



UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

ANÁLISIS DE LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES EN LA CIMENTACIÓN DE
SU ESTRUCTURA

PACCHA ALEGRIA KELVIN JOEL
INGENIERO CIVIL

MACHALA
2022



UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

ANÁLISIS DE LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES EN LA
CIMENTACIÓN DE SU ESTRUCTURA

PACCHA ALEGRIA KELVIN JOEL
INGENIERO CIVIL

MACHALA
2022



UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

EXAMEN COMPLEXIVO

ANÁLISIS DE LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES EN LA CIMENTACIÓN DE SU
ESTRUCTURA

PACCHA ALEGRIA KELVIN JOEL
INGENIERO CIVIL

CABRERA GORDILLO JORGE PAUL

MACHALA, 18 DE FEBRERO DE 2022

MACHALA
18 de febrero de 2022

TESIS

por Joel Paccha

Fecha de entrega: 11-feb-2022 12:17p.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 1760156521

Nombre del archivo: PACCHA_JOEL.docx (37.76K)

Total de palabras: 4623

Total de caracteres: 22829

TESIS

INFORME DE ORIGINALIDAD

0%

INDICE DE SIMILITUD

0%

FUENTES DE INTERNET

0%

PUBLICACIONES

0%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 1001 words

Excluir bibliografía

Activo

CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

El que suscribe, PACCHA ALEGRIA KELVIN JOEL, en calidad de autor del siguiente trabajo escrito titulado ANÁLISIS DE LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES EN LA CIMENTACIÓN DE SU ESTRUCTURA, otorga a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tiene potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

El autor declara que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

El autor como garante de la autoría de la obra y en relación a la misma, declara que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asume la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.

Machala, 18 de febrero de 2022



PACCHA ALEGRIA KELVIN JOEL
0705223790

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradecer a papito Dios, por permitirme llegar a estas instancias de mi vida con salud y vida, esperando que me permitiera vivir un día a la vez y tener una vida placentera junto con la familia que me encomendó él. En segundo lugar, a los diferentes profesores que pasaron por el trayecto de mi vida hasta el día de hoy, que me inculcaron a que las cosas no son fáciles y que si queremos algo debemos de sacrificar algunas cosas para lograrlo. Y en tercer lugar y no menos importante la familia Paccha Alegría, esta familia es una de las mejores del mundo y si pudiera volver a nacer, volvería a nacer en esta familia llena de amor, misericordia, afecto y sobre todo unión.

Gracias también a los compañeros y amigos que me ayudaron en momentos en donde todo parecía padecer pero que al final pudimos salir adelante.

El pedacito de cielo que Dios me pudo ofrecer para que sintiera con mi alma y cuerpo es una persona que le debo la vida literalmente, su nombre es Yadira Alegría Albán en otras palabras mi madre.

Por último agradecer a todos los docentes de la Facultad de Ingeniería Civil quienes fueron tan generosos de compartir su sabiduría a todos los estudiantes, las secretarías gracias por ser pacientes con algunos de nosotros en cualquier inconveniente de papeleo y a los empleados gracias por ser unas buenas personas.

DEDICATORIA

Dedico este proceso de formación profesional de ingeniería civil a mi hermosa y linda madre por enseñarme a que a pesar de las circunstancias de la vida siempre supo ponerse firme y no tambalear y sonreír sin importar el qué dirán. Una de las frases como consejo que ella pudo decirme fue que “La Ingeniería Civil no es de velocidad si no de resistencia” y mírame ahora a un paso de una de las metas por cumplir como Ingeniero Civil.

También dedico este trabajo a mis hermanos por ayudarme a ser una mejor persona y por enseñarme cómo ser un mejor hermano. Por último y no menos importante a mi padre por enseñarme que una madre siempre debe ser tu primera razón de vivir.

RESUMEN

A través de los años las ciudades han ido creciendo qué se necesitan vías de mejor calidad para poder transportarse las personas en un tiempo adecuado y asegurar que las mercaderías no sean maltratadas. Por eso se han desarrollado técnicas y métodos para la construcción de vías, entre las que más se utiliza son los pavimentos flexibles, por eso en este trabajo del reactivo práctico analizaremos el diseño estructural de pavimento flexible en la ciudad de Machala por el método AASHTO-93. Para el diseño de un pavimento flexible se necesita saber: características de los materiales, datos del tránsito y propiedades de la subrasante, datos para la estructura de cada capa, cálculo del número estructural, cálculo de las capas estructurales y la estructura del pavimento propuesto. Según el MTOP las actividades principales para el proceso son: Estudio del tránsito, Determinación de la capacidad del suelo, Selección de materiales de construcción, Selección de la estructura, Construcción. Se utilizará como medio de apoyo una hoja de Excel para verificar los cálculos que se nos fueron entregados, como también una interfaz software llamado Ecuación AASHTO-93. Con la ayuda de revistas, artículos científicos, bibliografía y una lectura comprensiva de estos documentos nos permitirá entender cuáles son las etapas que se debe analizar para diseñar un pavimento flexible adecuado y que los espesores satisfagan a las cargas del tránsito previstas.

Palabras claves: Pavimento Flexible, AASHTO-93, MTOP, Tránsito, Estudio, Estructura

ABSTRACT

Over the years, cities have been expanding what is needed for better quality roads so that drivers as well as people can move from one place to another in an adequate time and that goods are not mistreated. That is why techniques and methods have been developed for the construction of roads, among which the most used are flexible pavements, that is why in this present practical work of the complex examination we will analyze the structural design of flexible pavement in the city of Machala by the method AASHTO-93. For the design of a flexible pavement it is necessary to know: characteristics of the materials, traffic data and properties of the subgrade, data for the structure of each layer, calculation of the structural number, calculation of the structural layers and the structure of the pavement proposed. According to the MTOP, the main activities for the process are: Traffic study, Determination of soil capacity, Selection of construction materials, Selection of the structure, Construction. An Excel sheet will be used as support to verify the calculations that were delivered to us, as well as a software interface called Equation AASHTO-93. With the help of magazines, scientific articles, bibliography and a comprehensive reading of these documents, it will allow us to understand what are the stages that must be analyzed to design an adequate flexible pavement and that the thicknesses satisfy the expected traffic loads

Keywords: Flexible Pavement, AASHTO-93, MTOP, Transit, Study, Structur

INDICE

AGRADECIMIENTO	VII
DEDICATORIA	VIII
RESUMEN	IX
ABSTRACT.....	X
INDICE.....	11
1. INTRODUCCIÓN	15
1.1. Planteamiento del Problema.....	15
1.2. Justificación	16
1.3. Objetivo general.....	16
1.4. Objetivos específicos	16
2. DESARROLLO	17
2.1. Marco Teórico.....	17
2.1.1. Pavimento	17
2.1.2. Pavimento Flexible	17
2.1.3. Geotecnia	17
2.1.4. Estudio del tráfico.....	17
2.1.5. CBR (RELACIÓN SOPORTE DE CALIFORNIA).....	17
2.1.6. Método AASHTO-93	17
2.2. Ensayos de Laboratorio.....	18
2.3. Diseño del Método AASHTO-93	18
2.2.1. Variables de Entrada.....	18
2.2.1.1. Variable de tiempo.....	18
2.2.1.2. Tránsito	19

2.2.1.3. Confiabilidad (R)	19
2.2.1.4. Desviación Estándar del Sistema (So)	19
2.2.1.5. Serviciabilidad	19
2.2.1.6. Módulo Resiliente de la Sub-rasante	19
2.2.2. Número Estructural (SN)	19
2.2.3. Drenaje.....	20
2.2.4. Módulo Resiliente y Coeficientes Estructural	20
2.2.5. Determinación de los espesores del paquete estructural.....	20
2.4. Método Marshall	21
2.5. Diseño del pavimento flexible de las vías del barrio Luz de América, 12 de Mayo y Rumiñahui.....	21
2.6. Análisis del Pavimento Flexible	22
3. CONCLUSIÓN	24
4. RECOMENDACIONES	25
5. BIBLIOGRAFÍA	26
ANEXOS 1	28
ANEXOS 2	36

ÍNDICE DE TABLA

Tabla 1: Periodo de Análisis	29
Tabla 2: Carga por eje y factores equivalentes para pavimentos flexibles; para pt de 2.0 (Eje Simple).....	29

Tabla 3: Carga por eje y factores equivalentes para pavimentos flexibles; para pt de 2.5 (Eje Simple).....	29
Tabla 4: Niveles de confiabilidad por tipo de vía	30
Tabla 5: Confiabilidad (R).....	30
Tabla 6: Desviación Estándar (So)	30
Tabla 7: Niveles de Serviciabilidad	30
Tabla 8: Percentiles para determinar el CBR de diseño	30
Tabla 9: CBR de Diseño	31
Tabla 10: Drenaje en Función del Tiempo	31
Tabla 11: Coeficiente de Drenaje	31
Tabla 12: Espesores Mínimos por capas.....	31
Tabla 13: Granulometría de porcentaje para el Método Marshall	32
Tabla 14: Criterios Marshall dependiendo del tipo de Tráfico	32
Tabla 15: Crecimiento Vehicular en la Provincia de El Oro	40
Tabla 16: Tipo de Carretera según el volumen del Tráfico	41
Tabla 17: Factor de Distribución	41
Tabla 18: Tasa de Crecimiento	42

ÍNDICE DE FIGURA

Figura 1: Nomograma del Numero Estructural	33
Figura 2: Interfaz Software Ecuación AASHTO-93.....	33
Figura 3: Coeficiente estructural de la carpeta asfáltica (a1).....	34
Figura 4: Coeficiente estructural (a2), ábaco para Mr. de la base	34
Figura 5: Coeficiente estructural (a3), ábaco para Mr. de la sub-base	35

Figura 6: Representación gráfica de SN y D	35
Figura 7: Proyección vehicular para 20 años	41
Figura 8: Percentil vs CBR	44
Figura 9: Factor de tiempo de drenaje al 50%	47
Figura 10: Características del material de Sub-base	47
Figura 11: Coeficiente de Pérdida de Agua	48
Figura 12: Factores de tiempo para drenajes de capas saturadas.....	49
Figura 13: Características del material Sub-base.....	52

1. INTRODUCCIÓN

Los proyectos de infraestructuras viales son de mucha importancia porque permiten mejorar el aspecto socioeconómico entre las zonas urbanas y rurales [1]. Un pavimento debe ser diseñado para resistir las cargas verticales actuantes que provoca el tránsito liviano, pesado o extra pesado de los vehículos y que no produzca deformaciones permanentes. Es necesario tener vías de excelente calidad en la ciudad de Machala para no atentar contra la vida del conductor y del peatón, por eso se debe realizar un buen estudio técnico para que el diseño estructural de un pavimento flexible dure (20 años como máximo) y no tener fallas de agrietamiento, distorsión y la desintegración a lo largo de su vida útil.

En los pavimentos flexibles las deformaciones se producen en cada una de las capas hasta llegar a la sub-rasante. En vías de poco tráfico se diseñan con una capa asfáltica de poco espesor generando que las capas de la base, sub-base y sub-rasante reciban todo el esfuerzo en todo su esplendor produciendo valores altos de deformaciones permanentes. [2]

La vida útil del pavimento puede verse comprometida por varios factores que son: condiciones ambientales (clima), características de los materiales (CBR), cantidad de vehículo que circulan (tránsito). Sin embargo, el factor que preocupa es el tránsito de los vehículos pesados y cuando este excede la carga máxima admisible que el pavimento puede soportar provocando daños significativos muy altos. [3]

Por lo tanto, en el presente trabajo se analizará los pavimentos flexibles por la metodología AASHTO-93 y las normativas vigentes del Ecuador que nos permitirá tener el conocimiento de los diferentes parámetros necesarios para el diseño.

1.1.Planteamiento del Problema

La construcción de vías en un buen estado permite que el desarrollo de la ciudad de Machala siga teniendo un impacto positivo en lo social, económica, salud, educativo, etc., por lo contrario, al no considerar primero un estudio técnico de suelo calificado solo traerá consecuencia negativa como tráfico insatisfecho, inseguridad, pérdida de tiempo, daños a los automotores, etc.

Los pavimentos flexibles actuales reflejan que algunas calles al poco tiempo que fueron construidas o reparadas por mantenimiento presentes fisuras, hundimiento que incomodan a los usuarios de los vehículos y esto a su vez repercute en el peatón, puede ser que las capas puestas no fueron compactadas adecuadamente o por el tráfico de los vehículos han incrementado o por que el clima no fue el pronosticado.

1.2. Justificación

La construcción de vías con pavimento flexible aparte de ser económico comparado con el pavimento rígido mejorará la calidad de vida de las familias machaleñas que buscan mejorar sus ingresos económicos al transportar sus mercaderías en un tiempo más moderado a lo que se hacía sin la vía pavimentada, también el impacto del polvo que se producía cuando un automotor pasaba disminuirá en el cuidado de la salud personal. Por eso la implementación de este servicio el ingeniero debe realizar un estudio de todos los parámetros para que la estructura brinde una mejor calidad de vida a la población.

Por eso se analizará algunas calles en la ciudad de Machala y dar un criterio técnico de si está correctamente diseñado. Para ello se ayudará con una hoja de Excel y también con un programa informático para corroborar los datos obtenidos y tener una mejor eficiencia en el momento de diseñar.[4]

1.3. Objetivo general

Analizar el diseño estructural del pavimento flexibles de la vía Luz de América, 12 de Mayo y Rumiñahui en la ciudad de Machala mediante la metodología AASHTO-93 y Normativas vigentes del Ecuador.

1.4. Objetivos específicos

- Conocer los parámetros que se necesita para el diseño de pavimentos flexibles.
- Aplicar la metodología AASHTO-93 para el diseño de pavimentos flexibles.
- Verificar los resultados del diseño estructural a analizar

2. DESARROLLO

2.1. Marco Teórico

2.1.1. Pavimento

Es la constitución de conjuntos de capas de distintos materiales técnicamente apropiados y compactados, colocados de forma ascendentes desde la sub-rasante con el objetivo de proporcionar una superficie de rodamiento uniforme que permitan resistir las cargas de acuerdo al tránsito.

2.1.2. Pavimento Flexible

Puede conformarse por dos o más capas, en la parte superior por una capa de hormigón asfáltico apoyada sobre dos capas no rígidas, la base y la sub-base. No obstante, puede prescindirse de cualquiera de estas capas dependiendo de las necesidades particulares de cada obra.[5]

2.1.3. Geotecnia

El estudio de la geotecnia es importante para el análisis del subsuelo mediante calicatas en el lugar del proyecto, y de los ensayos de laboratorio que permitan determinar la capacidad de soporte del suelo.[6]

2.1.4. Estudio del tráfico

Es un factor fundamental para el diseño geométrico de la carretera, donde se identifica el volumen, tipo y composición del tráfico que deberá soportar el proyecto en un periodo de tiempo. [7]

2.1.5. CBR (RELACIÓN SOPORTE DE CALIFORNIA)

Es un ensayo que permite determinar el índice de calidad de un material de suelo orientado a la utilización en relleno para estructuras y carreteras.[8]

2.1.6. Método AASHTO-93

Este método está basado en los ensayos empíricos de la AASHTO, donde se obtiene valores solicitado para los espesores de las distintas capas en el paquete estructural, para

un periodo determinado, bajo solicitaciones de tránsito y nivel de confiabilidad dado, el pavimento no baje de un nivel mínimo de servicio.[9]

2.2. Ensayos de Laboratorio

Los ensayos que se revisaron en el análisis de la calicata para la subrasante fueron:

- Granulometría (ASTM-D422; AASHTO-T88)
- Límites de Consistencia: Limite Líquido, Limite Plástico e Índice de Plasticidad (ASTM-D4318; AASHTO-T89)
- Clasificación SUCS y AASHTO
- Humedad Natural
- Proctor Modificado (ASTM-D698; AASHTO-T99)
- Capacidad de Soporte (CBR) (ASTM-D1883; AASHTO-T193)

2.3. Diseño del Método AASHTO-93

El método que utiliza la AASHTO-93 para la construcción de pavimentos flexibles, se guía en la ecuación (1) que nos permitirá determinar el número estructural (SN) [10]. A continuación, la fórmula:

$$\text{Log}(W) = ZR \cdot So - 9,36 \cdot \text{Log}(SN + 1) - 0,20 + \frac{\text{Log}\left(\frac{\Delta PSI}{4,2 - 1,5}\right)}{0,40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5,19}}} + 2,32 \cdot \text{Log}(MR) - 8,07(1)$$

Dónde:

W: Número estimado de ejes equivalentes de 8.2 toneladas en el período de diseño.

ZR: Desviación estándar normal

So: Error estándar combinado de la predicción del tráfico y de la predicción del comportamiento estructural

ΔPSI: Diferencia entre índice de servicio inicial y final

MR: Módulo resiliente (lb/in²)

SN: Número estructural (in)

2.2.1. Variables de Entrada

2.2.1.1. Variable de tiempo

Hay dos variables a tener en cuenta: Período de análisis, es el periodo que media entre la construcción o rehabilitación del pavimento y el momento en que éste alcanza un grado

de serviciabilidad mínimo; Período de análisis, es el tiempo total que cada estrategia de diseño debe cubrir.[11]Ver en la tabla 1 (Anexo 1)

2.2.1.2. Tránsito

Se usa el número de repeticiones de ejes equivalentes de 8180 Kg (8.2 Ton) o ESALs. La conversión de una carga dada a ESALs se hace a través de los LEF (factores equivalentes de carga) [11]. Ver en la tabla 2 y 3 (Anexos 1)

2.2.1.3. Confiabilidad (R)

Se refiere a la probabilidad de que el pavimento diseñado cumpla un desempeño satisfactorio dentro de su vida útil bajo las condiciones ambientales y del tránsito [12]. El valor que se toma esta en función de la vía, ver en la tabla 4 y 5 (Anexos 1)

2.2.1.4. Desviación Estándar del Sistema (So)

Esto depende de las condiciones de diseño. La AASHTO nos recomienda escoger uno de estos valores dependiendo si es pavimento flexible o rígido. Ver en la tabla 6 (Anexos 1)

2.2.1.5. Serviciabilidad

Es la capacidad de servir a un tipo de tránsito para lo cual se quiere diseñar. Para el diseño se debe elegir un valor para la serviciabilidad inicial (p_o) y una servicibialidad final (p_t). La inicial está en función del diseño y calidad de construcción del pavimento, mientras la final está en función de la categoría del camino y es adoptada en base a esta y a criterio del proyectista [11]. Ver en la tabla 7 (Anexos 1). La pérdida de serviciabilidad será:

$$\Delta PSI = p_o - p_t$$

2.2.1.6. Módulo Resiliente de la Sub-rasante

Para determinar el CBR de diseño se debe escoger el percentil según el tránsito de la vía será liviano, mediano o pesado. Ver en la tabla 8. Se reemplazará el valor del CBR de la sub-rasante en la fórmula de Módulo de Resiliencia [11]. Ver en la tabla 9 (Anexos 1)

2.2.2. Número Estructural (SN)

Es un indicador de la capacidad portante y resistencia al deterioro que puede tener una capa o el pavimento en general [13]. Con la ayuda del nomograma de diseño se puede

determinar el SN o también con la ayuda de un programa informático llamado Ecuación AASHTO-93 se puede obtener un resultado un poco más exacto. Ver en la figura 1 y 2 (Anexos 1).

2.2.3. Drenaje

Los coeficientes de drenaje (m_i) solo se aplican para las capas granulares no tratadas (sub-base y base), que depende de la calidad del drenaje y el tiempo en que estas capas están sometidas a condiciones de humedad cercana a la saturación. [11]. Ver en la tabla 10 y 11 (Anexos 1)

2.2.4. Módulo Resiliente y Coeficientes Estructural

Para la obtención de los módulos resilientes y los valores de los coeficientes estructurales (a_1, a_2, a_3) se obtiene a través de los ábacos. Para la carpeta asfáltica (a_1), se debe tener el valor de la estabilidad Marshall, ver en la figura 3 (Anexos 1). Para la capa de base (a_2) se debe tener el CBR (%), ver en la figura 4 (Anexos 1). Para la capa sub-base (a_3) también debe tener el CBR (%), ver en la figura 5 (Anexo 1).

2.2.5. Determinación de los espesores del paquete estructural

La expresión que relaciona el número estructural con los espesores es:

$$SN = a_1 * D_1 + a_2 * m_2 * D_2 + a_3 * m_3 * D_3$$

Dónde:

$a_1, a_2, a_3 \rightarrow$ son los coeficientes estructurales de cada capa (adimensional)

$m_1, m_2, m_3 \rightarrow$ son los coeficientes de drenaje

$D_1, D_2, D_3 \rightarrow$ son los espesores de cada capa (*in o cm*)

La AASHTO nos recomienda espesores mínimos de la carpeta asfáltica y de la base granular debe tener de acuerdo de los ejes equivalente de N8.2 (ESALS) del tráfico. Ver en la tabla 12 (Anexos 1). Para determinar los espesores de las capas individuales se requiere encontrar el número estructural para proteger la capa inferior, es decir para la carpeta asfáltica el Mr es de la base, para la base el Mr es de la sub-base y para la sub-base será el Mr de la sub-rasante. [14]. La comprobación si los espesores del paquete estructural son correctos o no, debe cumplir la condición de que:

$$SN = a_1 * D_1 + a_2 * m_2 * D_2 + a_3 * m_3 * D_3 \geq SN_{req}$$

2.4.Método Marshall

El método Marshall utiliza especímenes de prueba estándar de una altura de 64 mm (2 ½”) y 102 mm (4”) de diámetro. Se preparan mediante un procedimiento específico para calentar, mezclar y compactar mezclas de asfalto-agregado. [15]

Para el diseño de la mezcla asfáltica se utilizó materiales de la planta de asfalto del Gobierno Municipal de Machala que son el triturado de ¾”, 3/8”, arena. Se realiza el análisis granulométrico en donde deberá tener los porcentajes de peso que pasa por cada tamiz como lo estipula el MTOP. Ver en la tabla 13 (Anexo 1). El método nos permite determinar el porcentaje de contenido óptimo que llevará nuestra mezcla asfáltica, para ello primero se debe dosificar los materiales grueso y finos. Lo óptimo debe ser 70% material grueso y 30% material fino. A la preparación de la mezcla se le añadirá desde el 5% de C.A (cemento asfáltico) hasta el 7.5% en forma ascendente de 0.05%. La especificación técnica nos dice que depende del tráfico, se hará los números de golpes a las briquetas (en nuestro caso 75 golpes en ambas caras), y también los parámetros mínimos y máximo de la estabilidad, % de vacíos, flujo, etc. [16] Ver en la tabla 14 (Anexo 1).

2.5.Diseño del pavimento flexible de las vías del barrio Luz de América, 12 de Mayo y Rumiñahui

Todos los datos obtenidos y fórmulas serán ilustrados en la página de Anexos 2. Para el diseño de un pavimento una variable importante como ya antes mencionada es el tráfico porque nos permitirá determinar los espesores requeridos o mínimos para nuestro diseño [17].

Los datos definitivos a tener en cuenta para realizar el diseño del paquete estructural son: los coeficientes estructurales, los coeficientes de drenaje y los números estructurales de cada capa: Capa de Rodadura: SN1=3.02, a1=0.524, m1=1; Base: SN2=3.52, a2=0.134, m2=0.8; Sub-base: SN3=4.39, a3=0.131, m1=1.2. Se procede a realizar el cálculo de los espesores por capa.

Cálculo del espesor de la capa asfáltica

$$D_1 \geq \frac{SN_1}{a_1} \rightarrow D_1 \geq \frac{3.02}{0.524} \rightarrow D_1 = 5.80 \text{ in}$$

Se asume un D1 de 4 in

$$SN_1 = a_1 * D_1 \rightarrow SN_1 = 0.524 * 4 \rightarrow SN_1 = 2.10$$

Cálculo del espesor de la Base granular

$$D_2 \geq \frac{SN_2 - SN_1}{a_2 * m_2} \rightarrow D_2 \geq \frac{3.52 - 2.10}{0.8 * 0.134} \rightarrow D_2 = 13.29 \text{ in}$$

Se asume un D2 de 8 in

$$SN_2 = a_2 * D_2 * m_2 \rightarrow SN_2 = 0.134 * 8 * 0.8 \rightarrow SN_2 = 0.86$$

Cálculo del espesor de la Sub-base granular

$$D_3 \geq \frac{SN_3 - (SN_2 + SN_1)}{a_3 * m_3} \rightarrow D_3 \geq \frac{4.39 - (0.86 + 2.10)}{0.131 * 0.12} \rightarrow D_3 = 9.1 \text{ in}$$

Se asume un D3 de 20 in

$$SN_3 = a_3 * D_3 * m_3 \rightarrow SN_3 = 0.131 * 20 * 1.2 \rightarrow SN_3 = 3.14$$

Sumatoria para comprobar el SN calculado

$$SN_{calculado} = SN_1 + SN_2 + SN_3 \geq SN_{requerido}$$

$$SN_{calculado} = 2.10 + 0.86 + 3.14 \geq 6.10$$

$$SN_{calculado} = 6.10 \geq 4.39 \text{ (ok)}$$

2.6. Análisis del Pavimento Flexible

El diseño del paquete estructural satisface a las cargas previstas del tránsito durante un periodo de 20 años. Con un espesor total de 80 cm tenemos:

- Carpeta de rodadura E = 10 cm
- Capa de Base E = 20 cm
- Capa de Sub base E = 20 cm
- Mejoramiento E = 30 cm

Se procedió a realizar variaciones de alturas de la capa de sub-base y base para saber si cumple con las condiciones que se quiere obtener para la vía.

1. Se asumió una altura de sub-base de 0.45m y de base 0.15m, por lo cual nos dio los coeficientes de drenaje $m_2=0.8$ y $m_3=1.2$. Los valores anteriores no cambian ya que el W18, la confiabilidad, desviación estándar, la pérdida de serviciabilidad y los CBR son los mismos. Se pudo evidenciar que:

$$SN_{calculado} = SN_1 + SN_2 + SN_3 \geq SN_{requerido}$$

$$SN_{calculado} = 2.10 + 0.64 + 2.83 \geq 4.39$$

$$SN_{calculado} = 5.57 \geq 4.39 \quad (ok)$$

Como resultado nos dio un total de 70 cm conformada por:

- Carpeta de rodadura D1 = 4 in = 10 cm
- Capa de Base D2 = 6 in = 15 cm
- Capa de Sub base D3 = 18 in = 45 cm

También se debe tener en claro que se debe respetar los espesores mínimos de la capa de rodadura como de la base según la AASHTO. Como la capa de la sub-base es demasiado grande y esto provoca que el costo sea un poco más elevado se procede a poner un material de mejoramiento porque la subrasante es de nivel regular, para que así el espesor de la sub-base se reduzca.

- Carpeta de rodadura E = 10 cm
- Capa de Base E = 15 cm
- Capa de Sub-base E = 15 cm
- Mejoramiento E = 30 cm

2. Se asumió una altura de sub-base de 0.20m y de base 0.20m, por lo cual nos dio los coeficientes de drenaje $m_2=0.8$ y $m_3=1.0$. Se pudo evidenciar que:

$$SN_{calculado} = SN_1 + SN_2 + SN_3 \geq SN_{requerido}$$

$$SN_{calculado} = 1.57 + 0.86 + 1.05 \geq 4.39$$

$$SN_{calculado} = 3.48 \geq 4.39 \quad (incorrecto)$$

Como resultado nos dio un total de 48 cm conformada por:

- Carpeta de rodadura D1 = 3 in = 8 cm
- Capa de Base D2 = 8 in = 20 cm
- Capa de Sub-base D3 = 8 in = 20 cm

Se evidencia que ese espesor no podrá aguantar las cargas previstas del tránsito acortando de manera inmediata su vida útil de diseño.

3. Se asumió una altura de sub-base de 0.60m y de base 0.30m, por lo cual nos dio los coeficientes de drenaje $m_2=0.8$ y $m_3=1.2$. Se pudo evidenciar que:

$$SN_{calculado} = SN_1 + SN_2 + SN_3 \geq SN_{requerido}$$

$$SN_{calculado} = 3.14 + 1.18 + 3.77 \geq 4.39$$

$$SN_{calculado} = 8.09 \geq 4.39 \quad (Correcto)$$

Como resultado nos dio un total de 105 cm conformada por:

- Carpeta de rodadura D1 = 6 in = 15 cm
- Capa de Base D2 = 11 in = 30 cm

- Capa de Sub-base D3= 24 in = 60 cm

Se evidencio sobredimensionamiento de los espesores, ocasionando que el presupuesto total de la obra sea muy costoso. Con esa estructura de pavimento se resistirán las cargas verticales del tránsito. La capa de rodadura es la más costosa, por eso no se recomienda un espesor demasiado grande con lo que estipula la norma. Entonces nos quedaría el paquete estructural de la siguiente manera:
Carpeta de rodadura E = 15 cm

- Capa de Base E = 30 cm
- Capa de Sub base E = 30 cm
- Mejoramiento E = 30 cm

3. CONCLUSIÓN

- El ensayo de las calicatas permitió determinar que el suelo de la subrasante es un material regular arcilloso-limoso con un CBR de 6.37%. La proyección del TPDA para una proyección a futuro es de 7556 dándonos un tipo de carretera clase I. La dosificación del agregado grueso es de 70% (30% para ¾" y 20% para 3/8") y agregado fino (30% arena), con un cemento asfáltico óptimo de 6.07% para la mezcla asfáltica que se tomó los materiales del Campamento del Municipio de Machala. Para los materiales usados para préstamo se lo hizo de la cantera El Colorado, base clase II y sub-base clase II.
- Con la ayuda de la metodología AASHTO-93 se pudo determinar los espesores ideales para cada capa que tendrá la estructura, dándonos con un total de 80 cm. La carpeta asfáltica será de 10 cm, la base de 20 cm, y la sub-base de 50 cm, en donde esta última por minimizar costo se dejó a 20 cm y se puso material de mejoramiento para reforzar la sub-rasante con 30 cm. Se verificó que se respetaran los espesores mínimos.
- Se realizó el análisis de 3 posibles combinaciones del paquete estructural del pavimento flexible en donde deberá resistir las cargas previstas del tránsito con $W_{18} = 13,03 * 10^6$. La primera combinación con un total de 70 cm no hay problemas. La segunda combinación con un total de 48 cm habría muchos problemas ya que el paquete estructural calculado es menor que el requerido, como consecuencia que la vía no resista la cantidad del tránsito y se deberá realizar demasiado mantenimiento. La tercera combinación con un total de 105

cm no hay problema, pero estamos sobredimensionando provocando que el costo sea alto, porque la que costará más es la capa de rodadura como los materiales de préstamos.

4. RECOMENDACIONES

- El aforo del tráfico se debe realizar de manera eficiente con personas capacitadas para diferenciar que tipo de transporte circula en el lugar, porque de eso depende mucho para determinar los espesores del paquete estructural.
- Se pueden apoyar en varios softwares que permiten calcular de manera eficiente el numero estructural de manera segura, ya que en el nomograma la vista humana puede variar por poco el resultado.

5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] B. S. Baque Solis, “Evaluación del estado del pavimento flexible mediante el método del PCI de la carretera puerto-aeropuerto (Tramo II), Manta. Provincia de Manabí,” *Dominio las Ciencias*, vol. 6, no. 2, pp. 203–228, 2020, [Online]. Available: <http://dominiodelasciencias.com/ojs/index.php/es/indexhttps://orcid.org/0000-0003-0700-7136>.
- [2] F. A. Rondón Quintana, Hugo Alexander; Reyes Lizcano, “Metodologías De Diseño De Pavimentos Flexibles : Tendencias , Alcances Y Limitaciones,” *Cienc. e Ing. Neogranadina*, vol. 17, no. 2, pp. 41–65, 2007.
- [3] J. Allen, E. Arias Barrantes, C. Vargas Sobrado, and A. Ureña Bermúdez, “Factores camión para diseño de pavimentos flexibles en Costa Rica: Análisis histórico en el período 2007-2017,” *Infraestruct. Vial*, vol. 22, no. 40, pp. 11–19, 2020.
- [4] G. É. Rincón-Ochoa and C. H. Higuera-Sandoval, “Programa informático para el diseño de pavimentos flexibles y rígidos por el método AASHTO,” *Ingenio Magno*, vol. 8, no. 1, pp. 148–161, 2017.
- [5] J. M. Herrera Betín, J. N. Gómez Sáenz, F. Reyes Lizcano, and F. L. Castaño Martínez, “Pavimentos flexibles: Análisis cualitativo del flujo de agua de infiltración para el control del drenaje de una estructura de pavimento flexible en la ciudad de Bogotá D.C.,” *Infreestructura Vial*, vol. 11, no. 22, pp. 20–25, 2012.
- [6] E. Duarte, L. Eduardo, and L. C. Oswaldo, “Diagnóstico de los efectos generados por el tráfico de largo destino en la malla vial del municipio de Cachipay, Cundinamarca,” *Tecnura*, vol. 22, no. 56, pp. 62–75, 2018.
- [7] MTOP, “Normas de Diseño Geometrico de Carreteras,” *Mtop*, vol. 2, p. 475, 2003, [Online]. Available: https://sjnavarro.files.wordpress.com/2011/08/manual-dedise3b1o-de-carretera_2003-ecuador.pdf.
- [8] P. A. Aiassa, Gonzalo M.; Arrúa, “Diseño de mezclas de suelo compactado para la construcción de terraplenes,” *Rev. EIA*, vol. 4, no. 7, pp. 51–61, 2007.
- [9] G. Thenoux Z and R. Gaete P, “Análisis mecanicista de estructura de pavimentos utilizados en Chile diseñadas por el método AASHTO-93,” *Rev. Ing. construcción*, no. 19, pp. 36–43, 1999.

- [10] A. Moreno Fonseca, “Ingeniería de pavimentos para carreteras,” *Cienc. e Ing. Neogranadina*, vol. 7, no. 1, pp. 79–92, 1999, doi: 10.18359/rcin.1512.
- [11] AASHTO, “Diseño de Pavimentos(AASHTO 93),” *AASHTO Des. Proced. New Pavements*, 2003, [Online]. Available: https://www.academia.edu/34103801/DISENO_DE_PAVIMENTO_METODO_AASHTO_93_ESPANOL_1_.
- [12] M. Rodríguez, G. Thenoux, and González, “Probabilistic assessment of asphalt pavement design,” *Rev. Ing. Constr.*, vol. 31, no. 2, pp. 159–166, 2016.
- [13] J. Coronado, “Manual Centroamericano para diseño de pavimentos,” *Secr. Integr. Econ. Centroam.*, p. 3, 2002, [Online]. Available: <http://repositorio.mopt.go.cr:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/4114/625.7-38.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- [14] L. M. Monsalve Escobar, V. L. Cristina Giraldo, and G. J. Maya, “Diseño De Pavimento Flexible Y Rígido,” *Fac. Ciencias y Technol.*, p. 145, 2012.
- [15] Mop-001-F 2002, “Publicas Y Comunicaciones Mop - 001-F 2002,” p. 772, 2002, [Online]. Available: http://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/07/01-07-2013_ConcursoPublico_StoDomingo-Esmeraldas-Especificaciones-Tecnicas.pdf.
- [16] S. M. Constante, W. Cando, L. Fernández, G. Yáñez, P. Castro, and P. Espinoza-Montero, “Modification of a hot asphalt mix by dry process using special waste (slag) from car batteries,” *Rev. Tec. La Fac. Ing. Univ. Del Zulia*, vol. 43, no. 1, pp. 12–18, 2020, doi: 10.22209/rt.v43n1a02.
- [17] S. J. Navarro Hudiel and F. J. Bustamante Arteaga, “Cálculo de tasa de crecimiento de tránsito para proyecciones de tráfico promedio diario anual en Nicaragua,” *Rev. Cienc. y Technol. El Higo*, vol. 11, no. 1, pp. 43–68, 2021, doi: 10.5377/elhigo.v11i1.11717.

ANEXOS 1

Tabla 1: Periodo de Análisis

Tipo De Camino	Periodo De Análisis
Gran volumen de tránsito urbano	30 a 50 años
Gran volumen de tránsito rural	20 a 50 años
Bajo volumen pavimentado	15 a 25 años

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO-93

Tabla 2: Carga por eje y factores equivalentes para pavimentos flexibles; para pt de 2.0 (Eje Simples)

Carga por eje (Kips)	Número estructural para pavimentos (SN)					
	1	2	3	4	5	6
2	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
4	0.002	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002
6	0.009	0.012	0.011	0.01	0.009	0.009
8	0.03	0.035	0.036	0.033	0.031	0.029
10	0.08	0.08	0.09	0.08	0.08	0.08
12	0.16	0.18	0.19	0.18	0.17	0.17
14	0.32	0.34	0.35	0.35	0.34	0.33
16	0.589	0.598	0.613	0.612	0.603	0.596
18	1	1	1	1	1	1
20	1.61	1.59	1.56	1.55	1.57	1.59
22	2.49	2.44	2.35	2.31	2.35	2.41
24	3.71	3.62	3.43	3.33	3.4	3.51
26	5.36	5.21	4.88	4.68	4.77	4.96
28	7.54	7.31	6.78	6.42	6.52	6.83
30	10.38	10.03	9.24	8.65	8.73	9.17
32	14	13.51	12.37	11.46	11.48	12.17
34	18.55	17.87	16.3	14.97	14.87	15.63
36	24.2	23.3	21.16	19.28	19.02	19.93
38	31.14	29.95	27.12	24.55	24.03	25.1
40	39.57	38.02	34.34	30.92	30.04	31.25

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO-93

Tabla 3: Carga por eje y factores equivalentes para pavimentos flexibles; para pt de 2.5 (Eje Simples)

Carga por eje (kips)	Número Estructural (SN)					
	1	2	3	4	5	6
2	0.0004	0.0004	0.0003	0.0002	0.0002	0.0002
4	0.003	0.004	0.004	0.003	0.002	0.002
6	0.011	0.017	0.017	0.013	0.010	0.009
8	0.032	0.047	0.051	0.041	0.034	0.031
10	0.078	0.102	0.118	0.102	0.088	0.080
12	0.168	0.198	0.229	0.213	0.189	0.176
14	0.328	0.358	0.399	0.388	0.360	0.342
16	0.591	0.613	0.646	0.645	0.623	0.606
18	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
20	1.61	1.57	1.49	1.47	1.51	1.55
22	2.48	2.38	2.17	2.09	2.18	2.30
24	3.69	3.49	3.09	2.89	3.03	3.27
26	5.33	4.99	4.31	3.91	4.09	4.48
28	7.49	6.98	5.90	5.21	5.39	5.98
30	10.3	9.50	7.90	6.80	7.00	7.80
32	13.9	12.8	10.5	8.80	8.90	10.0
34	18.4	16.9	13.7	11.3	11.2	12.5
36	24.0	22.0	17.7	14.4	13.9	15.5
38	30.9	28.3	22.6	18.1	17.2	19.0
40	39.3	35.9	28.5	22.5	21.1	23.0
42	49.3	45.0	35.6	27.8	25.6	27.7
44	61.3	55.9	44.0	34.0	31.0	33.1
46	75.5	68.8	54.0	41.4	37.2	39.3
48	92.2	83.9	65.7	50.1	44.5	46.5
50	112.0	102.0	79.0	60.0	53.0	55.0

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO-93

Tabla 4: Niveles de confiabilidad por tipo de vía

Clasificación Funcional	Nivel de Confiabilidad , R, recomendado	
	Urbana	Rural
Interestatales y Vías rápidas	85 - 99.9	80 - 99.9
Arterias Principales	80 - 99	75 - 95
Colectoras	80 - 95	75 - 95
Locales	50 - 80	50 - 80

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO-93

Tabla 5: Confiabilidad (R)

R	Zr	R	Zr
50 %	0.00	75%	-0.674
60 %	- 0.253	85 %	-1.037
70 %	-0.524	90 %	-1.282
80 %	-0.841	95 %	-1.645

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO-93

Tabla 6: Desviación Estándar (So)

Condiciones De Diseño	Desvió Estándar (So)
Variación en la predicción del comportamiento del pavimento sin errores en el tránsito	0.34 (pavimentos Rígidos)
	0.44 (pavimentos Flexibles)
Variación en la predicción del comportamiento del pavimento con errores en el tránsito.	0.39 (pavimentos Rígidos)
	0.49 (pavimentos Flexibles)

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO-93

Tabla 7: Niveles de Serviciabilidad

Serviciabilidad Inicial (po)	Serviciabilidad Final (pt)
Pavimento Flexible = 4.2	2.5 ó más para caminos muy importantes
Pavimento Rígido = 4.5	2.0 para caminos de menor tránsito

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO-93

Tabla 8: Percentiles para determinar el CBR de diseño

NUMERO DE EJES DE 8.2 TONELADAS EN EL CARRIL DE DISEÑO	PERCENTIL A SELECCIONAR PARA DETERMINAR EL CBR DE DISEÑO
$\leq 10^4$	60.0
$10^4 - 10^6$	75.0
$\geq 10^6$	87.5

Fuente: Instituto del Asfalto

Tabla 9: CBR de Diseño

$CBR < 10\%$	$MR (psi) = 1500 * CBR$
$CBR \text{ de } 10\% \text{ a } 20\%$	$MR (psi) = 3000 * CBR^{0,65}$
$CBR > 20\%$	$MR (psi) = 4326 * LnCBR + 241$

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO-93

Tabla 10: Drenaje en Función del Tiempo

Calidad de drenaje	50 % de saturación en:	85 % de saturación en:
Excelente	2 horas	2 horas
Bueno	1 día	2 – 5 horas
Regular	1 semana	5 – 10 horas
Pobre	1 mes	Más de 10 horas
Muy pobre	El agua no drena	Mucho más de 10 horas

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO-93

Tabla 11: Coeficiente de Drenaje

Calidad del drenaje	Porcentaje de tiempo en que el pavimento está expuesto a niveles de humedad cercanos a la saturación.			
	Menor al 1%	1 % – 5 %	5 % – 25 %	Mayor del 25 %
Excelente	1.40 – 1.35	1.35 – 1.30	1.30 – 1.20	1.20
Bueno	1.35 – 1.25	1.25 – 1.15	1.15 – 1.00	1.00
Regular	1.25 – 1.15	1.15 – 1.05	1.00 – 0.80	0.80
Pobre	1.15 – 1.05	1.05 – 0.80	0.80 – 0.60	0.60
Muy pobre	1.05 – 0.95	0.95 – 0.75	0.75 – 0.40	0.40

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO-93

Tabla 12: Espesores Mínimos por capas

Tráfico ESAL'S	Carpeta Asfáltica (in)	Base Granular (in)
Menos de 50.000	1.0 (o tratamiento superficial)	4
50.000 – 150.000	2	4
150.001 – 500.000	2.5	4
500.001 – 2.000.000	3	6
2.000.001 – 7.000.000	3.5	6
Más de 7.000.000	4	6

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO-93

Tabla 13: Granulometría de porcentaje para el Método Marshall

TAMIZ	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada			
	¾"	½"	3/8"	Nº4
1" (25.4 mm.)	100	--	--	--
¾" (19.0 mm.)	90 - 100	100	--	--
½" (12.7 mm.)	--	90 - 100	100	--
3/8" (9.50 mm.)	56 - 80	--	90 - 100	100
Nº 4 (4.75 mm.)	35 - 65	44 - 74	55 - 85	80 - 100
Nº 8 (2.36 mm.)	23 - 49	28 - 58	32 - 67	65 - 100
Nº 16 (1.18 mm.)	--	--	--	40 - 80
Nº 30 (0.60 mm.)	--	--	--	25 - 65
Nº 50 (0.30 mm.)	5 - 19	5 - 21	7 - 23	7 - 40
Nº 100 (0.15 mm.)	--	--	--	3 - 20
Nº 200 (0.075 mm.)	2 - 8	2 - 10	2 - 10	2 - 10

Fuente: Especificaciones Técnicas del MTOP

Tabla 14: Criterios Marshall dependiendo del tipo de Tráfico

TIPO DE TRÁFICO CRITERIOS MARSHALL	Muy Pesado		Pesado		Medio		Liviano	
	Mín.	Máx.	Mín.	Max.	Mín.	Max.	Mín.	Máx.
No. De Golpes/Cara	75		75		50		50	
Estabilidad (libras)	2200	----	1800	----	1200	----	1000	2400
Flujo (pulgada/100)	8	14	8	14	8	16	8	16
% de vacíos en mezcla								
- Capa de Rodadura	3	5	3	5	3	5	3	5
- Capa Intermedia	3	8	3	8	3	8	3	8
- Capa de Base	3	9	3	9	3	9	3	9
% Vacíos agregados	VER TABLA 405-5.5							
Relación filler/betún	0.8	1.2	0.8	1.2				
% Estabilidad retenida luego 7 días en agua temperatura ambiente								
- Capa de Rodadura	70	----	70	----				
- Intermedia o base	60	----	60	----				

Fuente: Especificaciones Técnicas del MTOP

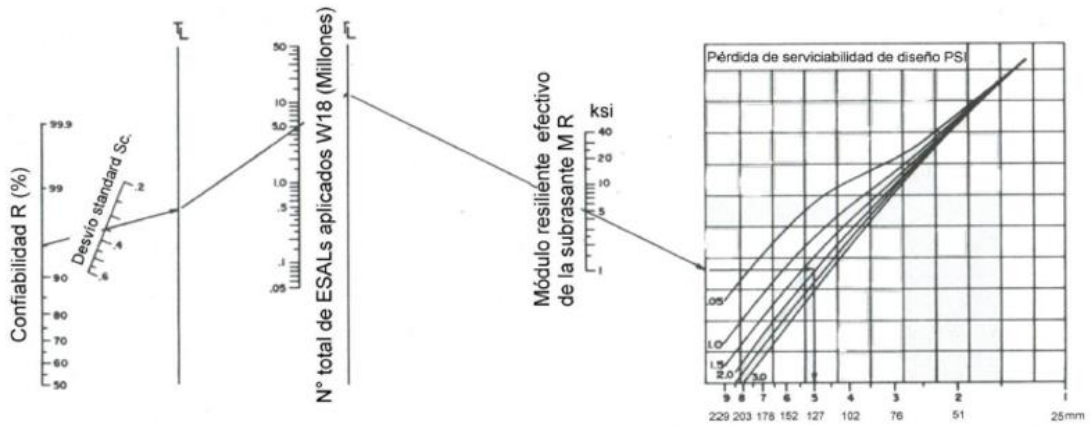


Figura 1: Nomograma del Numero Estructural

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO-93

Ecuación AASHTO 93

<p>Tipo de Pavimento</p> <p><input checked="" type="radio"/> Pavimento flexible <input type="radio"/> Pavimento rígido</p>	<p>Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)</p> <p>Reliability (R) <input type="text"/> So <input type="text"/></p>
<p>Serviciabilidad inicial y final</p> <p>PSI inicial <input type="text"/> PSI final <input type="text"/></p>	<p>Módulo resiliente de la subrasante</p> <p>Mr <input type="text"/> psi</p>
<p>Información adicional para pavimentos rígidos</p> <p>Módulo de elasticidad del concreto - Ec (psi) <input type="text"/> Coeficiente de transmisión de carga - (J) <input type="text"/></p> <p>Módulo de rotura del concreto - Sc (psi) <input type="text"/> Coeficiente de drenaje - (Cd) <input type="text"/></p>	
<p>Tipo de Análisis</p> <p><input checked="" type="radio"/> Calcular SN W18 = <input type="text"/></p> <p><input type="radio"/> Calcular W18</p>	<p>Número Estructural</p> <p>SN = <input type="text"/></p>
<input type="button" value="Calcular"/>	<input type="button" value="Salir"/>

Figura 2: Interfaz Software Ecuación AASHTO-93

Fuente: Desarrollado por Luis Ricardo Varela

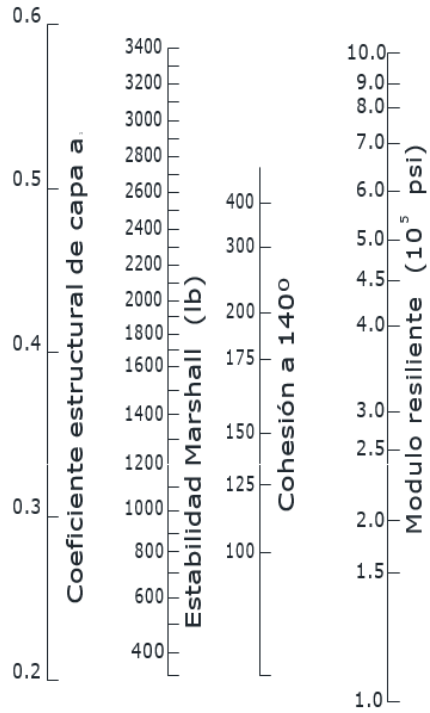


Figura 3: Coeficiente estructural de la carpeta asfáltica (a1)

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO-93

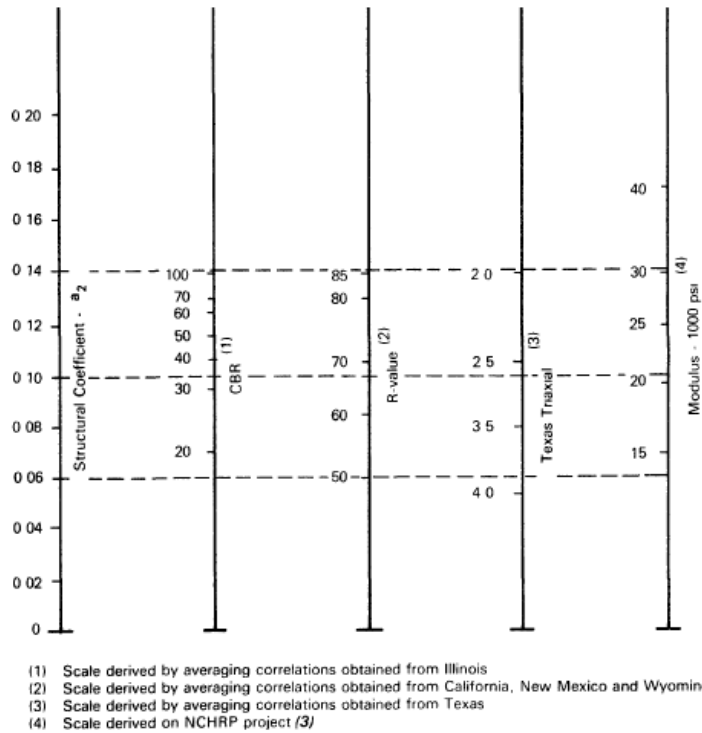


Figura 4: Coeficiente estructural (a2), ábaco para Mr. de la base

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO-93

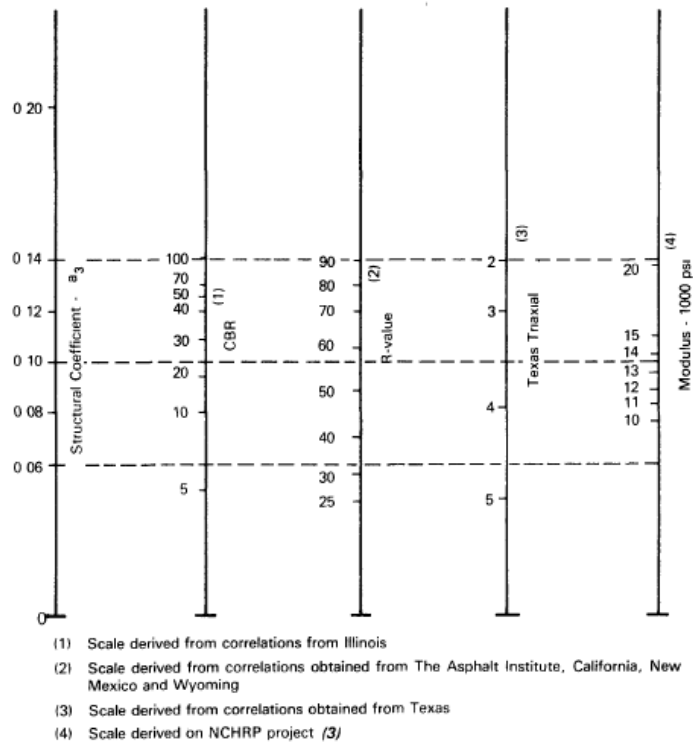


Figura 5: Coeficiente estructural (a_3), ábaco para M_r de la sub-base

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO-93

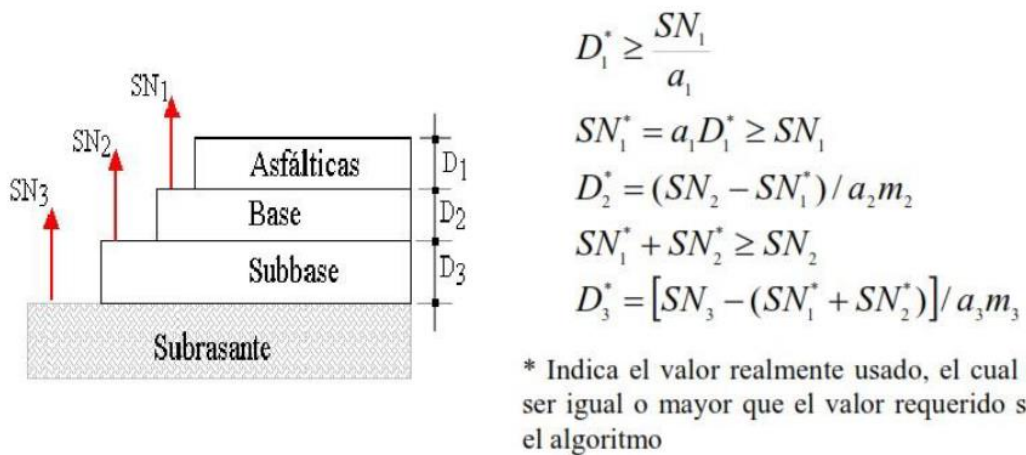


Figura 6: Representación gráfica de SN y D

Fuente: Diseño De Pavimento Flexible Y Rígido Vía Aeropuerto El Edén

ANEXOS 2

Resumen de Ensayo de Calicata 1

LABORATORIO DE SUELOS & PAVIMENTOS ANÁLISIS DE SUELOS DE FUNDACION

CALICATA N°.	UBICACION	ESTRATOS	DESCRIP. MATERIAL	NIVEL FREATICO	h (m)	CONTENIDO DE HUMEDAD %	GRANULOMETRIA				LIMITES DE CONSISTENCIA			CLASIFICACION			PROCTOR KG/M3	HUMEDAD OPTIMA %	CBR %
							% DE MATERIAL QUE PASA TAMIZ				L.L.	L.P.	I.P.	S.U.C.S.	I.G.	ASSHTO			
							N° 4	N° 10	N° 40	N° 200									
01	DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO PARA LA CIUDAD DE LA CIUDAD DE LA CIUDAD DE MACHALA.		ARENA FINA, COLOR GRIS		0.50	10.22	93.14	92.02	74.61	41.42	0.00	0.00	0.00	NP	1	A-3	1792	11.85	10.63
			ARENA LIMOSA, COLOR CAFÉ		1.00	12.78	97.09	93.23	78.39	44.30	0.00	0.00	0.00	NP	2	A-3			
			ARENA LIMOSA, COLOR CAFÉ		1.50	18.92	95.92	93.45	79.42	35.75	0.00	0.00	0.00	NP	0	A-3			

Fuente: Micadi Construcciones S.A

Resumen de Ensayo de Calicata 2

LABORATORIO DE SUELOS & PAVIMENTOS ANÁLISIS DE SUELOS DE FUNDACION

CALICATA N°.	UBICACION	ESTRATOS	DESCRIP. MATERIAL	NIVEL FREATICO	h (m)	CONTENIDO DE HUMEDAD %	GRANULOMETRIA				LIMITES DE CONSISTENCIA			CLASIFICACION			PROCTOR KG/M3	HUMEDAD OPTIMA %	CBR %
							% DE MATERIAL QUE PASA TAMIZ				L.L.	L.P.	I.P.	S.U.C.S.	I.G.	ASSHTO			
							N° 4	N° 10	N° 40	N° 200									
02	DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO PARA LA CIUDAD DE LA CIUDAD DE LA CIUDAD DE MACHALA.		ARENA, COLOR CAFÉ CLARO		0.50	9.44	86.80	79.73	62.23	38.45	0.00	0.00	0.00	NP	1	A-3	1865	9.00	17.71
			LIMO ARCILLOSOS, COLOR CAFÉ		1.00	13.63	89.03	79.80	55.89	52.30	28.70	23.16	5.54	OL	3	A-4			
			LIMO ARCILLOSO, COLOR CAFÉ CLARO		1.50	18.94	93.62	89.72	77.49	56.04	27.00	21.15	5.85	OL	4	A-4			

Fuente: Micadi Construcciones S.A

Resumen de Ensayo de Calicata 3

LABORATORIO DE SUELOS & PAVIMENTOS ANÁLISIS DE SUELOS DE FUNDACION

CALICATA N°.	UBICACION	ESTRATOS	DESCRIP. MATERIAL	NIVEL FREATICO	h (m)	CONTENIDO DE HUMEDAD %	GRANULOMETRIA				LIMITES DE CONSISTENCIA			CLASIFICACION			PROCTOR KG/M3	HUMEDAD OPTIMA %	CBR %
							% DE MATERIAL QUE PASA TAMIZ				L.L.	L.P.	I.P.	S.U.C.S.	I.G.	ASSHTO			
							N° 4	N° 10	N° 40	N° 200									
03	DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO PARA LA CIUDAD DE LA CIUDAD DE LA CIUDAD DE MACHALA.	D ₁₀ D ₃₀ D ₆₀ D ₁₀₀	CANTO RODADO, COLOR CAFÉ		0.50	5.44	66.01	44.81	36.73	4.19	0.00	0.00	0.00	NP	0	A-3	1805	10.67	5.31
			ARCILLA, COLOR CAFÉ		1.00	11.51	97.73	92.50	85.23	75.31	28.41	18.04	10.37	CL	8	A-6			
			LIMO ARENOSO, COLOR CAFÉ		1.50	17.45	94.07	82.71	70.16	89.17	31.00	17.68	13.32	CL	9	A-6			

Fuente: Micadi Construcciones S.A

Resumen de Ensayo de Calicata 4

LABORATORIO DE SUELOS & PAVIMENTOS ANÁLISIS DE SUELOS DE FUNDACION

CALICATA N°.	UBICACION	ESTRATOS	DESCRIP. MATERIAL	NIVEL FREATICO	h (m)	CONTENIDO DE HUMEDAD %	GRANULOMETRIA				LIMITES DE CONSISTENCIA			CLASIFICACION			PROCTOR KG/M3	HUMEDAD OPTIMA %	CBR %
							% DE MATERIAL QUE PASA TAMIZ				L.L.	L.P.	I.P.	S.U.C.S.	I.G.	ASSHTO			
							N° 4	N° 10	N° 40	N° 200									
04	DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO PARA LA CIUDAD DE LA CIUDAD DE LA CIUDAD DE MACHALA.		ARENA FINA, COLOR GRIS		0.50	15.40	92.70	90.77	71.23	34.65	0.00	0.00	0.00	NP	0	A-3	1870	16.50	18.89
			ARENA LIMOSA, COLOR CAFÉ		1.00	19.53	96.69	94.11	76.96	33.91	0.00	0.00	0.00	NP	0	A-3			
			ARENA LIMOSA, COLOR CAFÉ		1.50	26.72	96.90	93.78	77.88	34.92	0.00	0.00	0.00	NP	0	A-3			

Fuente: Micadi Construcciones S.A

Resumen de Ensayo de Calicata 5

LABORATORIO DE SUELOS & PAVIMENTOS ANÁLISIS DE SUELOS DE FUNDACION

CALICATA N°.	UBICACION	ESTRATOS	DESCRIP. MATERIAL	NIVEL FREATICO	h (m)	CONTENIDO DE HUMEDAD %	GRANULOMETRIA				LIMITES DE CONSISTENCIA			CLASIFICACION			PROCTOR KG/M3	HUMEDAD OPTIMA %	CBR %
							% DE MATERIAL QUE PASA TAMIZ				L.L.	L.P.	I.P.	S.U.C.S.	I.G.	ASSHTO			
							N° 4	N° 10	N° 40	N° 200									
05	DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO PARA LA CIUDAD DE LA CIUDAD DE LA CIUDAD DE MACHALA.	D ₁₀ D ₃₀ D ₆₀ D ₁₀₀	CANTO RODADO, COLOR CAFÉ		0.50	8.93	72.36	61.20	24.34	0.30	0.00	0.00	0.00	NP	0	A-3	1778	13.50	4.72
			ARCILLA, COLOR CAFÉ		1.00	19.45	100.00	98.78	94.29	73.84	28.25	18.04	10.21	CL	8	A-6			
			LIMO ARENOSO, COLOR CAFÉ		1.50	27.52	100.00	100.00	98.31	94.94	32.10	17.68	14.42	CL	10	A-6			

Fuente: Micadi Construcciones S.A

Resumen de Ensayo de Calicata 6

LABORATORIO DE SUELOS & PAVIMENTOS

ANÁLISIS DE SUELOS DE FUNDACION

CALICATA N°.	UBICACION	ESTRATOS	DESCRIP. MATERIAL	NIVEL FREÁTICO	h (m)	CONTENIDO DE HUMEDAD %	GRANULOMETRÍA				LÍMITES DE CONSISTENCIA			CLASIFICACION			PROCTOR KG/M3	HUMEDAD OPTIMA %	CBR %
							% DE MATERIAL QUE PASA TAMIZ				L.L.	L.P.	I.P.	S. U. C. S.	I.G.	ASSHTO			
							N° 4	N° 10	N° 40	N° 200									
06	DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO PARA LA CIUDAD DE LA LUZ DE AMÉRICA DE LA CIUDAD DE MACHALA.		ARENA, COLOR CAFÉ CLARO		0.50	14.30	86.36	79.89	59.07	31.85	0.00	0.00	0.00	NP	0	A-3	1890	11.50	17.71
			LIMO ARCILLOSOS, COLOR CAFÉ		1.00	20.65	89.09	80.41	56.38	55.81	28.50	23.16	5.34	ML	4	A-4			
			LIMO ARCILLOSO, COLOR CAFÉ CLARO		1.50	30.01	94.12	90.63	78.86	59.58	25.55	21.15	4.40	ML	5	A-4			

Fuente: Micadi Construcciones S.A

Resumen de Ensayo de Calicata 7

LABORATORIO DE SUELOS & PAVIMENTOS

ANÁLISIS DE SUELOS DE FUNDACION

CALICATA N°.	UBICACION	ESTRATOS	DESCRIP. MATERIAL	NIVEL FREÁTICO	h (m)	CONTENIDO DE HUMEDAD %	GRANULOMETRÍA				LÍMITES DE CONSISTENCIA			CLASIFICACION			PROCTOR KG/M3	HUMEDAD OPTIMA %	CBR %
							% DE MATERIAL QUE PASA TAMIZ				L.L.	L.P.	I.P.	S. U. C. S.	I.G.	ASSHTO			
							N° 4	N° 10	N° 40	N° 200									
07	DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO PARA LA RUMINAHUI DE LA CIUDAD DE MACHALA.		ARCILLA, COLOR CAFÉ		0.50	30.18	87.52	79.54	57.27	95.56	51.60	17.88	33.72	CH	10	A-7-6	1785	13.50	10.98
			ARENA, COLOR CAFÉ CLARO		1.00	19.81	100.00	99.88	97.67	32.95	0.00	0.00	0.00	NP	0	A-3			
			ARENA, COLOR CAFÉ CLARO		1.50	24.93	100.00	100.00	99.21	34.16	0.00	0.00	0.00	NP	0	A-3			

Fuente: Micadi Construcciones S.A

Resumen de Ensayo de Calicata 8

LABORATORIO DE SUELOS & PAVIMENTOS

ANÁLISIS DE SUELOS DE FUNDACION

CALICATA N°.	UBICACION	ESTRATOS	DESCRIP. MATERIAL	NIVEL FREÁTICO	h (m)	CONTENIDO DE HUMEDAD %	GRANULOMETRÍA				LÍMITES DE CONSISTENCIA			CLASIFICACION			PROCTOR KG/M3	HUMEDAD OPTIMA %	CBR %
							% DE MATERIAL QUE PASA TAMIZ				L.L.	L.P.	I.P.	S. U. C. S.	I.G.	ASSHTO			
							N° 4	N° 10	N° 40	N° 200									
08	DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO PARA LA RUMINAHUI DE LA CIUDAD DE MACHALA.		CANTO REDONDO, COLOR CAFÉ AMARILLENTO		0.50	8.07	47.52	34.71	16.00	0.17	23.40	18.92	4.48	ML	0	A-4	1835	13.00	11.81
			ARCILLA, COLOR GRIS		1.00	30.58	98.95	98.06	95.44	32.77	37.80	16.11	21.69	CL	2	A-6			
			ARENA, COLOR CAFÉ		1.50	24.12	100.00	100.00	99.21	34.16	0.00	0.00	0.00	NP	0	A-3			

Fuente: Micadi Construcciones S.A

Método Marshall

PORCENTAJES DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

NUMERO DE DE TAMICES	PORCENTAJE PASANTE ACUMULADO		
	TOLVA 3/4"	TOLVA 3/8"	ARENA
1"	100	100	100
3/4"	88.81	100.00	100.00
3/8"	38.78	98.90	99.69
No.4	8.12	92.73	95.67
No.8	3.56	65.87	90.69
No.50	1.20	16.70	17.31
No.200	0.49	5.30	1.42
PORCENTAJE REQUERIDOS	0.50 %	0.20 %	0.30 %

PORCENTAJE TOTAL DEL REQUERIDO

NUMERO DE DE TAMICES	PORCENTAJE PASANTE ACUMULADO			% TOTAL
	TOLVA 3/4"	TOLVA 3/8"	ARENA	
1"	50.000	20.000	30.000	100.000
3/4"	44.406	20.000	30.000	94.406
3/8"	19.390	19.781	29.907	69.078
No.4	4.060	18.545	28.700	51.305
No.8	1.779	13.174	27.208	42.161
No.50	0.602	3.340	5.193	9.134
No.200	0.246	1.061	0.427	1.734

NUMERO DE TAMICES	AVERTURA (mm)	PORCENTAJES DE ESPECIFICACIONES	PORCENTAJE DOSIFICADO
1"	25.4000	100	100.000
3/4"	19.0500	90	94.406
3/8"	9.5250	56	69.078
No.4	4.7498	35	51.305
No.8	2.3800	23	42.161
No.50	0.2972	5	9.134
No.200	0.0737	2	1.734

LABORATORIO DE SUELOS & PAVIMENTOS

MEDICIONES Y CALCULOS		
N°	LECTURAS	
	(Rec. 1)	(Rec. 2)
1	63	62
2	62	62
3	61	62
4	60	63
PROMEDIO	61.50	62.25
PROMEDIO TOTAL	61.88 %	

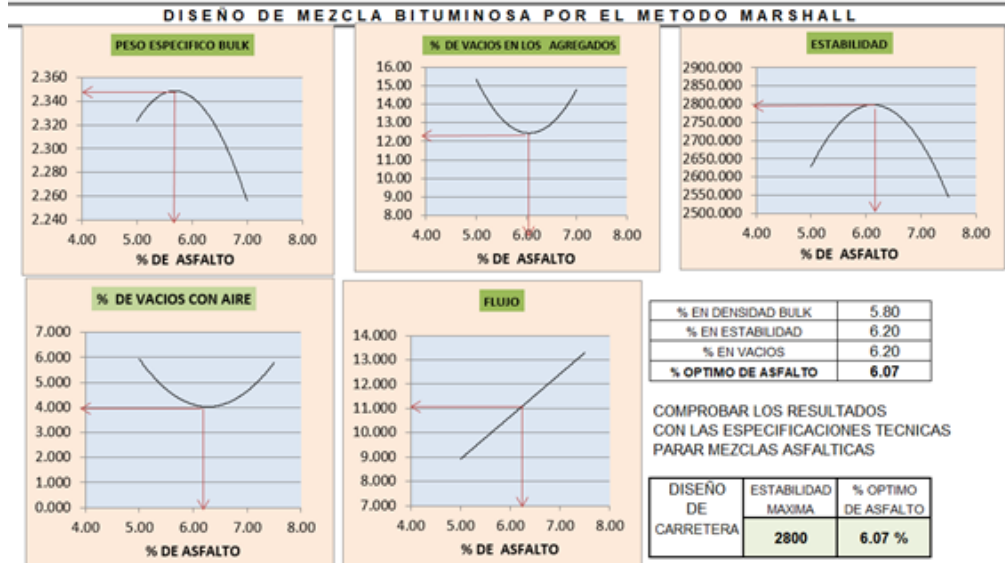
Tenemos entonces que el grado de consistencia del cemento asfáltico es:

Grado del cemento asfalt 60 - 70

LABORATORIO DE SUELOS & PAVIMENTOS

DISEÑO DE MEZCLA BITUMINOSA POR EL METODO MARSHALL																				
PROYECTO: DISEÑO ESTRUCTURAL DE LA VIA LUZ DE AMERICA, TRUNDAHUI Y 12 DE MAYO												Fuente: MUNICIPIO DE MACHALA		Grado del cemento asfáltico: 60 - 70						
Gagr. = 2.522 gr/cm ³ Peso específico de agregados para diseño						G asf. = 1.012 gr/cm ³ Peso específico del cemento asfáltico														
N° de golpes: 75 golpes por cara de briquea						Cortante del anillo: 10.46		Fecha: JULIO DEL 2015												
MEZCLA	% ASF.	ESPESES BRQUETAS (Pulg.)	PESO EN GRAMOS			PESO ESPECIFICO (gr/cm ³)			% ASF. ABSOR.	VOLUMEN % TOTAL			VACIOS EN AGREGADOS MINERALES	% ASFALTO EFECTIVO	PESO UNITARIO Lb/pe ¹	ESTABILIDAD (Lb)		FLUJO 0.01"		
			SECO	SSS	AGUA	BULK	Gmit	Gmm - RICE		AGREGADOS	VACIOS CONARE	ASFALTO EFECTIVO				MECIDA	CORREGIDA	CORREGIDA	MECIDA	
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s	t	
1	5.00		2.580	1249.8	596.22	699	2.243										285.00	2830.69	8.400	210.00
			2.660	1296.34	1302.97	725	2.348										214.00	2578.20	8.640	278.00
PROMEDIO						2.244	2.347	2.398	0.954	84.535	6.390	9.075	15.465	0.906	140.050	273.50	2704.45	8.520	213.00	
2	5.50		2.367	110.78	115.8	652	2.363										208.00	2270.36	9.400	275.00
			2.621	1278.7	1285.73	725	2.280										312.00	3033.62	9.400	275.00
PROMEDIO						2.322	2.331	2.417	1.627	86.988	3.933	9.087	13.028	1.537	144.863	268.00	2701.99	9.400	275.00	
3	6.00		2.591	1251.61	1266.88	714	2.336										285.00	2803.89	11.400	285.00
			2.594	1280.81	1284.89	790.4	2.398										295.00	2908.06	12.400	310.00
PROMEDIO						2.352	2.375	2.448	2.529	87.649	3.935	8.416	12.351	2.377	146.754	278.00	2653.48	11.900	297.50	
4	6.50		2.677	170.24	172.42	735	2.269										268.00	2485.71	12.480	312.00
			2.453	1209.64	1212.33	710	2.438										273.00	2946.11	11.640	296.00
PROMEDIO						2.339	2.299	2.456	3.013	86.652	4.800	8.508	13.308	2.817	145.528	273.50	2705.91	12.160	304.00	
5	7.00		2.773	1383.22	1384.71	752	2.225										320.00	2878.30	11.920	298.00
			2.566	1242.91	1244.71	727.8	2.405										338.00	3192.14	12.960	314.00

LABORATORIO DE SUELOS & PAVIMENTOS



Fuente: Micadi Construcciones S.A

Cantera

Calculo del tráfico Promedio Diario Anual

	LIVIANO	PESADO	EXTRAPEADO
	2001	1142	217
	2528	1092	145
	2161	714	55
TOTAL	6690	2948	55
PROMEDIO	2230	983	132

TRAFICO PROMEDIO DIARIO ANUAL		TRAFICO ASIGNADO			
TPDA=	2230+983+132=	3345			
TRAFICO GENERADO			NUMERO	%	
TG=	0.2*3345=	669	LIVIANOS	2899	0.667
TRAFICO DESARROLLO			PESADO	1277.9	0.294
TD=	0.1*3345=	334.5	EXTRAPESADO	171.6	0.039
TRAFICO ASIGNADO				4348.5	1.000
TA=	669+334.5+3345=	4349			

Tabla 15: Crecimiento Vehicular en la Provincia de El Oro

Tazas de crecimiento vehicular Prov. De El Oro			
Años	Livianos %	Buses	Pesados
2010 - 2015	3.65%	2.55%	1.87%
2015 - 2020	3.18%	2.29%	1.68%
2020 - 2030	2.80%	2.08%	1.53%

Fuente: Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTOB)

PROYECCION A 20 AÑOS EN DOS DIRECCIONES: PROYECCION DE VEH. X 365 DIAS DEL AÑO									
AÑOS	# de orden	TPDA (veh/día) livianos	TPDA (veh/día) BUSES	TPDA (veh/día) PESADO Y EXTRA-PESADOS	TOTAL	VEH - AÑO	LIVIANOS	BUSES	PESADO Y EXTRA
						100.00%	66.67%	14.42%	18.91%
2015	0	2899	627	822	4349	1587202.50	1058135.00	228867.17	300200.33
2016	1	2991	641	836	4469	1631135.62	1087423.74	235202.12	308509.76
2017	2	3086	656	850	4593	1676343.51	1117562.34	241720.88	317060.29
2018	3	3184	671	865	4720	1722864.38	1148576.25	248428.97	325859.15
2019	4	3286	686	879	4851	1770737.59	1180491.73	255332.07	334913.80
2020	5	3390	702	894	4986	1820003.72	1213335.82	262436.01	344231.90
2021	6	3498	718	909	5125	1870704.59	1247136.39	269746.84	353821.36
2022	7	3609	735	924	5268	1922883.28	1281922.19	277270.76	363690.33
2023	8	3724	752	940	5415	1976584.21	1317722.81	285014.19	373847.22
2024	9	3842	769	956	5567	2031853.18	1354568.78	292983.71	384300.68
2025	10	3965	786	972	5723	2088737.35	1392491.56	301186.14	395059.64
2026	11	4091	804	988	5883	2147285.36	1431523.57	309628.49	406133.29
2027	12	4221	823	1004	6048	2207547.33	1471698.22	318317.99	417531.12
2028	13	4355	842	1021	6218	2269574.93	1513049.96	327262.08	429262.90
2029	14	4494	861	1039	6393	2333421.41	1555614.28	336468.44	441338.70
2030	15	4636	881	1056	6573	2399141.65	1599427.77	345944.99	453768.89
2031	16	4784	901	1074	6758	2466792.23	1644528.16	355699.89	466564.19
2032	17	4936	921	1092	6949	2536431.46	1690954.31	365741.54	479735.62
2033	18	5093	943	1110	7146	2608119.45	1738746.30	376078.61	493294.54
2034	19	5255	964	1129	7348	2681918.15	1787945.43	386720.04	507252.68
2035	20	5422	986	1148	7556	2757891.43	1838594.29	397675.03	521622.12

Figura 7: Proyección vehicular para 20 años

Fuente: Propia

Tabla 16: Tipo de Carretera según el volumen del Tráfico

TIPO DE CARRETERA	VOLUMEN DE TRAFICO	VELOCIDAD DE DISEÑO					
		VALOR RECOMENDADO			VALOR ABSOLUTO		
		L	O	M	L	O	M
RI - RII	Más que 8000 TPDA	120	110	90	110	90	80
Clase I	3000 A 8000 TPDA	110	100	80	100	80	70
Clase II	1000 A 3000 TPDA	110	100	80	100	80	60
Clase III	300 A 1000 TPDA	100	80	60	90	70	50
Clase IV	100 A 300 TPDA	90	70	60	80	60	40
Clase V	Menos de 100 TPDA	70	60	50	50	40	40

Fuente: Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTOB)

Cálculo del Diseño Estructural del Pavimento Flexible

TIPO DE VEHICULO	ESQUEMA DE EJES	CANTIDAD	EJES SIMPLES POR VEHICULOS	Nº EJES SIMPLES POR VEHICULOS
Livianos	1.1	2230	2	4460
Pesado	1.1	983	2	1966
Extrapesado	1.4	132	5	660
TOTAL		3345		7086

Ejes Comerciales = 7086 – 4460 = 2626 ejes simples

Tabla 17: Factor de Distribución

Numero de Carriles en Ambas Direcciones	Coefficiente de Distribución
2	50%
4	40 - 50%
6 o más	30 - 40%

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO-93

Ejes livianos diarios por trocha = $0.5 * 4460 = 2230$

Ejes comerciales simples por trocha = $0.5 * 2626 = 1313$

Tabla 18: Tasa de Crecimiento

TIPO DE VEHICULOS	TASA DE CRECIMIENTO
Automóviles	9 %
Vehículos comerciales	7 %

Fuente: Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTOB)

Cálculo Del Número Acumulado De Ejes En Función De La Tasa De Crecimiento

$$N_o \text{ ejes acumulados} = \frac{N^o \text{ actual} * [(1 + i)^{N_o \text{ de años}} - 1]}{i}$$

Ejes livianos

$$N^o \text{ Ejes Acumulados} = \frac{2230 * ((1 + 0.09)^{20} - 1)}{0.09}$$

$$N^o \text{ Ejes Acumulados} = 114087$$

Ejes Comerciales Simples

$$N^o \text{ Ejes Acumulados} = \frac{1313 * ((1 + 0.07)^{20} - 1)}{0.07}$$

$$N^o \text{ Ejes Acumulados} = 53827$$

Cálculo de la pérdida de la Serviciabilidad

SERVICIABILIDAD INICIAL (p _o)	SERVICIABILIDAD FINAL (p _t)
p _o = 4.2 Pavimento Flexible	p _t = 2.5 o más para caminos muy importantes
p _o = 4.5 Pavimento Rígidos	p _t = 2.0 para caminos de menos tránsito

$$\Delta \text{ PSI} = p_o - p_t$$

$$\Delta \text{ PSI} = 4.2 - 2.0$$

$$\Delta \text{ PSI} = 2.2$$

Cálculo del Número Estructural (SN)

Nº DE EJES COMERCIALES

LIVIANO
PESADO
EXTRAPESADO

SN = 3			
EJES SIMPLES (TN)	%	Factor equivalente	53827
< 3.6 ton	0.66666667	0.035010	1256.32
3.6 - 8.5 ton	0.29387145	1.196524	18926.87
8.5 - 13.6 ton	0.03946188	9.145281	19425.63
Livianos	114087	0.0002	22.82
			39631.63
W ₁₈ para el periodo de diseño			14465546.54
			W ₁₈ = 14,47*10 ⁶

SN = 4			
EJES SIMPLES (TN)	%	Factor equivalente	53827
< 3.6 ton	0.66666667	0.032089	1151.51
3.6 - 8.5 ton	0.29387145	1.193014	18871.36
8.5 - 13.6 ton	0.03946188	8.564136	18191.21
Livianos	114087	0.0002	22.82
			38236.89
W ₁₈ para el periodo de diseño			13956466.38
			W ₁₈ = 13,96*10 ⁶

SN = 5			
EJES SIMPLES (TN)	%	Factor equivalente	53827
< 3.6 ton	0.66666667	0.030129	1081.16
3.6 - 8.5 ton	0.29387145	1.200033	18982.38
8.5 - 13.6 ton	0.03946188	8.644906	18362.77
Livianos	114087	0.0002	22.82
			38449.13
W ₁₈ para el periodo de diseño			14033934.03
			W ₁₈ = 14,03*10 ⁶

SN = 6			
EJES SIMPLES (TN)	%	Factor equivalente	53827
< 3.6 ton	0.66666667	0.028208	1012.23
3.6 - 8.5 ton	0.29387145	1.207052	19093.41
8.5 - 13.6 ton	0.03946188	9.079901	19286.75
Livianos	114087	0.0002	22.82
			39415.21
W ₁₈ para el periodo de diseño			14386551.27
			W ₁₈ = 14,39*10 ⁶

Confiabilidad (R) y Desviación Estándar (So)

Clasificación Funcional	Nivel de Confiabilidad , R, recomendado	
	Urbana	Rural
Interestatales y Vías rápidas	85 - 99.9	80 - 99.9
Arterias Principales	80 - 99	75 - 95
Colectoras	80 - 95	75 - 95
Locales	50 - 80	50 - 80

R	Zr	R	Zr
50%	0	75%	-0.674
60%	-0.253	85%	-1.037
70%	-0.524	90%	-1.282
80%	-0.841	95%	-1.645

Condicion de Diseño	Desvio Estándar (So)	
Variación en la predicción del comportamiento del pavimento sin errores de tránsito	0.34	(Pavimentos Rígidos)
	0.44	(Pavimentos Flexibles)
Variación en la predicción del comportamiento del pavimento con errores de tránsito	0.39	(Pavimentos Rígidos)
	0.49	(Pavimentos Flexibles)

Cálculo del Módulo Resiliente de la Subrasante

CURVA DE FRECUENCIA CBR			
Nº	CBR	CALICATAS	%
1	4.72	8	100.00
2	5.31	7	87.50
3	10.6	6	75.00
4	11	5	62.50
5	11.8	4	50.00
6	17.7	3	37.50
7	17.7	2	25.00
8	18.9	1	12.50

NUMERO DE EJES DE 8.2 TONELADAS EN EL CARRIL DE DISEÑO	PERCENTIL A SELECCIONAR PARA DETERMINAR EL CBR DE DISEÑO
$\leq 10^4$	60.0
$10^4 - 10^6$	75.0
$\geq 10^6$	87.5

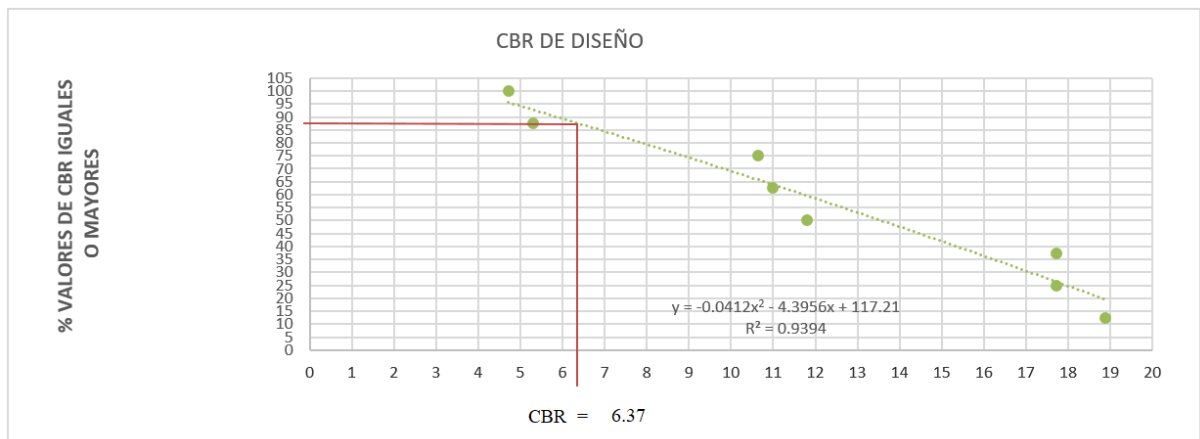


Figura 8: Percentil vs CBR

Fuente: Propia

CBR < 10%	$MR (psi) = 1500 * CBR$
CBR de 10% a 20%	$MR (psi) = 3000 * CBR^{0,65}$
CBR > 20%	$MR (psi) = 4326 * LnCBR + 241$

$$Mr = 1500 * 6.37 = 9555 \text{ Psi}$$

Resumen de los datos obtenidos para encontrar el SN con algunas probabilidades

Confiabilidad	R	=	85 %
Coef. De Student	ZR	=	1.037
Desvió estándar	So	=	0.49
Serviciabilidad inicial	p _o	=	4.20
Serviciabilidad final	p _t	=	2.00
Perdida de Serviciabilidad	ΔPSI	=	2.20
Cap. De soporte	CBR	=	6.37 %
Módulo resiliente	Mr	=	9555 psi
# de cargas de 18 Kips previstas	W ₁₈	=	13956466.38
Número Estructural	SN	=	4.39

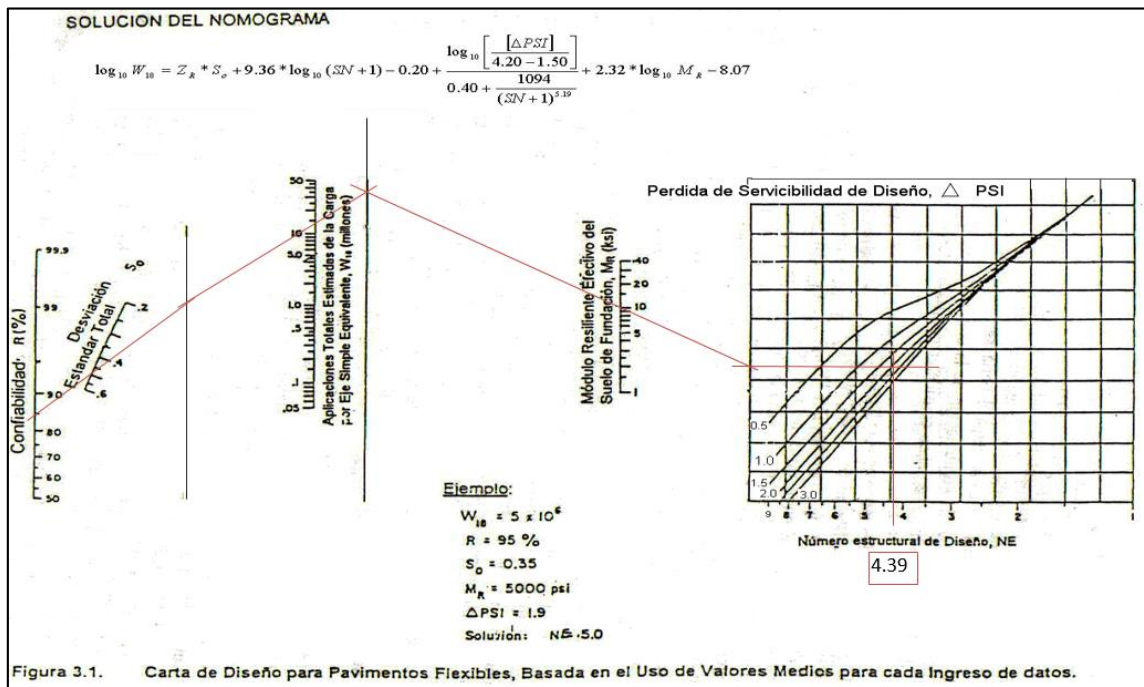


Figura 3.1. Carta de Diseño para Pavimentos Flexibles, Basada en el Uso de Valores Medios para cada Ingreso de datos.

Ecuación AASHTO 93

Tipo de Pavimento: Pavimento flexible Pavimento rígido

Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So): 85 % Z_R=-1.037 So 0.49

Serviciabilidad inicial y final: PSI inicial 4.2 PSI final 2

Módulo resiliente de la subrasante: Mr 9555 psi

Información adicional para pavimentos rígidos:

Módulo de elasticidad del concreto - E_c (psi) Coeficiente de transmisión de carga - (J)

Módulo de rotura del concreto - S_c (psi) Coeficiente de drenaje - (Cd)

Tipo de Análisis: Calcular SN W₁₈ = 14030000 Calcular W₁₈

Número Estructural: SN = 4.39

3	$W_{18} = 14,47*10^6$
4	$W_{18} = 13,96*10^6$
5	$W_{18} = 14,03*10^6$
6	$W_{18} = 14,39*10^6$

Confiabilidad	NUMERO ESTRUCTURAL ASUMIDO			
	SN = 3	SN = 4	SN = 5	SN = 6
80 %	4.28	4.26	4.26	4.27
85 %	4.41	4.39	4.39	4.41
90 %	4.58	4.56	4.56	4.58
95 %	4.85	4.82	4.83	4.84

Cálculo Del Coeficiente De Drenaje De La Sub – Base (m3)

Pendiente Longitudinal: $S = 5\% = 0.05$ (Representativa de la vía)

Pendiente Transversal: $S_x = 2\% = 0.02$ (Bombeo de la vía)

Espesor de la Capa Drenante: $H = 0.50m$ (Asumimos el espesor de la sub-base)

Ancho de la Sub-base permeable: $W = 3.65m$ (Ancho total de la vía 7.30 m)

Parámetros a Considerar

LONGITUD RESULTANTE DE LA SUB BASE: PENDIENTE RESULTANTE DE LA SUB BASE:

$$LR = W \left[\left(\frac{S}{S_x} \right)^2 + 1 \right]^{0.5} \quad SR = (S^2 + S_x^2)^{0.5}$$

$$LR = 3.65 \left[\left(\frac{0.05}{0.02} \right)^2 + 1 \right]^{0.5} \quad SR = (0.05^2 + 0.02^2)^{0.5}$$

$$LR = 9.83 \text{ m}$$

$$SR = 0.054$$

FACTOR DE PENDIENTE:

$$St = \frac{LR * SR}{H}$$

$$St = \frac{9.83 * 0.054}{0.50}$$

$$St = 1.06$$

Con $St=1.06$ obtenemos el factor de tiempo T_{50} en el siguiente ábaco:

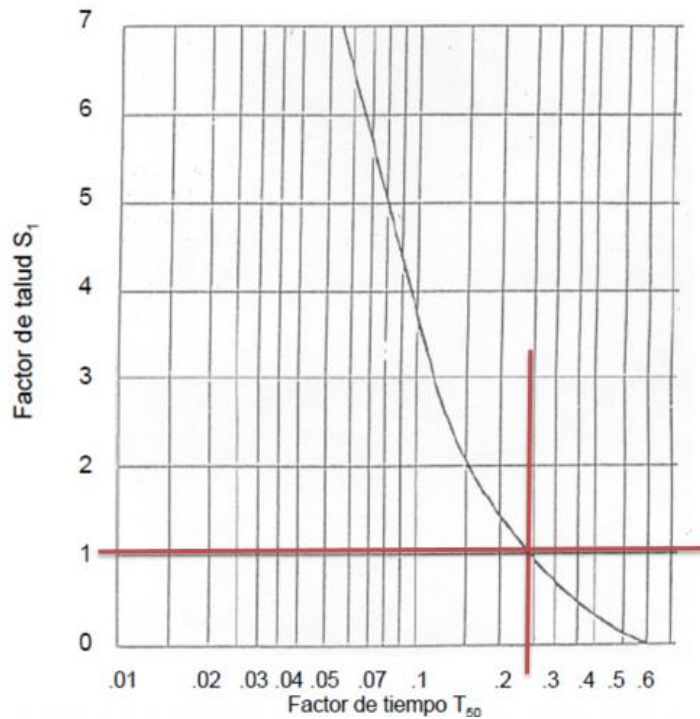


Figura 9: Factor de tiempo de drenaje al 50%

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO-93

Teniendo así un valor del Factor Tiempo (T_{50}) = 0.24

Cálculo de las Propiedades Drenante de la Sub-base

LIMITE LIQUIDO	(LL)	23.70
LIMITE PLASTICO	(LP)	19.21
INDICE PLASTICO	(IP)	4.49
INDICE DE GRUPO	(IG)	2.00
MAT. PASANTE DEL #200		13.72
D10		0.25
COEF. DE CURVATURA	(CC)	0.53
COEF. DE UNIFORMIDAD	(CU)	87.0
GRAVEDAD ESPECIFICA DE LOS SOLIDOS	(Gs)	2.561 gr/cm^3
DENSIDAD MAXIMA		2167 Kg/m^3
HUMEDAD OPTIMA		8.40
CBR DEL ENSAYO AL 100%	(CBR)	67.58
PESO DEL SUELO SECO	(Ws)	4897 gr/cm^3
VOLUMEN DE LA MUESTRA	(Wm)	2684 cm^3

Figura 10: Características del material de Sub-base

Fuente: Propia

VOLUMEN DE VACÍOS:

$$V_v = V_t - V_s$$

$$V_v = 2684 \text{ cm}^3 - 1912 \text{ cm}^3$$

$$V_v = 771.86 \text{ cm}^3$$

VOLUMEN DE LOS SÓLIDOS:

$$V_s = \frac{W_s}{G_s}$$

$$V_s = \frac{4897}{2.561}$$

$$V_s = 1912.14 \text{ cm}^3$$

$$V_s = 0.71 \%$$

POROSIDAD EFECTIVA MÁXIMA:

$$n = \frac{V_v}{V_t}$$

$$n = \frac{772}{2684}$$

$$n = 0.288 = Ne \text{ máx.}$$

CANTIDAD DE AGUA QUE PUEDE DRENAR POR GRAVEDAD. CANTIDAD DE FINOS									
MATERIAL PREDOM.	< 2.5 %			5%			10%		
	Tipos de finos			Tipos de finos			Tipos de finos		
	Filler	Limo	Arcilla	Filler	Limo	Arcilla	Filler	Limo	Arcilla
Grava	70	60	40	60	40	20	40	30	10
Arena	57	50	35	50	35	15	25	18	8

Figura 11: Coeficiente de Pérdida de Agua

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO-93

Coeficiente de Pérdida De Agua (C) es 10

Cálculo de la Porosidad Efectiva (Ne)

$$Ne = \frac{Ne \text{ máx} * C}{100}$$

$$Ne = \frac{0.29 * 10}{100}$$

$$Ne = 0.0288$$

Calculo del coeficiente de Permeabilidad (K)

$$K = \frac{6.214 * 10^5 * D_{10}^{1.478} * n^{6.654}}{F_{200}^{0.597}} = \frac{\text{pies}}{\text{días}}$$

Donde:

CALCULO DEL VOLUMEN REMANENTE:

$$VR = Ne \text{ máx} - Ne * U$$

$$VR = 0.29 - 0.01667946$$

$$VR = 0.270897$$

CÁLCULO DEL GRADO DE SATURACIÓN (S)

U	t	T ₅₀	Ne * U	VR = Ne max - Ne * U	S = (Vv - Ne * U)/Ne máx * 100
0.58	2 horas	0.24	0.0167	0.271	94.20

$$S = \frac{0.271}{0.288}$$

$$S = 94 \%$$

Queremos que la capa drene al: 85.00 % DE SATURACIÓN

$$t = 1.60 \text{ horas} \quad 94 \%$$

$$t = ? = 1.44 \text{ horas} \quad 85 \%$$

CALIDAD DE DRENAJE	50% DE SATURACIÓN EN:	85% DE SATURACIÓN EN:
Excelente	2 horas	2 horas
Bueno	1 día	2 a 5 horas
Regular	1 semana	5 a 10 horas
Pobre	1 mes	Mas de 10 horas
Muy Pobre	El agua no dreña	Mucho más de 10 horas

Calculamos el porcentaje tiempo que el pavimento permanece en saturación

$$P = (S + R) \frac{100}{365}$$

DONDE:

S = días de deshielo en primavera

R = días de lluvia al año

R = por ser el tiempo "t" MAYOR a 24 horas = 60 días * días

R = 60 * 0.07 días

R = 4.00 días

En este caso no multiplicamos por (t) porque el tiempo de drenaje es menor a 24 horas

$$P = 60.00 * \frac{100}{365}$$

$$P = 16.44 \%$$

CALIDAD DE DRENAJE	% DE TIEMPO EN QUE EL PAVIMENTO ESTA EXPUESTO A NIVLES DE HUMEDAD PRÓXIMOS A LA SATURACION			
	< 1%	1 - 5 %	5 - 25 %	> 25 %
Excelente	1.40 - 1.35	1.35 - 1.30	1.30 - 1.20	1.20
Bueno	1.35 - 1.25	1.25 - 1.15	1.15 - 1.00	1.00
Regular	1.25 - 1.15	1.15 - 1.05	1.00 - 0.80	0.80
Pobre	1.15 - 1.05	1.05 - 0.80	0.80 - 0.60	0.60
Muy Pobre	1.05 - 0.95	0.95 - 0.75	0.75 - 0.40	0.40

$$m_3 = 1.20$$

Cálculo Del Coeficiente De Drenaje De La Base (m2)

Pendiente Longitudinal: $S = 5\% = 0.05$ (Representativa de la vía)

Pendiente Transversal: $S_x = 2\% = 0.02$ (Bombeo de la vía)

Espesor de la Capa Drenante: $H = 0.20m$ (Asumimos el espesor de la sub-base)

Ancho de la Sub-base permeable: $W = 3.65m$ (Ancho total de la vía 7.30 m)

Parámetros a Considerar

LONGITUD RESULTANTE DE LA BASE:

$$LR = W \left[\left(\frac{S}{S_x} \right)^2 + 1 \right]^{0.5}$$

$$LR = 3.65 \left[\left(\frac{0.05}{0.02} \right)^2 + 1 \right]^{0.5}$$

$$LR = 9.83 \text{ m}$$

PENDIENTE RESULTANTE DE LA BASE:

$$SR = (S^2 + S_x^2)^{0.5}$$

$$SR = (0.05^2 + 0.02^2)^{0.5}$$

$$SR = 0.054$$

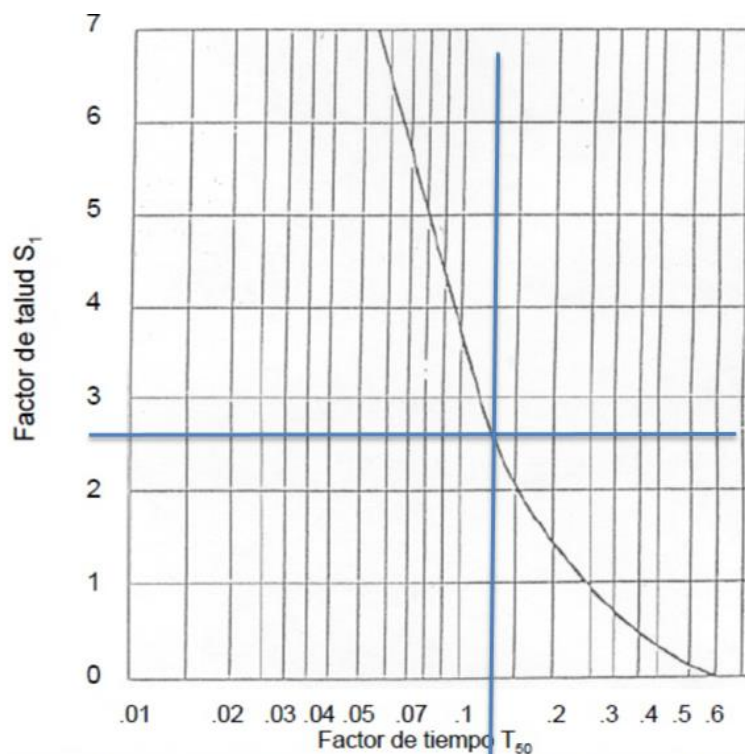
FACTOR DE PENDIENTE:

$$St = \frac{LR * SR}{H}$$

$$St = \frac{9.83 * 0.054}{0.20}$$

$$St = 2.65$$

Con $St=2.65$ obtenemos el factor de tiempo T_{50} en el siguiente ábaco:



Teniendo así un valor del Factor Tiempo (T_{50}) = 0.13

Cálculo de las Propiedades Drenante de la Sub-base

LIMITE LIQUIDO	(LL)	18.60
LIMITE PLASTICO	(LP)	15.73
INDICE PLASTICO	(IP)	2.87
INDICE DE GRUPO	(IG)	0.00
MAT. PASANTE DEL #200		5.97
D10		0.37
COEF. DE CURVATURA	(CC)	4.68
COEF. DE UNIFORMIDAD	(CU)	69.23
GRAVEDAD ESPECIFICA DE LOS SOLIDOS	(Gs)	2.251 gr/cm ³
DENSIDA MAXIMA		2210 kg/m ³
HUMEDAD OPTIMA		7.00
CBR DEL ENSAYO AL 100%	(CBR)	81.60
PESO DEL SUELO SECO	(Ws)	4876 gr/cm ³
VOLUMEN DE LA MUESTRA	(Wm)	2667 cm ³

Figura 13: Características del material Sub-base

Fuente: Propia

VOLUMEN DE LOS SÓLIDOS:

$$V_s = \frac{W_s}{G_s}$$

$$V_s = \frac{4876.00}{2.25100}$$

$$V_s = 2166 \text{ cm}^3$$

$$V_s = 0.81 \%$$

VOLUMEN DE VACÍOS:

$$V_v = V_t - V_s$$

$$V_v = 2667 \text{ cm}^3 - 2166 \text{ cm}^3$$

$$V_v = 501 \text{ cm}^3$$

POROSIDAD EFECTIVA MÁXIMA:

$$n = \frac{V_v}{V_t}$$

$$n = \frac{501}{2667}$$

$$n = 0.19 = n_{\text{máx.}}$$

CANTIDAD DE AGUA QUE PUEDE DRENAR POR GRAVEDAD. CANTIDAD DE FINOS									
MATERIAL PREDOM.	< 2.5 %			5%			10%		
	Tipos de finos			Tipos de finos			Tipos de finos		
	Filler	Limo	Arcilla	Filler	Limo	Arcilla	Filler	Limo	Arcilla
Grava	70	60	40	60	40	20	40	30	10
Arena	57	50	35	50	35	15	25	18	8

Coefficiente de Perdida De Agua (C) es 10

Cálculo de la Porosidad Efectiva (n_e)

$$n_e = \frac{n_{\text{máx.}} * C}{100}$$

$$n_e = \frac{0.19 * 10}{100}$$

$$n_e = 0.0188$$

Calculo del coeficiente de Permeabilidad (K)

$$K = \frac{6.214 * 10^{-5} * D_{10}^{1.478} * n^{6.654}}{F_{200}^{0.597}} = \frac{\text{pies}}{\text{días}}$$

Donde:

K	=	Coefficiente de permeabilidad	=	
D_{10}	=	Tamaño efectivo de las partículas	=	0.370
n	=	Porosidad efectiva máxima	=	0.19
F_{200}	=	% Pasante del tamiz # 200	=	5.97

$$K = \frac{6.214 * 10^5 * 0.370^{1.478} * 0.19^{6.654}}{0.060^{0.597}} = \text{pies / dias}$$

$$K = 11.299 \quad 1 \text{ pie} = 0.3048 \text{ m}$$

$$K = 3.44 \text{ m/dias}$$

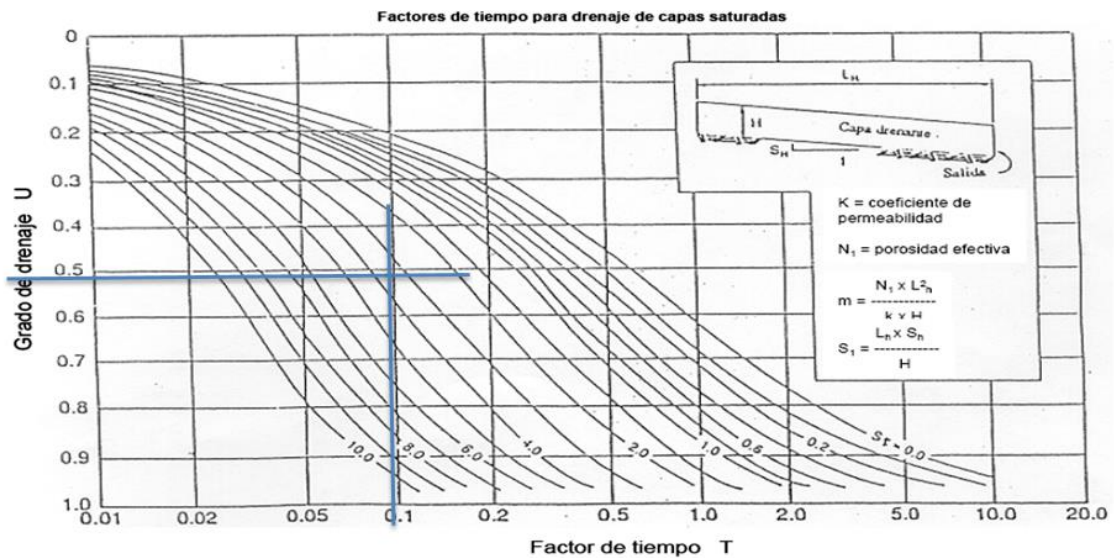
CÁLCULO DE LA PENDIENTE DE DRENAJE

$$m = \frac{N_e * LR^2}{H * K}$$

$$m = \frac{0.0188 * 9.83^2}{0.20 * 3.44}$$

$$m = 2.63$$

Calculamos el grado de Drenaje (U) con el ábaco:



CÁLCULO DEL TIEMPO DE DRENAJE

$$t = m * T_{50} * 24 \text{ horas}$$

$$t = 2.63 * 0.130 * 24 \text{ horas}$$

$$t = 8.22 \text{ horas} = 0.34 \text{ días}$$

CALCULO DEL AGUA DRENANTE:

$$V = N_e * U$$

$$V = 0.019 * 0.52$$

$$V = 0.0097$$

CALCULO DEL VOLUMEN REMANENTE:

$$VR = N_e \text{ máx} - N_e * U$$

$$VR = 0.19 - 0.00967149$$

$$VR = 0.178124$$

CÁLCULO DEL GRADO DE SATURACIÓN (S)

U	t	T ₅₀	N _e * U	VR = N _e max - N _e * U	S = (Vv - N _e * U) / N _e máx * 100
0.52	8 horas	0.13	0.0097	0.178	94.85

$$S = \frac{0.178}{0.188}$$

$$S = 94.85 \%$$

Queremos que la capa drene al: 85.00 % DE SATURACIÓN

$$\begin{array}{rcl}
 t & = & 8.22 \text{ horas} & & 94.85 \% \\
 t & = & ? & = & 7.36 \text{ horas} & & 85 \%
 \end{array}$$

CALIDAD DE DRENAJE	50% DE SATURACIÓN EN:	85% DE SATURACIÓN EN:
Excelente	2 horas	2 horas
Bueno	1 día	2 a 5 horas
Regular	1 semana	5 a 10 horas
Pobre	1 mes	Mas de 10 horas
Muy Pobre	El agua no dreña	Mucho más de 10 horas

Calculamos el porcentaje tiempo que el pavimento permanece en saturación

$$P = (S + R) \frac{100}{365}$$

DONDE:

S = días de deshielo en primavera

R = días de lluvia al año

$$P = R * \frac{100}{365}$$

$$R = \text{por ser el tiempo "t" MAYOR a 24 horas} = 60 \text{ días} * \text{días}$$

$$R = 60 * 0.34 \text{ días}$$

$$R = 20.54 \text{ días}$$

En este caso no multiplicamos por (t) porque el tiempo de drenaje es menor a 24 horas

$$P = 20.54 * \frac{100}{365}$$

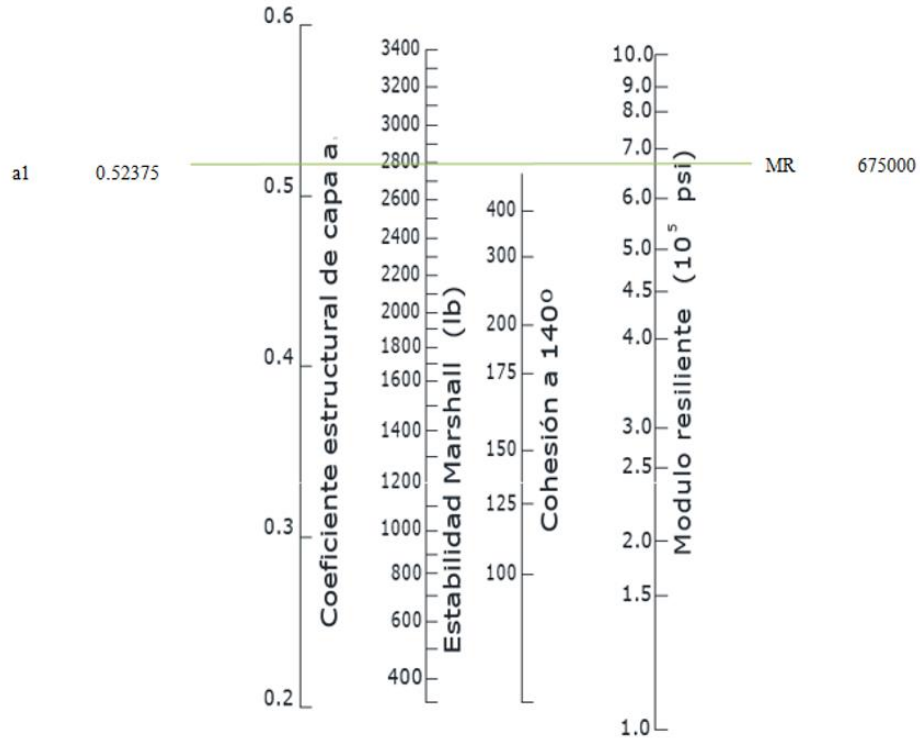
$$P = 16.44 \%$$

CALIDAD DE DRENAJE	% DE TIEMPO EN QUE EL PAVIMENTO ESTA EXPUESTO A NIVLES DE HUMEDAD PRÓXIMOS A LA SATURACION			
	< 1%	1 - 5 %	5 - 25 %	> 25 %
Excelente	1.40 - 1.35	1.35 - 1.30	1.30 - 1.20	1.20
Bueno	1.35 - 1.25	1.25 - 1.15	1.15 - 1.00	1.00
Regular	1.25 - 1.15	1.15 - 1.05	1.00 - 0.80	0.80
Pobre	1.15 - 1.05	1.05 - 0.80	0.80 - 0.60	0.60
Muy Pobre	1.05 - 0.95	0.95 - 0.75	0.75 - 0.40	0.40

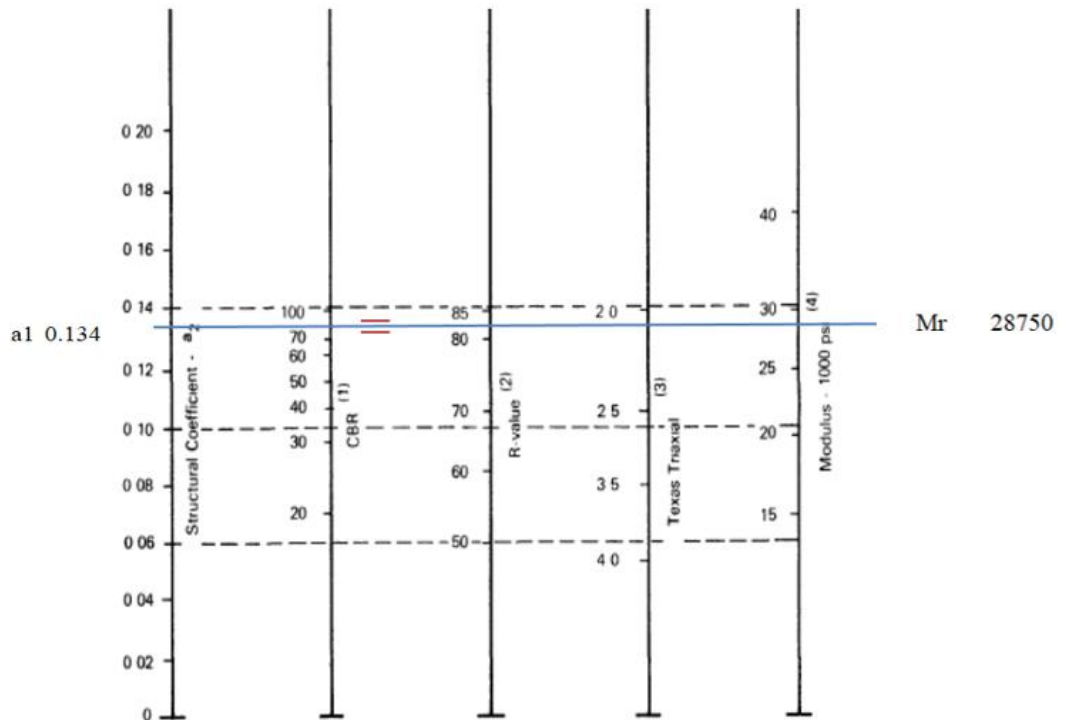
$$m_2 = 0.80$$

Determinamos los módulos resilientes y coeficientes estructurales

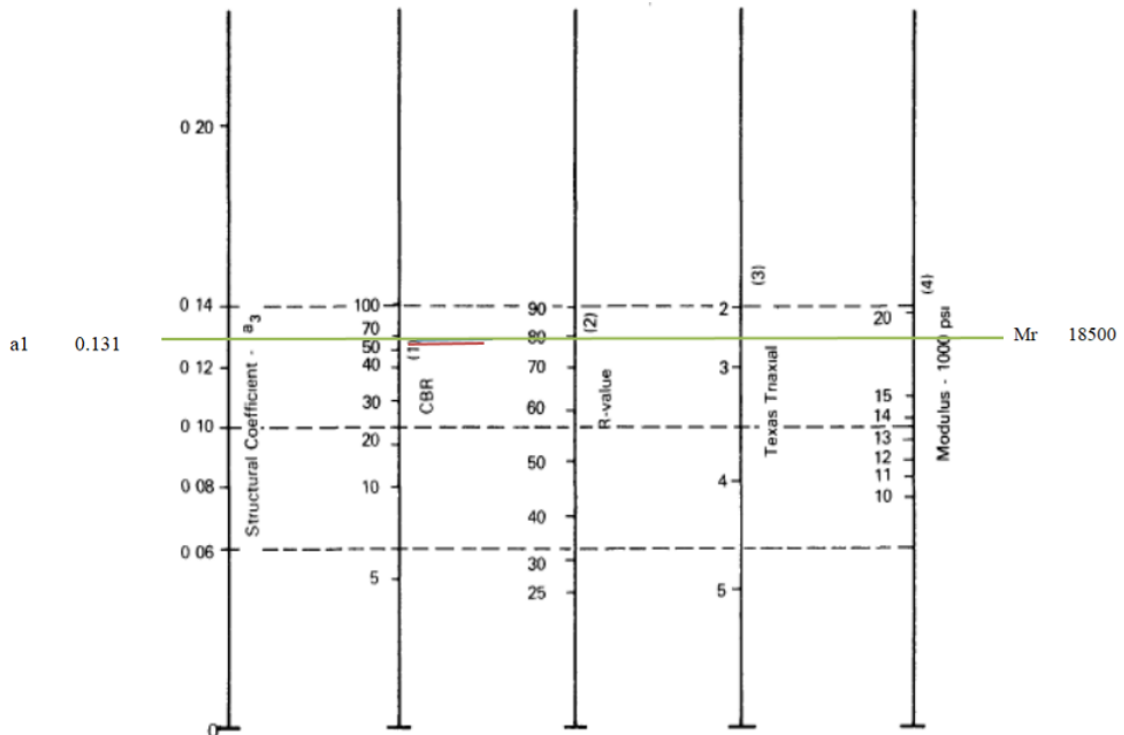
- Capa de Rodadura



- Base



- Sub-base



Calculamos los Números estructurales de cada capa

- Capa de Rodadura

Para capa de Rodadura		Marshall
Carpeta Asfáltica	Estabilidad	2800
Coef. Estructural	a_1 (pulg. ⁻¹)	0.524
Módulo Resiliente	Mr	675000
Número Estructural	SN_1	3.02

Ecuación AASHTO 93

Tipo de Pavimento:
 Pavimento flexible Pavimento rígido

Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So):
 85 % $Z_r = -1.037$ $S_o = 0.49$

Serviciabilidad inicial y final:
 PSI inicial PSI final

Módulo resiliente de la subrasante:
 Mr psi

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

Tipo de Análisis:
 Calcular SN $W18 = 13960000$
 Calcular W18

Número Estructural:
 SN =

- Base

CBR		81.6 %
Limite Liquido		menor de 25%
Indice de Plasticidad		NP o menor de 6%
Desgaste de los Angeles		menor de 40%
Coef. Estructural	a_2 (pulg. ⁻¹)	0.134
Coef. de Drenaje	m_2	0.8
Módulo Resiliente	M_r	28750
Número Estructural	SN_2	3.52

Ecuación AASHTO 93

Tipo de Pavimento
 Pavimento flexible Pavimento rígido

Confianza (R) y Desviación estándar (So)
 85 % $Z_r = -1.037$ So 0.49

Serviciabilidad inicial y final
 PSI inicial 4.2 PSI final 2

Módulo resiliente de la subrasante
 M_r 18500 psi

Información adicional para pavimentos rígidos

Módulo de elasticidad del concreto - E_c (psi) Coeficiente de transmisión de carga - (J)
 Módulo de rotura del concreto - S_c (psi) Coeficiente de drenaje - (Cd)

Tipo de Análisis
 Calcular SN $W_{18} =$ 13960000 Calcular W_{18}

Número Estructural
 $SN =$ 3.52

- Sub-base

CBR		67.6 %
Limite Liquido		menor de 25%
Indice de Plasticidad		NP o menor de 6%
Desgaste de los Angeles		menor de 40%
Coef. Estructural	a_3 (pulg. ⁻¹)	0.131
Coef. de Drenaje	m_3	1.2
Módulo Resiliente	M_r	18500
Número Estructural	SN_3	4.39

Ecuación AASHTO 93

Tipo de Pavimento
 Pavimento flexible Pavimento rígido

Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)
 85 % Zr=-1.037 So 0.49

Serviciabilidad inicial y final
 PSI inicial 4.2 PSI final 2

Módulo resiliente de la subrasante
 Mr 9555 psi

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

Tipo de Análisis
 Calcular SN Calcular W18

Número Estructural
 SN = 4.39

W18 = 13960000

Calcular Salir

Cálculo de los Espesores

Modulo Resiliente	Número Estructural	Coefficiente Estructural	Coefficiente Drenaje
Estabilidad Marshall = 2800	SN ₁ = 3.02	Capa de Rod. a ₁ = 0.524	Capa de Rod. m ₁ = 1
Mr (Base) = 28750	SN ₂ = 3.52	Base a ₂ = 0.134	Base m ₂ = 0.8
Mr (Sub-base) = 18500	SN ₃ = 4.39	Sub Base a ₃ = 0.131	Sub Base m ₃ = 1.2
Mr (Subrasante) = 9555	SN = 4.39	Sub Rasante	

Cálculo del espesor de la capa asfáltica

$$D_1 \geq \frac{SN_1}{a_1} \rightarrow D_1 \geq \frac{3.02}{0.524} \rightarrow D_1 = 5.80 \text{ in}$$

Se asume un D1 de 4 in

$$SN_1 = a_1 * D_1 \rightarrow SN_1 = 0.524 * 4 \rightarrow SN_1 = 2.10$$

Calculo del espesor de la Base granular

$$D_2 \geq \frac{SN_2 - SN_1}{a_2 * m_2} \rightarrow D_2 \geq \frac{3.52 - 2.10}{0.8 * 0.134} \rightarrow D_2 = 13.29 \text{ in}$$

Se asume un D2 de 8 in

$$SN_2 = a_2 * D_2 * m_2 \rightarrow SN_2 = 0.134 * 8 * 0.8 \rightarrow SN_2 = 0.86$$

Calculo del espesor de la Su-base granular

$$D_3 \geq \frac{SN_3 - (SN_2 + SN_1)}{a_3 * m_3} \rightarrow D_3 \geq \frac{4.39 - (0.86 + 2.10)}{0.131 * 1.2} \rightarrow D_3 = 9.1 \text{ in}$$

Se asume un D3 de 20 in

$$SN_3 = a_3 * D_3 * m_3 \rightarrow SN_3 = 0.131 * 20 * 1.2 \rightarrow SN_3 = 3.14$$

Sumatoria para comprobar el SN calculado

$$SN_{calculado} = SN_1 + SN_2 + SN_3 \geq SN_{requerido}$$

$$SN_{calculado} = 2.10 + 0.86 + 3.14 \geq 6.10$$

$$SN_{calculado} = 6.10 \geq 4.39 \text{ (ok)}$$

Los espesores de las diferentes capas de la estructura del pavimento flexible son:

CAPA DE RODADURA	=	D ₁	=	4 pulg.	=	10.16 cm	10.00 cm
BASE GRANULAR CLASE II	=	D ₂	=	8 pulg.	=	20.32 cm	20.00 cm
SUB BASE GRANULAR CLASE II	=	D ₃	=	20.0 pulg.	=	50.80 cm	50.00 cm
TOTAL PAQUETE ESTRUCTURAL				32.0 pulg.	=	81.28 cm	80.00 cm