 1)	Mr (modelo 2)	Mr (modelo 3)	Mr (promedio modelos)	Mr (promedio modelos)	Criterio de aceptación
		(psi)	(MPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(MPa)	(%)
Iteración 2	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base Granular	17724,55	122,21	122,86	62,40	106947,61	175728,71	124747,88	135808,07	135,81	11,13
	Subbase Granular	0,00	0,00								
	Subrasante	9000,00	62,05							62,05	0,00
Iteración 3	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base Granular	19697,29	135,81	118,11	64,24	104868,90	173604,28	122395,85	133623,01	133,62	-1,61
	Subbase Granular	0,00	0,00								
	Subrasante	9000,00	62,05							62,05	0,00
Iteración 4	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base Granular	19380,38	133,62	118,11	64,24	104868,90	173604,28	122395,85	133623,01	133,62	0,00
	Subbase Granular	0,00	0,00								
	Subrasante	9000,00	62,05							62,05	0,00



	Capa	Mr (1 iteración)	Mr (1 iteración)	Invariante de esfuerzos (θ)	T_{oct}	Mr (modelo 1)	Mr (modelo 2)	Mr (modelo 3)	Mr (promedio modelos)	Mr (promedio modelos)	Criterio de aceptación
		(psi)	(MPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(MPa)	(%)
Iteración 5	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base Granular	19380,38	133,62	118,11	64,24	104868,90	173604,28	122395,85	133623,01	133,62	0,00
	Subbase Granular	0,00	0,00								
	Subrasante	9000,00	62,05							62,05	0,00

TablaA3. 230 Resumen de módulos EP14 CBR 3

Mr Final MPa (psi)	
Mezcla Asfáltica	1923,64 (279000)
Base Granular	133,62 (19380)
Subbase Granular	0
Subrasante	62,05 (9000)



TablaA3. 231 Deformación permanente EP14 CBR 3

Deformación Permanente					
	Espesor cm (in)	ϵ_v (in/in)	Módulo resiliente MPa (psi)	δ (cm)	N max
CA	7 (2,756)	0,000166	1923,64 (279000)	0,242	303198
Base Granular	20 (7,87)	0,000979	133,62 (19380)	0,409	
Subbase Granular	0	0,000000	0	0,000	
Subrasante_interfaz	-	0,001017	62,05 (9000)	0,549	
Subrasante_6" de interfaz	-	0,000713	-	-	
			Total	1,200	



TablaA3. 232 Fatiga EP14 CBR 3

Fatiga CA						
	Espesor cm (in)	Módulo resiliente MPa (psi)	ϵt (in/in)	FC 50 %	FC 75 %	N
CA	7 (2,756)	1923,64 (279000)	0,000578	201047,99	431365,89	807000,34
d	0,33260101	0,60888306				
c1	1	1				
c1'	-2	-2				
c2'	1	1				
c2''	-4,18	-4,18				
FC (%)	50,00	75,00				
n	201047,99	431365,89				
N	807000,34	807000,34				

TablaA3. 233 Cálculo de módulos EP14 CBR 4

	Capa	Mr (1 iteración)	Mr (1 iteración)	Invariante de esfuerzos (θ)	T_{oct}	Mr (modelo 1)	Mr (modelo 2)	Mr (modelo 3)	Mr (promedio modelos)	Mr (promedio modelos)	Criterio de aceptación
		(psi)	(MPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(MPa)	(%)
Iteración 1	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base Granular	28000,00	193,05	127,62	71,02	108627,59	177796,96	127053,18	137825,91	137,83	-28,61
	Subbase Granular	14000,00	96,53								
	Subrasante	12500,00	86,18							86,18	0,00



	Capa	Mr (1 iteración)	Mr (1 iteración)	Invariante de esfuerzos (θ)	T_{oct}	Mr (modelo 1)	Mr (modelo 2)	Mr (modelo 3)	Mr (promedio modelos)	Mr (promedio modelos)	Criterio de aceptación
		(psi)	(MPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(MPa)	(%)
Iteración 2	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base Granular	19989,96	137,83	146,44	63,45	116352,05	185492,67	135763,84	145869,52	145,87	5,84
	Subbase Granular	0,00	0,00								
	Subrasante	12500,00	86,18							86,18	0,00
Iteración 3	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base Granular	21156,59	145,87	143,89	64,51	115331,47	184491,38	134618,72	144813,86	144,81	-0,72
	Subbase Granular	0,00	0,00								
	Subrasante	12500,00	86,18							86,18	0,00
Iteración 4	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base Granular	21003,47	144,81	143,89	64,51	115331,47	184491,38	134618,72	144813,86	144,81	0,00
	Subbase Granular	0,00	0,00								
	Subrasante	12500,00	86,18							86,18	0,00



	Capa	Mr (1 iteración)	Mr (1 iteración)	Invariante de esfuerzos (θ)	T_{oct}	Mr (modelo 1)	Mr (modelo 2)	Mr (modelo 3)	Mr (promedio modelos)	Mr (promedio modelos)	Criterio de aceptación
		(psi)	(MPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(MPa)	(%)
Iteración 5	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base Granular	21003,47	144,81	143,89	64,51	115331,47	184491,38	134618,72	144813,86	144,81	0,00
	Subbase Granular	0,00	0,00								
	Subrasante	12500,00	86,18							86,18	0,00

TablaA3. 234 Resumen módulos EP14 CBR 4

Mr Final MPa (psi)	
Mezcla Asfáltica	1923,64 (279000)
Base Estabilizada	144,81 (21003)
Subbase Granular	0
Subrasante	86,18 (12500)



TablaA3. 235 Deformación permanente EP14 CBR 4

Deformación Permanente					
	Espesor cm (in)	ϵ_v (in/in)	Módulo resiliente MPa (psi)	δ (cm)	N max
CA	7 (2,756)	0,000174	1923,64 (279000)	0,285	387332
Base Granular	20 (7,87)	0,000929	144,81 (21003)	0,406	
Subbase Estabilizada	0	0,000000	0	0,000	
Subrasante_interfaz	-	0,000807	86,18 (12500)	0,509	
Subrasante_6" de interfaz	-	0,000561	-	-	
			Total	1,200	

TablaA3. 236 Fatiga EP14 CBR 4

Fatiga CA						
	Espesor cm (in)	Módulo resiliente MPa (psi)	ϵ_t (in/in)	FC 50 %	FC 75 %	N
CA	7 (2,756)	1923,64 (279000)	0,000545	253587,65	544094,27	1017892,86
d	0,33260101	0,60888306				
c1	1	1				
c1'	-2	-2				
c2'	1	1				

Informe LM-PI-UMP-103-R1	Fecha de emisión: Octubre, 2019	Página 270 de 299
--------------------------	---------------------------------	-------------------



Fatiga CA						
	Espesor cm (in)	Módulo resiliente MPa (psi)	ϵ_t (in/in)	FC 50 %	FC 75 %	N
c2''	-4,18	-4,18				
FC (%)	50,00	75,00				
n	253587,65	544094,27				
N	1017892,86	1017892,86				

TablaA3. 237 Cálculo de módulos EP14 CBR 5

	Capa	Mr	Mr	Invariante de esfuerzos (θ)	T_{oct}	Mr (modelo 1)	Mr (modelo 2)	Mr (modelo 3)	Mr (promedio modelos)	Mr (promedio modelos)	Criterio de aceptación
		(psi)	(MPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(MPa)
Iteración 1	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base Granular	28000,00	193,05	139,76	70,46	113508,67	182841,22	132739,19	143029,69	143,03	-25,91
	Subbase Granular	14000,00	96,53								
	Subrasante	14200,00	97,91							97,91	0,00
Iteración 2	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base Granular	20744,70	143,03	155,61	63,86	119793,08	188995,24	139797,00	149528,44	149,53	4,54
	Subbase Granular	0,00	0,00								
	Subrasante	14200,00	97,91							97,91	0,00



	Capa	Mr	Mr	Invariante de esfuerzos (θ)	Toct	Mr (modelo 1)	Mr (modelo 2)	Mr (modelo 3)	Mr (promedio modelos)	Mr (promedio modelos)	Criterio de aceptación
		(psi)	(MPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(MPa)	(%)
Iteración 3	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base Granular	21687,27	149,53	153,82	64,63	119096,36	188321,99	139018,45	148812,26	148,81	-0,48
	Subbase Granular	0,00	0,00								
	Subrasante	14200,00	97,91							97,91	0,00
Iteración 4	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base Granular	21583,39	148,81	153,82	64,63	119096,36	188321,99	139018,45	148812,26	148,81	0,00
	Subbase Granular	0,00	0,00								
	Subrasante	14200,00	97,91							97,91	0,00
Iteración 5	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base Granular	21583,39	148,81	153,82	64,63	119096,36	188321,99	139018,45	148812,26	148,81	0,00
	Subbase Granular	0,00	0,00								
	Subrasante	14200,00	97,91							97,91	0,00



TablaA3. 238 Resumen módulos EP14 CBR 5

Mr Final MPa (psi)	
Mezcla Asfáltica	1923,64 (279000)
Base Estabilizada	148,81 (21583)
Subbase Granular	0
Subrasante	97,91 (14200)

TablaA3. 239 Deformación permanente EP14 CBR 5

Deformación Permanente					
	Espesor cm (in)	ϵ_v (in/in)	Módulo resiliente MPa (psi)	δ (cm)	N max
CA	7 (2,756)	0,000178	1923,64 (279000)	0,306	427099
Base Granular	20 (7,87)	0,000914	148,81 (21583)	0,405	
Subbase Granular	0	0,000000	0	0,000	
Subrasante_interfaz	-	0,000737	97,91 (14200)	0,489	
Subrasante_6" de interfaz	-	0,000511	-	-	
			Total	1,200	



TablaA3. 240 Fatiga EP14 CBR 5

Fatiga CA						
	Espesor cm (in)	Módulo resiliente MPa (psi)	ϵ_t (in/in)	FC 50 %	FC 75 %	N
CA	7 (2,756)	1923,64 (279000)	0,000535	272828,92	585378,09	1095126,73
d	0,33260101	0,60888306				
c1	1	1				
c1'	-2	-2				
c2'	1	1				
c2''	-4,18	-4,18				
FC (%)	50,00	75,00				
n	272828,92	585378,09				
N	1095126,73	1095126,73				



9.15 Estructura de Pavimento 15 (EP15)

TablaA3. 241 Cálculo de módulos EP15 CBR 1

	Capa	Mr (1 iteración)	Mr (1 iteración)	Invariante de esfuerzos (θ)	T_{oct}	Mr (modelo 1)	Mr (modelo 2)	Mr (modelo 3)	Mr (promedio modelos)	Mr (promedio modelos)	Criterio de aceptación
		(psi)	(MPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(MPa)	(%)
Iteración 1	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base Granular	22000,00	151,68	195,95	116,11	131946,00	202898,75	156222,09	163688,95	163,69	7,91
	Subbase Granular	12000,00	82,74	11,58	47,53	75019,57	110990,31	76880,58	87630,15	87,63	5,91
	Subrasante	4500,00	31,03							31,03	0,00
Iteración 2	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base Granular	23741,07	163,69	195,95	116,11	131946,00	202898,75	156222,09	163688,95	163,69	0,00
	Subbase Granular	12709,68	87,63	11,58	47,53	75019,57	110990,31	76880,58	87630,15	87,63	0,00
	Subrasante	4500,00	31,03							31,03	0,00
Iteración 3	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base Granular	23741,07	163,69	195,95	116,11	131946,00	202898,75	156222,09	163688,95	163,69	0,00
	Subbase Granular	12709,68	87,63	11,58	47,53	75019,57	110990,31	76880,58	87630,15	87,63	0,00
	Subrasante	4500,00	31,03							31,03	0,00



	Capa	Mr (1 iteración)	Mr (1 iteración)	Invariante de esfuerzos (θ)	T_{oct}	Mr (modelo 1)	Mr (modelo 2)	Mr (modelo 3)	Mr (promedio modelos)	Mr (promedio modelos)	Criterio de aceptación
		(psi)	(MPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(MPa)	(%)
Iteración 4	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base Granular	23741,07	163,69	195,95	116,11	131946,00	202898,75	156222,09	163688,95	163,69	0,00
	Subbase Granular	12709,68	87,63	11,58	47,53	75019,57	110990,31	76880,58	87630,15	87,63	0,00
	Subrasante	4500,00	31,03							31,03	0,00
Iteración 5	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base Granular	23741,07	163,69	195,95	116,11	131946,00	202898,75	156222,09	163688,95	163,69	0,00
	Subbase Granular	12709,68	87,63	11,58	47,53	75019,57	110990,31	76880,58	87630,15	87,63	0,00
	Subrasante	4500,00	31,03							31,03	0,00

TablaA3. 242 Resumen de módulos EP15 CBR 1

Mr Final MPa (psi)	
Mezcla Asfáltica	1923,64 (279000)
Base Granular	163,67 (23741)
Subbase Granular	87.63 (12710)
Subrasante	31,03 (4500)



TablaA3. 243 Deformación permanente EP15 CBR 1

Deformación Permanente					
	Espesor cm (in)	ϵ_v (in/in)	Módulo resiliente MPa (psi)	δ (cm)	N max
CA	7 (2,756)	0,000148	1923,64 (279000)	0,220	314822
Base Granular	15 (5,906)	0,000977	163,67 (23741)	0,322	
Subbase Granular	20 (7,87)	0,000761	87,63 (12710)	0,278	
Subrasante_interfaz	-	0,001020	31,03 (4500)	0,379	
Subrasante_6" de interfaz	-	0,000727	-	-	
			Total	1,200	

TablaA3. 244 Fatiga EP15 CBR 1

Fatiga CA						
	Espesor cm (in)	Módulo resiliente MPa (psi)	ϵ_t (in/in)	FC 50 %	FC 75 %	N
CA	7 (2,756)	1923,64 (279000)	0,000529	285255,50	612040,39	1145006,62
d	0,33260101	0,608883055				
c1	1	1				
c1'	-2	-2				
c2'	1	1				
c2''	-4,18	-4,18				



Fatiga CA						
	Espesor cm (in)	Módulo resiliente MPa (psi)	ϵ_t (in/in)	FC 50 %	FC 75 %	N
FC (%)	50,00	75,00				
n	285255,50	612040				
N	1145006,62	1145007				

TablaA3. 245 Cálculo de módulos EP15 CBR 2

	Capa	Mr (1 iteración)	Mr (1 iteración)	Invariante de esfuerzos (θ)	T_{oct}	Mr (modelo 1)	Mr (modelo 2)	Mr (modelo 3)	Mr (promedio modelos)	Mr (promedio modelos)	Criterio de aceptación
		(psi)	(MPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(MPa)
Iteración 1	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base Granular	28000,00	193,05	200,02	124,66	132992,14	204186,89	157776,99	164985,34	164,99	-14,54
	Subbase Granular	14000,00	96,53	23,03	47,57	93213,26	128484,93	95002,56	105566,92	105,57	9,37
	Subrasante	6000,00	41,37							41,37	0,00
Iteración 2	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base Granular	23929,10	164,99	240,70	117,41	145651,98	216168,15	172503,33	178107,82	178,11	7,95
	Subbase Granular	15311,19	105,57	20,68	50,75	90043,52	125580,15	91912,54	102512,07	102,51	-2,89
	Subrasante	6000,00	41,37							41,37	0,00



	Capa	Mr (1 iteración)	Mr (1 iteración)	Invariante de esfuerzos (θ)	T_{oct}	Mr (modelo 1)	Mr (modelo 2)	Mr (modelo 3)	Mr (promedio modelos)	Mr (promedio modelos)	Criterio de aceptación
		(psi)	(MPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(MPa)	(%)
Iteración 3	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base Granular	25832,36	178,11	224,01	120,76	140583,56	211437,53	166632,23	172884,44	172,88	-2,93
	Subbase Granular	14868,12	102,51	20,89	49,48	90351,07	125846,59	92194,65	102797,44	102,80	0,28
	Subrasante	6000,00	41,37							41,37	0,00
Iteración 4	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base Granular	25074,77	172,88	224,01	120,76	140583,56	211437,53	166632,23	172884,44	172,88	0,00
	Subbase Granular	14909,51	102,80	20,89	49,48	90351,07	125846,59	92194,65	102797,44	102,80	0,00
	Subrasante	6000,00	41,37							41,37	0,00
Iteración 5	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base Granular	25074,77	172,88	224,01	120,76	140583,56	211437,53	166632,23	172884,44	172,88	0,00
	Subbase Granular	14909,51	102,80	20,89	49,48	90351,07	125846,59	92194,65	102797,44	102,80	0,00
	Subrasante	6000,00	41,37							41,37	0,00



TablaA3. 246 Resumen módulos EP15 CBR 2

Mr Final MPa (psi)	
Mezcla Asfáltica	1923,64 (279000)
Base Granular	172,88 (25075)
Subbase Granular	102,80 (14910)
Subrasante	41,37 (6000)

TablaA3. 247 Deformación Permanente EP15 CBR 2

Deformación Permanente					
	Espesor cm (in)	ϵ_v (in/in)	Módulo resiliente MPa (psi)	δ (cm)	N max
CA	7 (2,756)	0,000156	1923,64 (279000)	0,245	352400
Base Granular	15 (5,906)	0,000933	172,88 (25075)	0,315	
Subbase Granular	20 (7,87)	0,000666	102,80 (14910)	0,262	
Subrasante_interfaz	-	0,000846	41,37 (6000)	0,379	
Subrasante_6" de interfaz	-	0,000598	-	-	
			Total	1,200	



TablaA3. 248 Fatiga EP15 CBR 2

Fatiga CA						
	Espesor cm (in)	Módulo resiliente MPa (psi)	εt (in/in)	FC 50 %	FC 75 %	N
CA	7 (2,756)	1923,64 (279000)	0,000504	345355,59	740990,34	1386246,50
d	0,33260101	0,60888306				
c1	1	1				
c1'	-2	-2				
c2'	1	1				
c2''	-4,18	-4,18				
FC (%)	50,00	75,00				
n	345355,59	740990,34				
N	1386246,50	1386246,50				

TablaA3. 249 Cálculo de módulos EP15 CBR 3

	Capa	Mr (1 iteración)	Mr (1 iteración)	Invariante de esfuerzos (θ)	T _{oct}	Mr (modelo 1)	Mr (modelo 2)	Mr (modelo 3)	Mr (promedio modelos)	Mr (promedio modelos)	Criterio de aceptación
		(psi)	(MPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(MPa)	(%)
Iteración 1	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base Granular	25075,00	172,89	245,87	119,41	147082,25	217588,03	174279,80	179650,03	179,65	3,91
	Subbase Granular	14910,00	102,80	57,57	48,74	124485,51	156175,68	125979,78	135546,99	135,55	31,85
	Subrasante	9000,00	62,05							62,05	0,00



	Capa	Mr (1 iteración) (psi)	Mr (1 iteración) (MPa)	Invariante de esfuerzos (θ) (kPa)	T_{oct} (kPa)	Mr (modelo 1) (kPa)	Mr (modelo 2) (kPa)	Mr (modelo 3) (kPa)	Mr (promedio modelos) (kPa)	Mr (promedio modelos) (MPa)	Criterio de aceptación (%)
Iteración 2	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base Granular	26056,03	179,65	289,79	119,25	159213,95	228886,12	188647,60	192249,22	192,25	7,01
	Subbase Granular	19659,43	135,55	41,64	53,66	112261,08	145765,60	114019,93	124015,54	124,02	-8,51
	Subrasante	9000,00	62,05							62,05	0,00
Iteración 3	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base Granular	27883,39	192,25	264,76	122,37	152319,58	222606,16	180610,63	185178,79	185,18	-3,68
	Subbase Granular	17986,93	124,02	44,82	51,40	114948,70	148062,38	116626,90	126545,99	126,55	2,04
	Subrasante	9000,00	62,05							62,05	0,00
Iteración 4	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base Granular	26857,91	185,18	264,76	122,37	152319,58	222606,16	180610,63	185178,79	185,18	0,00
	Subbase Granular	18353,94	126,55	44,82	51,40	114948,70	148062,38	116626,90	126545,99	126,55	0,00
	Subrasante	9000,00	62,05							62,05	0,00



	Capa	Mr (1 iteración)	Mr (1 iteración)	Invariante de esfuerzos (θ)	T_{oct}	Mr (modelo 1)	Mr (modelo 2)	Mr (modelo 3)	Mr (promedio modelos)	Mr (promedio modelos)	Criterio de aceptación
		(psi)	(MPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(MPa)	(%)
Iteración 5	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base Granular	26857,91	185,18	264,76	122,37	152319,58	222606,16	180610,63	185178,79	185,18	0,00
	Subbase Granular	18353,94	126,55	44,82	51,40	114948,70	148062,38	116626,90	126545,99	126,55	0,00
	Subrasante	9000,00	62,05							62,05	0,00

TablaA3. 250 Resumen de módulos EP15 CBR 3

Mr Final MPa (psi)	
Mezcla Asfáltica	1923,64 (279000)
Base Granular	185,18 (26858)
Subbase Granular	126,55 (18354)
Subrasante	62,05 (9000)



TablaA3. 251 Deformación permanente EP15 CBR 3

Deformación Permanente					
	Espesor cm (in)	ϵ_v (in/in)	Módulo resiliente MPa (psi)	δ (cm)	N max
CA	7 (2,756)	0,000166	1923,64 (279000)	0,283	418784
Base Granular	15 (5,906)	0,000887	185,18 (26858)	0,308	
Subbase Granular	20 (7,87)	0,000561	126,55 (18354)	0,239	
Subrasante_interfaz	-	0,000641	62,05 (9000)	0,371	
Subrasante_6" de interfaz	-	0,000453	-	-	
			Total	1,200	

TablaA3. 252 Fatiga EP15 CBR 3

Fatiga CA						
	Espesor cm (in)	Módulo resiliente MPa (psi)	ϵt (in/in)	FC 50 %	FC 75 %	N
CA	7 (2,756)	1923,64 (279000)	0,000475	436422,13	936381,49	1751784,72
d	0,33260101	0,608883055				
c1	1	1				
c1'	-2	-2				
c2'	1	1				
c2''	-4,18	-4,18				
FC (%)	50,00	75,00				
n	436422,13	936381,49				
N	1751784,72	1751784,72				

TablaA3. 253 Cálculo de módulos EP15 CBR 4

	Capa	Mr (1 iteración)	Mr (1 iteración)	Invariante de esfuerzos (θ)	T_{oct}	Mr (modelo 1)	Mr (modelo 2)	Mr (modelo 3)	Mr (promedio modelos)	Mr (promedio modelos)	Criterio de aceptación
		(psi)	(MPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(MPa)	(%)
Iteración 1	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base Granular	26857,91	185,18	285,86	121,10	158100,70	227925,53	187410,09	191145,44	191,15	3,22
	Subbase Granular	18353,94	126,55	77,29	52,82	136512,39	166287,72	137943,08	146914,40	146,91	16,10
	Subrasante	12500,00	86,18							86,18	0,00



	Capa	Mr (1 iteración) (psi)	Mr (1 iteración) (MPa)	Invariante de esfuerzos (θ) (kPa)	Toct (kPa)	Mr (modelo 1) (kPa)	Mr (modelo 2) (kPa)	Mr (modelo 3) (kPa)	Mr (promedio modelos) (kPa)	Mr (promedio modelos) (MPa)	Criterio de aceptación (%)
Iteración 2	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base Granular	27723,30	191,15	307,78	121,49	163818,88	233172,97	194206,03	197065,96	197,07	3,10
	Subbase Granular	21308,13	146,91	66,33	53,94	130041,02	160957,22	131594,98	140864,41	140,86	-4,12
	Subrasante	12500,00	86,18							86,18	0,00
Iteración 3	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base Granular	28582,00	197,07	296,54	122,83	160858,00	230516,78	190755,08	194043,29	194,04	-1,53
	Subbase Granular	20430,66	140,86	67,43	52,90	130748,44	161523,74	132265,25	141512,48	141,51	0,46
	Subrasante	12500,00	86,18							86,18	0,00
Iteración 4	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base Granular	28143,60	194,04	296,54	122,83	160858,00	230516,78	190755,08	194043,29	194,04	0,00
	Subbase Granular	20524,65	141,51	67,43	52,90	130748,44	161523,74	132265,25	141512,48	141,51	0,00
	Subrasante	12500,00	86,18							86,18	0,00



	Capa	Mr (1 iteración)	Mr (1 iteración)	Invariante de esfuerzos (θ)	Toct	Mr (modelo 1)	Mr (modelo 2)	Mr (modelo 3)	Mr (promedio modelos)	Mr (promedio modelos)	Criterio de aceptación
		(psi)	(MPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(MPa)	(%)
Iteración 5	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base Granular	28143,60	194,04	296,54	122,83	160858,00	230516,78	190755,08	194043,29	194,04	0,00
	Subbase Granular	20524,65	141,51	67,43	52,90	130748,44	161523,74	132265,25	141512,48	141,51	0,00
	Subrasante	12500,00	86,18							86,18	0,00

TablaA3. 254 Resumen módulos EP15 CBR 4

Mr Final MPa (psi)	
Mezcla Asfáltica	1923,64 (279000)
Base Estabilizada	194,04 (28144)
Subbase Granular	141,51 (20525)
Subrasante	86,18 (12500)



TablaA3. 255 Deformación permanente EP15 CBR 4

Deformación Permanente					
	Espesor cm (in)	ϵ_v (in/in)	Módulo resiliente MPa (psi)	δ (cm)	N max
CA	7 (2,756)	0,000174	1923,64 (279000)	0,323	499826
Base Granular	15 (5,906)	0,000860	194,04 (28144)	0,306	
Subbase Estabilizada	20 (7,87)	0,000509	141,51 (20525)	0,227	
Subrasante_interfaz	-	0,000515	86,18 (12500)	0,345	
Subrasante_6" de interfaz	-	0,000362	-	-	
			Total	1,200	



TablaA3. 256 Fatiga EP15 CBR 4

Fatiga CA						
	Espesor cm (in)	Módulo resiliente MPa (psi)	ϵ_t (in/in)	FC 50 %	FC 75 %	N
CA	7 (2,756)	1923,64 (279000)	0,000458	503982,22	1081337,53	2022968,83
d	0,33260101	0,60888306				
c1	1	1				
c1'	-2	-2				
c2'	1	1				
c2''	-4,18	-4,18				
FC (%)	50,00	75,00				
n	503982,22	1081337,53				
N	2022968,83	2022968,83				

TablaA3. 257 Cálculo de módulos EP15 CBR 5

	Capa	Mr	Mr	Invariante de esfuerzos (θ)	T_{oct}	Mr (modelo 1)	Mr (modelo 2)	Mr (modelo 3)	Mr (promedio modelos)	Mr (promedio modelos)	Criterio de aceptación
		(psi)	(MPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(MPa)	(%)
Iteración 1	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base Granular	28143,60	194,04	303,85	122,47	162770,31	232251,87	193006,80	196009,66	196,01	1,01
	Subbase Granular	20524,65	141,51	79,15	52,96	137538,81	167132,85	138957,98	147876,55	147,88	4,50
	Subrasante	14200,00	97,91							97,91	0,00



	Capa	Mr	Mr	Invariante de esfuerzos (θ)	Toct	Mr (modelo 1)	Mr (modelo 2)	Mr (modelo 3)	Mr (promedio modelos)	Mr (promedio modelos)	Criterio de aceptación
		(psi)	(MPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(MPa)	(%)
Iteración 2	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base Granular	28428,80	196,01	308,89	122,94	164046,35	233430,06	194541,23	197339,21	197,34	0,68
	Subbase Granular	21447,68	147,88	76,81	53,66	136218,86	166066,00	137677,20	146654,02	146,65	-0,83
	Subrasante	14200,00	97,91							97,91	0,00
Iteración 3	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base Granular	28621,63	197,34	308,89	122,94	164046,35	233430,06	194541,23	197339,21	197,34	0,00
	Subbase Granular	21270,37	146,65	76,81	53,66	136218,86	166066,00	137677,20	146654,02	146,65	0,00
	Subrasante	14200,00	97,91							97,91	0,00
Iteración 4	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base Granular	28621,63	197,34	308,89	122,94	164046,35	233430,06	194541,23	197339,21	197,34	0,00
	Subbase Granular	21270,37	146,65	76,81	53,66	136218,86	166066,00	137677,20	146654,02	146,65	0,00
	Subrasante	14200,00	97,91							97,91	0,00



	Capa	Mr	Mr	Invariante de esfuerzos (θ)	T_{oct}	Mr (modelo 1)	Mr (modelo 2)	Mr (modelo 3)	Mr (promedio modelos)	Mr (promedio modelos)	Criterio de aceptación
		(psi)	(MPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(MPa)	(%)
Iteración 5	Mezcla asfáltica	279000,00	1923,64							1923,64	0,00
	Base Granular	28621,63	197,34	308,89	122,94	164046,35	233430,06	194541,23	197339,21	197,34	0,00
	Subbase Granular	21270,37	146,65	76,81	53,66	136218,86	166066,00	137677,20	146654,02	146,65	0,00
	Subrasante	14200,00	97,91							97,91	0,00

TablaA3. 258 Resumen módulos EP15 CBR 5

Mr Final MPa (psi)	
Mezcla Asfáltica	1923,64 (279000)
Base Estabilizada	197,34 (28622)
Subbase Granular	146,65 (21270)
Subrasante	97,91 (14200)



TablaA3. 259 Deformación permanente EP15 CBR 5

Deformación Permanente					
	Espesor cm (in)	ϵ_v (in/in)	Módulo resiliente MPa (psi)	δ (cm)	N max
CA	7 (2,756)	0,000178	1923,64 (279000)	0,340	532178
Base Granular	15 (5,906)	0,000851	197,34 (28622)	0,305	
Subbase Granular	20 (7,87)	0,000494	146,65 (21270)	0,223	
Subrasante_interfaz	-	0,000471	97,91 (14200)	0,332	
Subrasante_6" de interfaz	-	0,000331	-	-	
			Total	1,200	

TablaA3. 260 Fatiga EP15 CBR 5

Fatiga CA						
	Espesor cm (in)	Módulo resiliente MPa (psi)	ϵ_t (in/in)	FC 50 %	FC 75 %	N
CA	7 (2,756)	1923,64 (279000)	0,000453	526310,63	1129245,07	2112594,37
d	0,33260101	0,60888306				
c1	1	1				
c1'	-2	-2				
c2'	1	1				
c2''	-4,18	-4,18				
Informe LM-PI-UMP-103-R1		Fecha de emisión: Octubre, 2019		Página 292 de 299		



Fatiga CA						
	Espesor cm (in)	Módulo resiliente MPa (psi)	ϵt (in/in)	FC 50 %	FC 75 %	N
FC (%)	50,00	75,00				
n	526310,63	1129245,07				
N	2112594,37	2112594,37				



10 ANEXO 4

Para facilitar el uso de la guía y tener una nomenclatura más representativa de los parámetros de tránsito y CBR utilizados se usará la siguiente convención:

TablaA4.1 Nomenclatura de parámetros de tránsito

Parámetro	Original	Representado	Significado
TPD	T1	T ₅₀₀	Tránsito promedio diario menor a 500 vpd
	T2	T ₈₀₀	Tránsito promedio diario menor a 800 vpd
	T3	T ₁₂₀₀	Tránsito promedio diario menor a 1200 vpd
	T4	T ₂₀₀₀	Tránsito promedio diario menor a 2000 vpd
	T5	T ₃₅₀₀	Tránsito promedio diario menor a 3500 vpd
Porcentaje de vehículos pesados	P1	P _{3%}	Porcentaje de vehículos pesados menor al 3%
	P2	P _{4%}	Porcentaje de vehículos pesados entre 3,01% y 4,0%
	P3	P _{5%}	Porcentaje de vehículos pesados entre 4,01% y 5,0%
	P4	P _{7%}	Porcentaje de vehículos pesados entre 5,01% y 7,0%
	P5	P _{8,5%}	Porcentaje de vehículos pesados entre 7,01% y 8,5%
	P6	P _{14%}	Porcentaje de vehículos pesados entre 8,51% y 14,0%
	P7	P _{15%}	Porcentaje de vehículos pesados entre 14,01% y 15,0%



Parámetro	Original	Representado	Significado
CBR	CBR 1	CBR _{3%}	Porcentaje de CBR entre 3% y 3,99%
	CBR 2	CBR _{4%}	Porcentaje de CBR entre 4% y 5,99%
	CBR 3	CBR _{6%}	Porcentaje de CBR entre 6% y 8,99%
	CBR 4	CBR _{9%}	Porcentaje de CBR entre 9% y 10,99%
	CBR 5	CBR _{11%}	Porcentaje de CBR mayor al 11%

11 ANEXO 5



PITRA - Herramienta para diseño simplificado

Archivo Herramientas Ayuda

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Herramienta para diseño simplificado

Información del Proyecto Solución(es)

Proyecto Fecha

Provincia Cantón

Distrito Ubicación

Ruta Est. Inicial (km)

Longitud (km) Est. Final (km)

Vida útil (años) Transito (TPD)

Pesados (%) CBR (%)

Responsable

Nota: La interpretación y aplicación de estos resultados requiere una revisión exhaustiva de la Guía de diseño de bajo volumen para pavimentos flexibles y semirrígidos.

© 2019 Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales

Figura A5.1. Vista principal herramienta de diseño.



Acerca de...



UNIVERSIDAD DE COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

¡Advertencia! Se le recuerda al usuario que los datos ingresados deben ser reales, obedecer a muestreos de campo y ensayos de laboratorio correspondientes, según los requerimientos del método de diseño.

Universidad de Costa Rica
Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LanammeUCR)
Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA)
Unidad de Materiales y Pavimentos (UMP)

Desarrollado por:
Ing. Piero Laurent Matamoros

Investigador:
Ing. Eliécer Arias Barrantes

Contacto:

Web: www.lanamme.ucr.ac.cr
Correo: direccion.lanamme@ucr.ac.cr
Soporte: software_pitra.lanamme@ucr.ac.cr
Teléfono: (506) 2511-2500
Fax: (506) 2511-4440
Dirección: 400m Norte de Muñoz y Nanne, San Pedro, CP-11501-2060, San José, Costa Rica

Derechos de Autor: Este software está protegido por la Ley de Derechos de Autor y puede ser obtenido únicamente por este medio de descarga en la página web oficial del LanammeUCR. El propietario (LanammeUCR) tiene el derecho exclusivo de reproducirlo y desarrollarlo. El propietario de los derechos impide otras formas de compilación o ensamblaje en forma alguna, la traducción del mismo a un lenguaje distinto, la copia de las estructuras, secuencias, organización, menús, interfaces de usuario o la transferencia comercial a terceros. El programa no debe ser usado total o parcialmente en el desarrollo de un nuevo programa, para ser distribuido bajo otro nombre, excepto cuando los permisos hayan sido concedidos por el propietario de los derechos de autor. Deberá reconocerse el uso de esta herramienta en cualquier publicación en la que se haga uso.

Descargo de Responsabilidad: El ejecutable de este programa es distribuido de manera gratuita. Los desarrolladores han facilitado al usuario información que explica su uso correspondiente. La existencia de esta información no exime al usuario final de hacer un análisis apropiado de los datos introducidos y obtenidos, de manera que la entera responsabilidad de la correcta interpretación y utilización de los resultados es del usuario. Por la diversidad de condiciones y hardware bajo el cual el programa puede ser usado, no se garantiza que funcione en todos los escenarios. Se advierte al usuario que es necesario que el conozca los conceptos, suposiciones y limitaciones que hay detrás de los procedimientos de cálculo, y conocer por completo el programa para que pueda darse cuenta de la capacidad del mismo antes de su uso. Los desarrolladores no se hacen responsables de daños directos, indirectos, causados o incidentales que surjan de la posibilidad o no del uso de este programa.

Salir

© 2019 Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales

Figura A5.2. Descargo de responsabilidad del software.

Informe LM-PI-UMP-103-R1	Fecha de emisión: Octubre, 2019	Página 297 de 299
--------------------------	---------------------------------	-------------------

PITRA - Herramienta para diseño simplificado

Archivo Herramientas Ayuda

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Herramienta para diseño simplificado

Información del Proyecto

Proyecto: Fecha:

Provincia: Cantón:

Distrito: Ubicación:

Ruta: Est. Inicial (km):

Longitud (km): Est. Final (km):

Vida útil (años): Transito (TPD):

Pesados (%): CBR (%):

Responsable:

Nuevo Abrir Guardar

Solución(es)

Condiciones de Uso

Marque las opciones con las que cumple el proyecto

El período de diseño es inferior o igual a 12 años

El proyecto se encuentra sobre una ruta con un tráfico (TPDA) inferior a los 3500 vehículos diarios

El porcentaje de vehículos pesados es inferior al 15%

La ruta por diseñar posee un máximo de dos carriles en total

El CBR de laboratorio de la subrasante es superior al 3%

Los materiales por utilizar deben cumplir con la especificación correspondiente según el CR-2010

El proyecto cuenta con drenajes adecuados que garanticen la eficiente evacuación de aguas pluviales

El proyecto cuenta con la cantidad requerida de obras complementarias para satisfacer la demanda hídrica en la zona

Siguiente

Nota: La interpretación y aplicación de estos resultados requiere una revisión exhaustiva de la Guía de diseño de bajo volumen para pavimentos flexibles y semirrígidos.

Ejecutar Exportar

© 2019 Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales

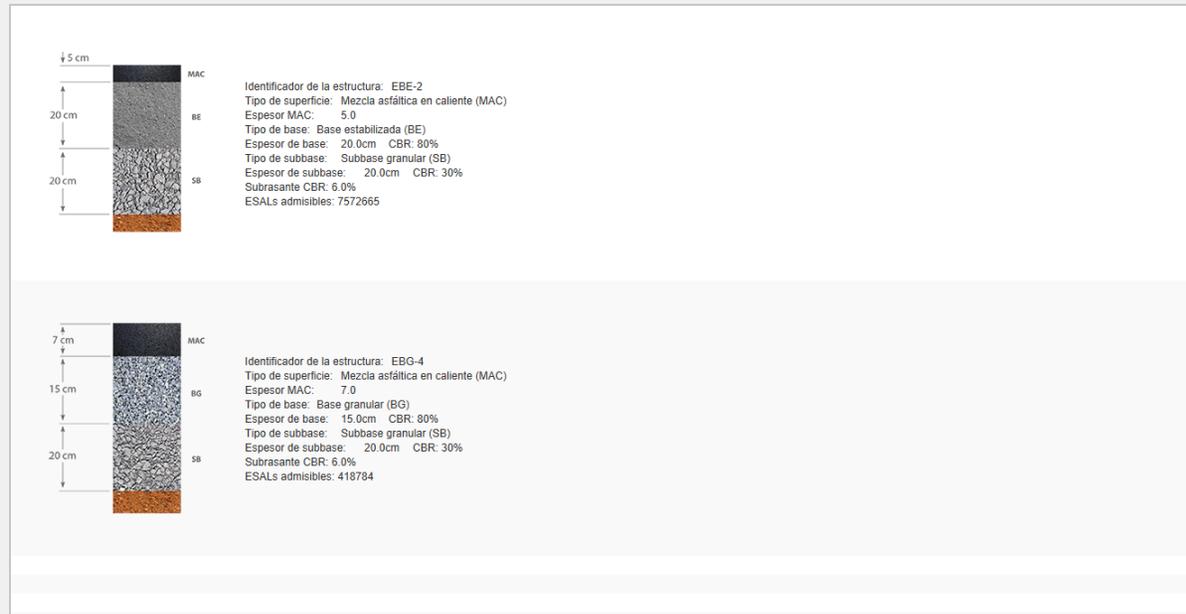
Figura A5.3. Requisitos previos de diseño.

Herramienta para diseño simplificado

Información del Proyecto

Proyecto: Fecha:
 Provincia: Cantón:
 Distrito: Ubicación:
 Ruta: Est. Inicial (km):
 Longitud (km): Est. Final (km):
 Vida útil (años): Transito (TPD):
 Pesados (%): CBR (%):
 Responsable:

Solución(es)



Nota: La interpretación y aplicación de estos resultados requiere una revisión exhaustiva de la Guía de diseño de bajo volumen para pavimentos flexibles y semirrígidos.

Figura A5.4. Ejemplo salida del software.