

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



**HERRAMIENTA PARA EL CÁLCULO DE ESPESORES DE
PAVIMENTOS FLEXIBLE SEGÚN MÉTODO AASHTO 93 Y
PAVIMENTO RÍGIDO SEGÚN SUPLEMENTO AASHTO 98**

PRESENTADO POR:

CRISTINA MARIA CORTEZ ALFARO

PARA OPTAR AL TITULO DE:

INGENIERA CIVIL

CIUDAD UNIVERSITARIA, NOVIEMBRE DE 2020

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR :

MSC. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO

SECRETARIO GENERAL:

ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DECANO :

Ph.D. EDGAR ARMANDO PEÑA FIGUEROA

SECRETARIO :

ING. JULIO ALBERTO PORTILLO

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

DIRECTOR :

ING. ANÍBAL RODOLFO ORTIZ

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

INGENIERA CIVIL

Título :

**HERRAMIENTA PARA EL CÁLCULO DE ESPESORES DE
PAVIMENTOS FLEXIBLE SEGÚN MÉTODO AASHTO 93 Y
PAVIMENTO RÍGIDO SEGÚN SUPLEMENTO AASHTO 98**

Presentado por :

CRISTINA MARIA CORTEZ ALFARO

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor :

ING. DILBER ANTONIO SÁNCHEZ VIDES

San Salvador, Noviembre de 2020

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor :

ING. DILBER ANTONIO SÁNCHEZ VIDES

AGRADECIMIENTOS

A Dios todopoderoso y María Santísima, por darme la fortaleza cada día para salir adelante, a pesar de las dificultades que encontramos en nuestro caminar hacia la superación; gracias por permitirme culminar uno de mis más grandes sueños, gracias por la vida, gracias por tu amor, a ustedes les debo todo, todo proviene de ti, haznos estar agradecidos y bendecidos siempre.

A mi asesor Ing. Dilber Antonio Sánchez Vides, quiero expresar mis profundos agradecimientos, por su guía, paciencia, dedicación, y comprensión en la realización satisfactoria de este trabajo de graduación. Por qué, él fue quien emprendió la idea de la realización de este programa, como pioneros en la escuela de Ingeniería Civil y como ejemplo para otras universidades.

Al Ing. José Ranulfo Cárcamo y Cárcamo, por su consideración al darme permiso de salir unos minutos antes de la clase para ir a trabajar en la última materia para egresar.

A mi amigo Ing. Miguel Josué Tobías, quien fue la mente maestra en el desarrollo de este programa, por su empeño, esfuerzo y paciencia.

DEDICATORIA

A mi Padre Celestial, Todo poderoso y a mi Madre María Santísima Por darme vida, salud, fortaleza y sabiduría para afrontar los obstáculos que se me presentaron, y ahora para culminar mis estudios universitarios. Les dedico este momento tan especial en mi vida y me pongo a sus pies por qué, sé que puedo contar con ustedes siempre.

Dedico este trabajo a mis padres, Alexander Antonio Cortez, por los consejos que siempre me dio y por apoyarme siempre y Ana Cristina Alfaro de Cortez, mi amiga quien de pequeña me ha formado con los valores y virtudes para ser mejor persona, quien me ha corregido y dado todo su amor y sacrificio incansable por todos sus hijos, ella es quien me inspira a seguir!

También lo dedico a mis hermanos, Noé Alexander Cortez, Jenny Beatriz Cortez y Sarahi Alejandra Cortez, quienes me han animado y apoyado siempre.

A mis tíos/as, primos/as que han sido ejemplo para mí, y que han estado cerca de mí siempre.

A mi mejor amigo y consejero, Josué Tobías, una de las personas que ha sido ejemplo de superación para mí, quien me conoce y hemos pasado momentos duros, pero también momentos de felicidad, gracias infinitas por todo su apoyo a lo largo de esta carrera.

INDICE

INTRODUCCION	1
CAPITULO I: GENERALIDADES.....	3
1.1 ANTECEDENTES.....	4
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	14
1.3 OBJETIVOS.....	15
1.3.1 OBJETIVO GENERAL.....	15
1.3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	15
1.4 ALCANCES.....	16
1.5 LIMITACIONES.....	17
1.6 JUSTIFICACION.....	18
2.1 INTRODUCCION.....	20
2.2 GENERALIDADES DE LOS PAVIMENTOS.....	21
2.3 TIPOS DE PAVIMENTOS.....	22
2.4 PAVIMENTOS FLEXIBLES	28
2.5 CLASIFICACION DE LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES.....	30
2.5.1 MEZCLA ASFALTICA EN FRIO.....	30
2.5.2 MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE	31
2.5.3 TRATAMIENTO SUPERFICIAL	31
2.5.4 MACADAM ASFALTICO	33
2.6 COMPONENTE ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE.	33
2.6.1 SUBRASANTE	34
2.6.2 SUBBASE	36
2.6.3 BASE.....	39
2.6.3.1 TIPOS DE BASE	40
2.6.3.2 PRODUCTOS ESTABILIZADORES.....	43
2.6.3.3 OTROS PRODUCTOS ESTABILIZADORES.....	50
2.6.4 SUPERFICIE DE RODADURA	51
2.6.4.1 MEZCLA ASFÁLTICA EN FRÍO.....	53

2.6.4.2	MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE	54
2.6.4.3	RIEGOS ASFALTICOS	58
2.6.5	VENTAJAS DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE	60
2.6.6	DESVENTAJAS DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE	60
2.7	PAVIMENTOS RIGIDOS	61
2.8	COMPONENTE ESTRUCTURAL DE UN PAVIMENTO RIGIDO	63
2.8.1	SUBRASANTE	63
2.8.2	SUBBASE	65
2.8.3	CAPA DE RODAMIENTO	67
2.9	TIPOS DE PAVIMENTOS RIGIDOS.....	70
2.9.1	VENTAJAS DE LOS PAVIMENTOS RIGIDOS.....	71
2.9.2	DESVENTAJAS DE LOS PAVIMENTOS RIGIDOS	74
3.1	INTRODUCCION	76
3.2	PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LOS SUELOS PARA SUBRASANTE.....	77
3.3	CLASIFICACION DE LOS SUELOS.....	78
3.4	RELACION ENTRE HUMEDAD Y DENSIDAD.....	79
3.5	ENSAYOS DE RESISTENCIA PARA SUELOS DE SUBRASANTE	80
3.5.1	VALOR SOPORTE CALIFORNIA CBR (AASHTO T-193)	80
3.5.2	VALOR DE RESISTENCIA HVEEM, VALOR R (AASHTO T-246).....	81
3.5.3	ENSAYO DE PLATO DE CARGA, VALOR K (AASHTO T-222)	82
3.5.5	ENSAYO MODULO DE RESILIENCIA Mr (AASHTO T-294)	85
3.5.5.1	DATOS A REGISTRAR DEL ENSAYO	87
3.5.5.2	EQUIPO PARA HACER EL ENSAYO.....	88
3.6	CAMPAÑA GEOTECNICA.....	91
3.7	OBJETIVOS DE LA CAMPAÑA GEOTÉCNICA	91
3.8	PLANEAMIENTO DE UN PROGRAMA DE EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO	92
3.8.1	RECOPILACIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN DISPONIBLE..	92

3.8.2 RECONOCIMIENTO	93
3.8.3 INVESTIGACION EXPLORATIVA	95
3.9 ANALISIS DE TRANSITO.....	98
3.10 CONSIDERACIONES PARA EL VOLUMEN DEL TRANSITO	99
3.11 CONSIDERACIONES PARA EL CÁLCULO DE EJES EQUIVALENTES	101
3.12 DETERMINACIÓN Y CÁLCULO DE EJES EQUIVALENTES DE DISEÑO	108
3.13 FACTOR DE DISTRIBUCION POR DIRECCION.....	109
3.14 FACTOR DE DISTRIBUCIÓN POR CARRIL.....	110
4.1 INTRODUCCION	112
4.2 PAVIMENTOS FLEXIBLES	113
4.3 VARIABLES A CONSIDERAR EN FUNCIÓN DEL TIEMPO	113
4.4 VARIABLES EN FUNCIÓN DEL TRÁNSITO.....	114
4.5 CONFIABILIDAD.....	115
4.6 CRITERIOS PARA DETERMINAR LA SERVICIABILIDAD.....	115
4.7 PROPIEDADES DE LOS MATERIALES	116
4.8 DRENAJES.....	116
4.8.1 EFECTOS DEL AGUA SOBRE EL PAVIMENTO	117
4.8.2 SOLUCIONES A LOS PROBLEMAS DE HUMEDAD EN PAVIMENTOS	118
4.8.3 COEFICIENTE DE DRENAJE AASHTO 93.....	120
4.8.4 ANÁLISIS DE DRENAJE.....	120
4.8.5 CONSIDERACIONES DE DRENAJE EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS.....	122
4.8.6 SELECCIÓN DEL COEFICIENTE.....	124
4.8.7 PORCENTAJE DE TIEMPO EN QUE EL PAVIMENTO ESTÁ EXPUESTO A NIVELES DE HUMEDAD PRÓXIMOS A LA SATURACIÓN.	125
4.9 DETERMINACIÓN DE ESPESORES.....	126
4.10 DETERMINACIÓN DEL NÚMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO	127

4.11	ESPEORES MÍNIMOS EN FUNCIÓN DEL NÚMERO ESTRUCTURAL	128
4.12	PAVIMENTOS RIGIDOS	143
4.13	VARIABLES A CONSIDERAR EN FUNCIÓN DEL TIEMPO.....	144
4.14	VARIABLES EN FUNCIÓN DEL TRÁNSITO.....	144
4.15	CONFIABILIDAD	144
4.16	SERVICIABILIDAD	144
4.17	DESVIACIÓN NORMAL ESTÁNDAR Z R	145
4.18	DESVIACIÓN ESTÁNDAR S_o	146
4.19	ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD Δ PSI	146
4.20	COEFICIENTE DE DRENAJE	146
4.21	TRANSFERENCIA DE CARGAS.....	147
4.22	COEFICIENTE DE TRANSMISIÓN DE CARGA	149
4.23	MÓDULO DE REACCIÓN DE LA SUBRASANTE (K)	151
4.24	MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO E_c	152
4.25	MÓDULO DE ROTURA DEL CONCRETO.....	153
4.26	FACTOR DE PÉRDIDA DE SOPORTE L_s	154
5.1	CONCLUSIONES	161
5.2	RECOMENDACIONES.....	162
5.3	BIBLIOGRAFIA.....	163

INTRODUCCION

En nuestro país para el diseño de estructuras de pavimento rígido y flexible tradicionalmente se ha utilizado la Guía AASHTO 93, sin embargo en este trabajo de graduación utilizaremos también el Suplemento de la Guía AASHTO 98 para el diseño de pavimentos rígidos y la Guía AASHTO 93 para el diseño de pavimentos flexibles.

El presente trabajo de graduación se basara específicamente en desarrollar una herramienta que permita calcular los espesores de un pavimento rígido y flexible según la Guía AASHTO 98 y AASHTO 93 respectivamente.

Para cumplir con el objetivo de esta investigación se recopiló información del sistema en el cual se desarrolló la herramienta de modo que al introducir todos los parámetros de diseño, el programa CESPAV - 019, el cual hemos desarrollado calcule el espesor del pavimento.

Este trabajo de graduación consta de cinco capítulos según detalle a continuación:

El capítulo 1, corresponde a generalidades de los pavimentos y se establecen los objetivos y alcances de este trabajo de graduación.

En capítulo 2, se desarrollan los conceptos básicos que deben conocerse acerca de los pavimentos flexibles y rígidos, sus componentes estructurales, así como también su clasificación.

En el capítulo 3, se detallan los estudios de campo para el diseño, provenientes de la campaña geotécnica, también se habla sobre el análisis de tránsito, debido que para el diseño de estructuras de pavimentos es necesario conocer el número de vehículos que pasan por un punto dado.

En el capítulo 4 se desarrollan los pasos que recomiendan la guía AASHTO 93 Y AASHTO 98 para el diseño de pavimentos flexibles y rígidos.

Y para finalizar en el capítulo 5 se mencionan las recomendaciones y conclusiones de este trabajo de graduación.

CAPITULO I

GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES

Uno de los primeros pasos para el desarrollo de las metodologías de diseño de los pavimentos, por la AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) corresponde a la prueba de carreteras denominada “AASHTO road test” la cual fue desarrollada por la AASHTO (American Association of State Highway Officials), entre los años 1958 a 1960, en los Estados Unidos, Estado de Illinois, Ottawa.

Desde mediados de 1951 hasta diciembre de 1954 se realizan todas las etapas de planificación -desde la selección del sitio hasta el establecimiento de objetivos- y en 1955 se inician los trabajos de topografía en la localización futura de la prueba, y la preparación de planos y especificaciones. En 1956, cerca de Ottawa, en el Estado de Illinois, comienza la construcción de las facilidades del proyecto, y en octubre del año 1958 se inicia la aplicación de las cargas sobre los tramos del pavimento construido. El costo de la prueba (a valores de 1960) fue de aproximadamente 27,0 millones de dólares.

Los objetivos básicos planteados para el desarrollo de esta prueba vial fueron:

- ✓ El objetivo principal de las pruebas consistía en determinar relaciones que existen entre la estructura de varias secciones de pavimento.

- ✓ De acuerdo con las cargas aplicadas sobre las secciones, determinar las relaciones entre un número de repeticiones de ejes con cargas, de diferente magnitud.
- ✓ Analizar la estructura de diferentes espesores de pavimentos, conformados con bases y sub-bases, colocados en suelos de características conocidas.

Dos de las técnicas que se emplearon al diseñar los experimentos principales fueron la aplicación aleatoria, garantizando, que un diseño dado tuviera la misma oportunidad de estar localizado en un lugar que correspondiera a un tramo recto de prueba, que una sección de cualquiera de los diseños cumpliera con los objetivos descritos. Las mediciones en el pavimento, en términos de su capacidad para soportar el tráfico con seguridad y comodidad, y capacidad de servicialidad su desarrollo, para convertirlo en un procedimiento trabajable por parte del personal de la prueba de carreteras, constituyó una aportación muy importante a la ingeniería de carreteras. El nivel requerido de un pavimento depende de la servicialidad de este.

Los pavimentos se construyeron en circuitos, a lo largo de una sección de 8 millas de una futura autopista interestatal. Se realizaron 6 circuitos de prueba, todos eran tramos de dos carriles y tenían la mitad del tramo en pavimento de concreto y la otra en pavimento flexible. El circuito 1 se dejó sin cargas para

evaluar el impacto del medio ambiente en los pavimentos. El circuito 2 se utilizó con aplicaciones de cargas de camiones ligeros.

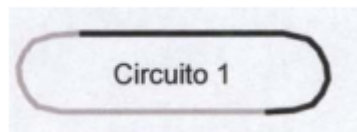


Figura 1.1 Circuito 1 Fuente: Variables de entrada al proceso de diseño rígido utilizando métodos mecanicistas

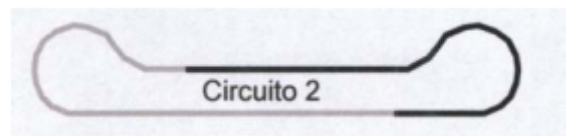


Figura 1.2 Circuito 2 Fuente: Variables de entrada al proceso de diseño rígido utilizando métodos mecanicistas

En los circuitos del 3 al 6, se realizaron aplicaciones de carga con camiones de 18 Kips por eje sencillo equivalente. Los circuitos 5 y 6 tuvieron idénticas configuraciones y combinaciones de carga. Cada circuito consistía de dos largas carreteras paralelas, conectadas en los extremos por retornos, las secciones de prueba de los pavimentos estaban localizadas en las rectas o tangentes de cada circuito.

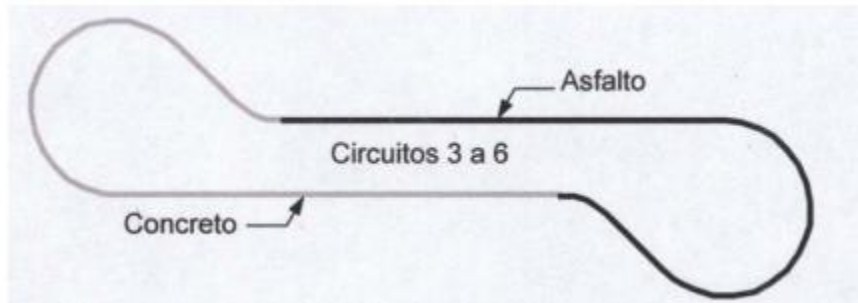


Figura 1.3 Circuito 3 a 6. Fuente: Variables de entrada al proceso de diseño rígido utilizando métodos mecanicistas

La sección estructural de prueba tenía una longitud de 30 m en pavimentos flexibles, 36 m en pavimentos de concreto simple y 80 m en pavimentos continuamente reforzados, estas fueron construidas sobre idénticos terraplenes, para los dos casos, pavimento rígido y flexible. También, se examinaron bajo las mismas condiciones climáticas, el mismo número de cargas aplicadas, el mismo tráfico y velocidades de operación. En total, se examinaron 368 secciones de pavimento rígido y 468 secciones de pavimento flexible con tráfico perfectamente controlado, se iniciaron las repeticiones de carga, en noviembre de 1958, de la siguiente manera.

En los circuitos de camiones pesados, circuitos 3 a 6, inicialmente 6 vehículos por carril, posteriormente, se aumentó a 10 vehículos por carril en enero de 1960, el tiempo de operación de los vehículos fue de 18 horas 40 minutos, 6 días de la semana. En total, se aplicaron 1,114,000 repeticiones de carga normal, correspondiendo unos 6.2 millones de ESAL's (ejes sencillos equivalentes). Así, los principales experimentos sobre pavimentos fueron

diseñados de modo que los resultados de las pruebas fueran estadísticamente significativas. Las secciones de prueba de los pavimentos de varios espesores fueron sometidas a tráfico controlado. Las secciones examinadas representaban todas las combinaciones de los factores de diseño para concreto y asfalto. Cada circuito de tráfico contenía algunas secciones que no formaban parte de los principales experimentos sobre pavimentos. Estas secciones se incluyeron para estudios especiales tales como los efectos de acotamientos pavimentados y bases estabilizadas, correspondientes a la estructura del pavimento.

Los resultados que constituyeron los criterios de la prueba, más representativos en la determinación de la servicialidad del pavimento fueron:

- ✓ Variaciones en el perfil longitudinal
- ✓ Mediciones de la aspereza del pavimento en la dirección del movimiento
- ✓ Profundidad promedio de las roderas medida con regla de 1.20 m
- ✓ Medidas de agrietamientos severos
- ✓ Medidas de baches.

Tres comparaciones que pueden usarse para evaluar la estructura de las secciones de prueba son

- ✓ El número de aplicaciones de carga sobre un eje
- ✓ El índice de capacidad de servicio de la sección en un momento determinado

- ✓ La relación del índice de la capacidad de servicio de los pavimentos rígidos vs. el índice de la capacidad de servicio de los pavimentos flexibles.

La prueba de pavimentación que en su momento se conoció como AASHO, antes del año de 1951, no estaba integrada en el departamento del transporte de los Estados Unidos, posteriormente fue promovida por la AASHTO, para estudiar la estructura del pavimento, de espesores conocidos, bajo cargas móviles, de magnitudes y frecuencias conocidas y bajo el efecto del medio ambiente al que se someta. Fue formulada por el consejo de investigación de carreteras de la academia nacional de ciencias, consejo nacional para la investigación, cambiando de AASHO a AASHTO esto se realizó en el año 1970 y se elaboró la “AASHTO Interim Guide for Design of Pavements Structures, 1972”, la cual se ha venido actualizando, de tal manera, que los modelos de predicción y repuesta del pavimento sometido al tráfico, cada vez toman en cuenta condiciones particulares o especiales del perímetro, por ejemplo el tipo de suelo, el clima. Esta primera versión es una “Guía Provisional”, y se le conoce como la versión AASHO-72, ya que para la fecha la Asociación de Administradores de Carreteras de los Estados Unidos no había tomado aún la responsabilidad de adelantar la administración de los problemas asociados con el “tránsito”. Posteriormente, en el año 1972, y en función de la experiencia acumulada durante diez años, tanto de éxitos como de fracasos, en la determinación de espesores mediante la aplicación de las guías originales, así

como por la ejecución de “estudios satélites” que permitieron el ajuste y perfeccionamiento del método, se realiza la segunda edición del método, aún bajo la denominación de “Guías Provisionales”. A partir de la edición de la Guía Provisional del año 1972, se incorpora también el “tránsito” como responsabilidad de la organización de Administradores de Carreteras, por lo cual comienza a conocerse como “Guía AASHTO-72”.

La aplicación del Método AASHTO-72 se mantuvo hasta mediados del año 1983, cuando se determinó que, aún cuando el procedimiento que se aplicaba alcanzaba sus objetivos básicos, podían incorporársele algunos de los adelantos logrados en los análisis y el diseño de pavimentos que se habían conocido y estudiado desde ese año 1972. Por esta razón, en el período 1984-1985 el SubComité de Diseño de Pavimentos junto con un grupo de Ingenieros Consultores comenzó a revisar el "Procedimiento Provisional para el Diseño de Pavimentos AASHTO-72", y a finales del año 1986 concluye su trabajo con la publicación del nuevo "Manual de Diseño de Estructuras de Pavimentos AASHTO '86", y sigue una nueva revisión en el año 1993, por lo cual, hoy en día, el método se conoce como Método AASHTO-93.

Este Manual mantiene las ecuaciones de comportamiento de los pavimentos que se establecieron en el Experimento Vial de la AASHO en 1961, como los modelos básicos que deben ser empleados en el diseño de pavimentos;

introduciendo, sin embargo, los cambios más importantes sucedidos en diferentes áreas del diseño, incluyendo las siguientes:

- Incorporación de un "Factor de Confiabilidad" fundamentado en un posible cambio del tráfico a lo largo del período de diseño, que permite al Ingeniero Proyectista utilizar el concepto de análisis de riesgo para los diversos tipos de facilidades viales a proyectar.
- Sustitución del Valor Soporte del Suelo (CBR ensayo AASHTO T-193), por el Módulo Resiliente (Método de Ensayo AASHTO T274), el cual proporciona un procedimiento de laboratorio racional, o mejor aún de carácter científico que corresponde con los principios fundamentales de la teoría elástica para la determinación de las propiedades de resistencia de los materiales.
- Empleo de los módulos resilientes para la determinación de los coeficientes estructurales, tanto de los materiales naturales o procesados, como de los estabilizados.
- Establecimiento de guías para la construcción de sistemas de sub-drenajes, y modificación de las ecuaciones de diseño, que permiten tomar en cuenta las ventajas que resultan, sobre el comportamiento de los pavimentos, como consecuencia de un buen drenaje.
- Sustitución del "Factor Regional" -valor indudablemente bastante subjetivo- por un enfoque más racional que toma en consideración los

efectos de las características ambientales -tales como humedad y temperatura- sobre las propiedades de los materiales

La ecuación AASHTO toma la siguiente forma

$$\log_{10} W_{718} = Z_R * S_o + 9.36 * \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 * \log_{10} M_R - 8.07$$

La Asociación de Administradores de Carreteras de los Estados Unidos La ecuación AASHTO-93 solo puede ser solucionada a través de iteraciones sucesivas, ya sea manualmente, u hoy en día por medio de programas de computadora personal, o manual. La Asociación de Pavimentadores de Concreto ofrece un Programa denominado Pavement Analysis System, el cual resuelve dicha ecuación de una manera sencilla y amigable. (AASHTO) revisó en los años 1972, 1986 y 1993 la Guía de Diseño ASSHTO y aun cuando para 1993 ya se disponía de una versión calificada como “racional”, todavía se fundamentaba el procedimiento en un alto grado en valores experimentales. Por esta razón la AASHTO se dedica a desarrollar un “Método Mecanicista”, en el que se pueda diseñar en base a los principios fundamentales de esfuerzos y deformaciones.

El resultado de este nuevo enfoque se alcanza en el año 2002, en el que la AASHTO propone el nuevo método de diseño que denomina: Método empírico-

mecanicista para diseño de pavimentos”. Se han desarrollado, como resultado de otras investigaciones, “Métodos mecanicistas”.

La guía “Supplement to the AASHTO Guide for Design of Pavements Structures 1998”, contiene un procedimiento alternativo para el diseño de pavimentos rígidos, el cual fue presentado en la versión 1993. El desarrollo de este procedimiento de diseño está basado en los resultados del proyecto: Soporte Bajo Pavimentos de Concreto de Cemento Pórtland, NCHRP 1-30 (Support Under Pórtland Cement Concrete Pavements), elaborado por el National Cooperative Highway Research Program (NCHRP), para el cual, se utilizó información disponible de la base de datos del programa: desempeño de Pavimentos a Largo Plazo (Long Term Pavement Performance, LTPP) tales como pérdida de soporte para el uso de diseño de pavimentos rígidos y datos para mejorar la selección de módulos de reacción de la subrasante. Este proyecto fue validado y revisado por la Federal Highway Administration (FHWA) y adoptado por la AASHTO. La edición 1998, de la guía descrita, presenta otro en consideración condiciones de clima, tipo de base y subrasante.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las necesidades actuales se van haciendo cada vez más grandes, exigiendo nuevos enfoques que permitan abordar el problema del diseño de pavimentos flexibles y rígidos desde las perspectivas de la economía, la competencia estructural y funcional de la vía, requiriendo a su vez el estudio de nuevas metodologías de diseño que se adapten a los parámetros de nuestro país y que arrojen resultados adecuados en cuanto a los intereses proyectados.

En tal sentido, se enfoca esta investigación precisamente a la creación de una herramienta de diseño de estructuras de pavimento rígido y flexible el cual contribuya a realizar el proceso de diseño de manera práctica y segura, ya que los programas que están disponibles actualmente como el WinPAS, necesita de una licencia para su uso, el cual limita el acceso de dicha herramienta.

Este trabajo está enfocado precisamente a una herramienta de diseño de pavimentos flexibles y rígidos que sea accesible principalmente a estudiantes que no pueden tener acceso a la licencia de un programa.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar una herramienta de diseño de pavimentos flexible y rígido según guía AASHTO 93 y AASHTO 98.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Utilizar el método AASHTO 93 para el diseño de pavimento flexible
- Utilizar Suplemento 98 para el diseño de pavimento rígido
- Recopilar información sobre la plataforma de la herramienta en la que se desarrollara
- Investigar las variables de ingreso de cada diseño para automatizarlas en la herramienta
- Elaboración de un manual sobre el uso de la herramienta

1.4 ALCANCES

1. La presente investigación tiene como fin, desarrollar una herramienta que facilite el cálculo de un diseño de pavimento flexible por el método AASHTO 93 y cálculo de un diseño de pavimento rígido por Suplemento AASHTO 98.

1.5 LIMITACIONES

1. La presente investigación se basa en la normativa internacional AASHTO 93 y AASHTO 98 para el diseño de pavimentos flexibles y rígidos.
2. La investigación de la plataforma en la que se desarrolló la herramienta, estará limitada al tiempo en que se debe realizar el trabajo de graduación.
3. El mínimo manejo y conocimiento de la plataforma de la herramienta.

1.6 JUSTIFICACION

Con la intención de contribuir en el proceso de diseño de pavimentos flexibles y rígidos según la metodología AASHTO 93 y Suplemento 98 respectivamente, se pretende desarrollar una herramienta, que minore el proceso convencional y vuelva la metodología más práctica y ligera.

Como Escuela de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura y específicamente en el departamento de Construcción y Vías Terrestre surge la necesidad de crear una herramienta de uso gratuito que sea de utilidad a la población estudiantil y que se adapte a los lineamientos de diseño según la metodología AASHTO 93 y Suplemento 98.

Se pretende que la herramienta automatice los procesos de diseño de tal forma que ejecute las tareas a partir de los parámetros de diseño según la metodología ya mencionada

En nuestro medio se pueden mencionar algunos programas para el cálculo de diseño de pavimentos rígidos y flexibles, por ejemplo WinPAS, DISPAV-5, DARWIN entre otros, pero necesitamos una herramienta que se ajuste a las condiciones de nuestro país y que se pueda usar sin licencia.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1 INTRODUCCION

En el siguiente capítulo hablaremos un poco de acerca de las generalidades de los pavimentos, su definición, clasificación, componentes estructurales tanto de un pavimento rígido como flexible y de las ventajas y desventajas de cada uno de estos dos tipos de pavimentos.

Mencionan las definiciones de cada capa de pavimento, los materiales recomendados para toda la estructura del pavimento y su proceso constructivo en cuanto a su compactación.

También se trata un poco de la clasificación de los pavimentos flexible con respecto al tipo de mezcla bituminosa que lo compone, así como también de los tipos de pavimento rígido, simple con refuerzo o sin refuerzo.

Además se explica un poco de los materiales o productos estabilizadores.

2.2 GENERALIDADES DE LOS PAVIMENTOS

Un pavimento es el conjunto de capas de material seleccionado colocado horizontalmente que reciben en forma directa las cargas del tránsito y las transmiten a los estratos inferiores en forma disipada, proporcionando una superficie de rodamiento segura y uniforme, la cual debe funcionar eficientemente, resistente a las cargas de tránsito, intemperismo y transmitir los esfuerzos adecuadamente a la subrasante de modo que no se deforme.

Puesto que los esfuerzos en un pavimento decrecen con la profundidad, se deberán colocar los materiales de mayor capacidad de carga en las capas superiores, siendo de menor calidad los que se colocan en las terracerías, además de que son los materiales que más comúnmente se encuentran en la naturaleza, y por consecuencia resultan los más económicos.

La división en capas que se hace en un pavimento obedece a un factor económico, ya que cuando determinamos el espesor de una capa, el objetivo es darle el grosor mínimo que reduzca los esfuerzos sobre la capa inmediata inferior. La resistencia de las diferentes capas no solo dependerá del material que la constituye también resulta de gran influencia el procedimiento constructivo; siendo dos factores importantes la compactación y la humedad, ya que cuando un material no se acomoda adecuadamente, éste se consolida por efecto de las cargas y es cuando se producen deformaciones permanentes.

2.3 TIPOS DE PAVIMENTOS

Hoy en día los pavimentos pueden clasificarse en:

- ✓ Pavimentos Empedrados

Se conoce como empedrado, a aquella capa de rodadura elaborada con piedra, obtenida de las orillas de los ríos o mediante un proceso de explotación y trituración.

El empedrado es un tipo de pavimento flexible, que presenta gran durabilidad y resistencia para tráfico liviano siempre y cuando el material sea de buena calidad y proceso constructivo adecuado, actualmente su uso es limitado.



Figura 2.1 Pavimento Empedrado Fuente: Método de diseño de losas de dimensiones superficiales optimizadas en pavimentos de concreto hidráulico.

✓ Pavimentos Articulados

Los pavimentos articulados están compuestos por una capa de rodadura que está elaborada con bloques de concreto prefabricados, llamados adoquines, de espesor uniformes elaborados entre sí, esta a su vez va sobre una capa de arena, la cual se apoya en una base granular o directamente sobre la subrasante, dependiendo de la calidad de esta y de las cargas que circularan por dicho pavimento.



Figura 2.2 Pavimento Articulado Fuente: Método de diseño de losas de dimensiones superficiales optimizadas en pavimentos de concreto hidráulico.

Los bloques o adoquines son elementos construidos con material pétreo y cemento, pudiendo tener varias formas, todas ellas regulares, y que son colocados sobre una cama de arena de 3 a 5 centímetros de espesor, la que

tiene como función primordial absorber las irregularidades que pudiera tener la base, proporcionando a los adoquines un acomodamiento adecuado y ofreciendo una sustentación y apoyo uniforme en toda su superficie.

Además sirve para drenar el agua que se filtra por las juntas, evitando que se dañe la base.

Se usarán arenas naturales de río, arenas volcánicas o minerales, debiendo estar libres de arcilla, materia orgánica o cualquier otro material que pudiere interferir con el drenaje del agua proveniente de la superficie.

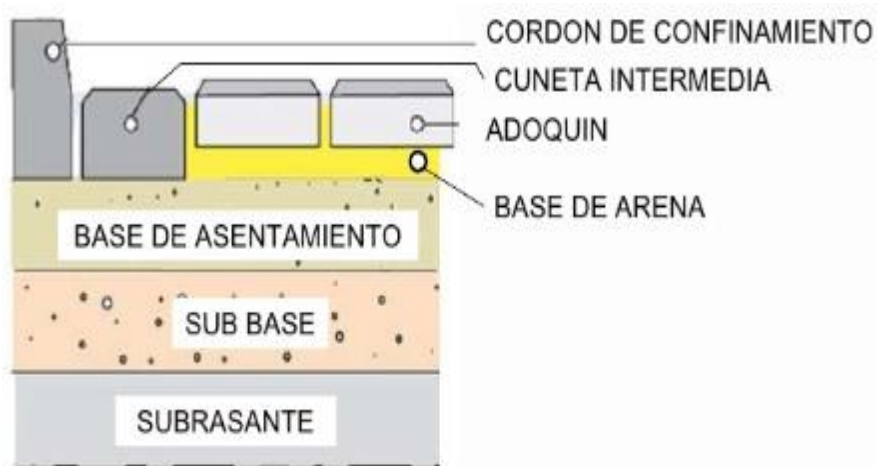


Figura 2.3 Esquema de Pavimento Articulado Fuente: Instituto mexicano del cemento y del concreto

✓ Pavimentos Flexibles



Figura 2.4 Pavimento Asfáltico Carretera Cinquera - Tejutepeque Fuente: Equipos de Construcción S.A de C.V. ECON

Es la estructura generalmente integrada por la sub-base, base y carpeta de rodadura de mezcla asfáltica, construyéndose sobre una terracería debidamente compactada, para poder soportar cargas de tránsito de acuerdo al diseño, impidiendo la acumulación o penetración de humedad, disponiendo de una superficie tersa, resistente al deslizamiento y al deterioro en general.

Sección Transversal:

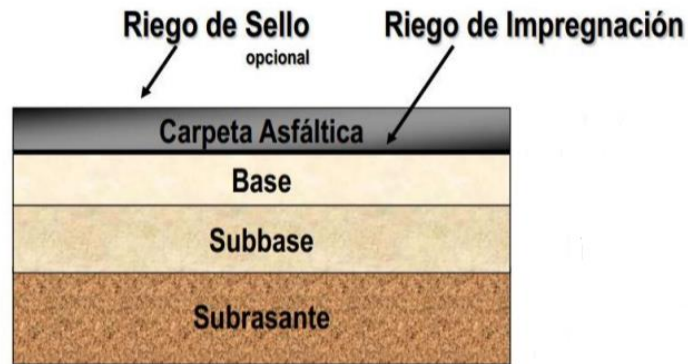


Figura 2.5 Esquema de la Estructura de un Pavimento Flexible Fuente: Manual de procesos Constructivos para Pavimentos de baja intensidad del tráfico de el Salvador utilizando concreto hidráulico simple y emulsiones asfálticas.

✓ Pavimentos Rígidos

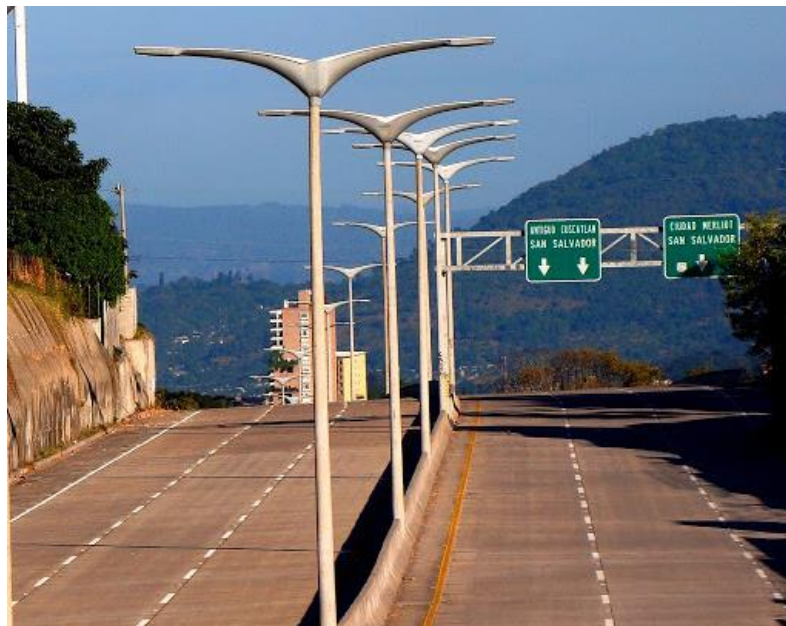


Figura 2.6 Pavimento de concreto hidráulico Boulevard Diego de Holguín Fuente: Revista ISCYC

Consiste en una losa de concreto hidráulico que puede o no, poseer una capa subbase entre la losa y la subrasante.

Se llama rígido porque las deformaciones a las que debe estar sometido deben ser nulas al ser sometido a las cargas del tránsito.



Figura 2.7 Estructura de un Pavimento Rígido Fuente: Desarrollo de alternativa de diseño de estructura de pavimento de concreto hidráulico mediante el método mecanicista empírico en el salvador.

La capacidad estructural de un pavimento rígido depende de las resistencias de las losas, y por o tanto, el apoyo de las capas subyacente ejerce poca influencia en el diseño del espesor del pavimento.

El comportamiento de los pavimentos rígidos y flexibles al aplicarles cargas es muy diferente, tal como puede verse en la figura

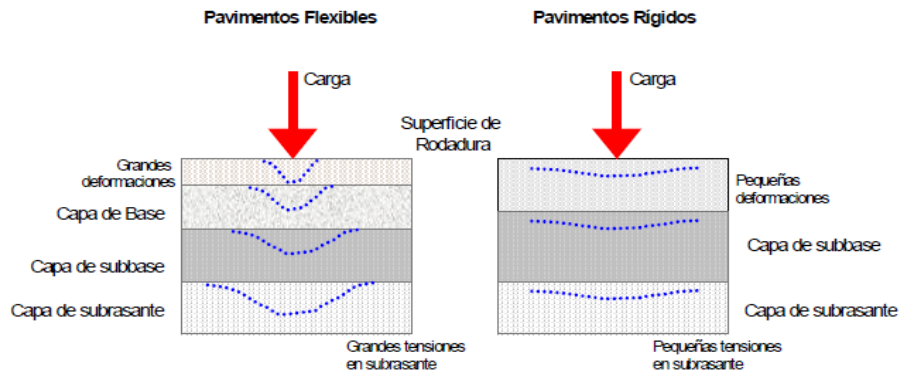


Figura 2.8 Esquema del comportamiento de Pavimentos flexibles y rígido Fuente: Manual Centroamericano para el diseño de Pavimentos

En un pavimento rígido, debido a la consistencia de la superficie de rodadura, se produce una buena distribución de las cargas, dando como resultado tensiones muy bajas en la subrasante. Lo contrario sucede en un pavimento flexible, la superficie de rodadura al tener menos rigidez, se deforma más y se producen mayores tensiones en la subrasante.

2.4 PAVIMENTOS FLEXIBLES

Los pavimentos flexibles comprenden en primer lugar a aquellos que están conformados por una serie de capas granulares, rematadas por una capa de rodamiento asfáltica de alta calidad, la cual es capaz de acomodarse a pequeñas deformaciones de la capas inferiores sin que su estructura se rompa.



Figura 2.9 Pavimento Asfáltico Carretera Cincuera - Tejutepeque Fuente: Equipos de Construcción S.A de C.V. ECON

En este tipo de pavimentos la calidad de los materiales en cada una de las capas aumenta conforme nos acercamos a la superficie, de modo de lograr una estructura competente ante las cargas esperadas y que a la vez resulte lo más económica posible.

Los pavimentos flexibles son aquellos que tiene una base flexible o semirrígida, sobre la cual se ha construido una capa de rodamiento formada por una mezcla bituminosa de asfalto o alquitrán de consistencia plástica. El pavimento flexible resulta más económico en su construcción inicial, tiene un periodo de vida de entre 10 y 15 años, pero tienen la desventaja de requerir mantenimiento constante para cumplir con su vida útil. Este tipo de pavimento está compuesto principalmente de una carpeta asfáltica, de la base y de la sub-base.

2.5 CLASIFICACION DE LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES

El concepto de pavimento flexible nace del hecho de que una superficie bituminosa es plástica y fluye bajo cargas repetidas y sostenidas (repetitivas y temporales) dentro de los límites, la superficie bituminosa, se ajustan a la consolidación de las capas inferiores.

La mezcla bituminosa es una combinación de agregados pétreos, de calidad y características especificadas y asfaltos líquidos o cementos asfálticos funcionando como aglutinante. Los pavimentos flexibles se pueden clasificar por el tipo de mezcla bituminosa que lo compone, estas mezclas pueden ser:

- Mezclas asfálticas en frío
- Mezclas asfálticas en caliente
- Tratamiento superficial
- Macadam Asfáltico.

2.5.1 MEZCLA ASFALTICA EN FRIO

Es la combinación de agregados y un ligante bituminoso que pueden mezclarse, extenderse y compactarse a temperatura ambiente. En alguna ocasión el agregado puede llegar a calentarse ligeramente.

Estas mezclas emplean en su fabricación ligantes bituminosos con menor viscosidad que las mezclas en caliente, betunes fluidificados, alquitranes fluidos

o emulsiones asfálticas. El mezclado se puede efectuar —In Situ o en plantas mezcladoras fijas—.

2.5.2 MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE

Es una mezcla completa de agregados gruesos, finos y un ligante bituminoso. Estos materiales son combinados en una planta de mezclado, donde son calentados, proporcionados para producir una mezcla homogénea.

2.5.3 TRATAMIENTO SUPERFICIAL

Los tratamientos superficiales con asfalto pueden utilizarse para cumplir las siguientes funciones:

- ✓ Proveer una superficie de bajo costo para toda condición del tiempo atmosférico, en caminos de categoría ligera y mediana.
- ✓ Sellar una superficie de rodamiento existente.
- ✓ Ayudar a un revestimiento sobrepuesto a adherirse al revestimiento previo.
- ✓ Proveer una superficie resistente al deslizamiento.
- ✓ Rejuvenecer las superficies existentes deterioradas por el intemperismo
- ✓ Proveer una cubierta temporal para una nueva base granular que no va a recibir su cubierta final por un amplio período.
- ✓ Cubrir los pavimentos existentes y proveer cierto aumento en resistencia.
- ✓ Servir como paliativo para el polvo.

- ✓ Guiar el tráfico y mejorar la visibilidad en la noche; por ejemplo, a través de agregados con contraste en colores.

Los tipos de tratamientos para superficies con asfalto incluyen los siguientes: tratamientos de superficie simple, que consiste en una aplicación de material asfáltico cubierta con una capa de agregado, estos tratamientos asfálticos también llamados en monocapa se usan como capas de protección sobre bases flexibles o semirígidas para tráfico liviano o como pavimento provisional sobre bases destinadas a soportar tráfico pesado mientras se construye la carpeta asfáltica definitiva, y también existe el tratamiento superficial múltiple que resulta de repetir dos o más veces el procedimiento constructivo de los tratamientos de una capa. Generalmente se disminuye el tamaño del agregado a medida que la capa se construye es más superficial. El tipo más empleado es el de las dos capas, que se conoce también como tratamiento superficial de doble riego y tiene su aplicación más frecuente como pavimento provisional en carreteras para tráfico mediano o pesado que se construye por etapas.

Es un término que cubre en general todas las aplicaciones del asfalto, con o sin agregados a cualquier tipo de camino o superficie de pavimentos, pero cuyo espesor final es por lo general inferior a 25 mm. (1 pulgada).

También existen otros tipos de tratamientos superficiales como: las lechadas asfálticas, que sirven para proteger contra la infiltración del agua superficial a la carpeta si está agrietada o porosa, proporcionar un revestimiento antideslizante

al pavimento antiguo u obtener una superficie de un color determinado. En todos los casos el proceso constructivo es el mismo y consiste en regar sobre la superficie existente una pequeña cantidad de material asfáltico de acuerdo con dosificaciones establecidas previamente.

2.5.4 MACADAM ASFALTICO

Es el tipo más antiguo de los pavimentos para carreteras actualmente en uso. El Macadam Asfáltico, por penetración consiste en una base o una superficie de rodamiento de piedra triturada o escoria de un solo tamaño en la que los fragmentos están ligados con asfalto. Se emplea como capa superficial para caminos de tránsito medio a pesado, pero para caminos de tránsito pesado ha sido sustituido por el concreto asfáltico. Para su construcción puede ser utilizado cemento asfáltico y asfalto emulsionado o uno de los grados mas pesados de los alquitranes para caminos.

2.6 COMPONENTE ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE.

Se refiere a las características relativas de cada una de las capas que constituyen la estructura de la vía tales como: espesor, resistencia y deformabilidad en las condiciones esperadas de servicio.

2.6.1 SUBRASANTE

Los últimos 30 cm o más, de una terracería de corte o terraplén se conoce como Subrasante. Esta capa es muy importante para los pavimentos y constituyen su cimiento. Generalmente está formada por el mismo suelo de la terracería. Es muy importante que el nivel de aguas freáticas este cuando menos a 1.50 m, debajo de ésta, esto se consigue drenando el subsuelo o elevando la Subrasante.

Para diseñar adecuadamente un pavimento principalmente los de tipo flexible, se deben hacer una campaña geotécnica, la cual consiste en extensos estudios del suelo de la Subrasante tanto en el campo como en el laboratorio. Además comprende estudios de topografía, geología del ambiente y sobre todo de mecánica de suelos.

La función de la subrasante es soportar las cargas que transmite el pavimento y darle sustentación, además de considerarse la cimentación del pavimento. Entre mejor calidad se tenga en esta capa el espesor del pavimento será más reducido y habrá un ahorro en costos sin mermar la calidad.

Las características con las que debe cumplir son: f máximo de 3", expansión máxima del 5%, grado de compactación mínimo del 95%; espesor mínimo de 30cm para caminos de bajo tránsito y de 50cm en caminos con un TPDA¹ > de

¹ TPDA, Transito Promedio Diario Anual

2000 vehículos. Otra de las funciones de la subrasante es evitar que el terraplén contamine al pavimento y que sea absorbido por las terracerías.

El espesor de pavimento dependerá en gran parte de la calidad de la subrasante, por lo que ésta debe cumplir con los requisitos de resistencia, incompresibilidad e inmunidad a la expansión y contracción por efectos de la humedad, por consiguiente, el diseño de un pavimento es esencialmente el ajuste de la carga de diseño por rueda a la capacidad de la subrasante.

A) MATERIALES

Tiene que estar libre de vegetación y materia orgánica, de lo contrario, el material deberá reemplazarse por material adecuado para subrasante en el tramo correspondiente o considerar la estabilización de los suelos subyacentes.

En general los materiales apropiados para capa de subrasante, son los suelos de preferencia granulares con porcentajes de hinchamiento mínimo según ensayos AASHTO T-193 y que no tengan características inferiores a los suelos que se encuentran en el tramo. Según AASHTO M -145, los suelos clasificados A-6,A-7 y A-8, son materiales inadecuados para la capa de subrasante, ya que son suelos orgánicos constituidos por materiales vegetales o fangosos. Estos suelos generalmente tienen textura fibrosa, color café oscuro y olor a podredumbre y son altamente compresibles, con muy baja resistencia. Cuando

en la subrasante aparezcan áreas con este tipo de material, deberá reemplazarse por otro que llene los requisitos para subrasante, haciendo previamente la remoción del material inapropiado.

A) COMPACTACION

Para compactar la capa de subrasante, el espesor de ésta debe escarificarse, homogenizarse, mezclarse, conformarse y compactarse en su totalidad, hasta lograr la densidad máxima según AASHTO T-180.

2.6.2 SUBBASE

Es la capa de la estructura de pavimento destinada fundamentalmente a soportar, transmitir y distribuir con uniformidad las cargas aplicadas a la superficie de rodadura de pavimento, de tal manera que la capa de subrasante la pueda soportar absorbiendo las variaciones inherentes a dicho suelo que puedan afectar a la subbase. La subbase debe controlar los cambios de volumen y elasticidad que serían dañinos para el pavimento.

Principales funciones de la Subbase.

- ✓ Transmitir los esfuerzos a la capa Subrasante en forma adecuada.
- ✓ Constituir una transmisión entre los materiales de la base y de la subrasante de tal modo que se evite la contaminación y la interpenetración de dichos materiales.

- ✓ Disminuir efectos perjudiciales en el pavimento, ocasionados por cambios volumétricos y rebote elástico del material de las terracerías o del terreno de cimentación.
- ✓ Reducir el costo del pavimento, ya que es una capa que por estar bajo la base, queda sujeta a menores esfuerzos y requiere de especificaciones de menor calidad, las cuales pueden satisfacerse con materiales de un menor costo que el utilizado en la base.

Cumple una cuestión de economía ya que nos ahorra dinero al poder transformar un cierto espesor de la capa de base a un espesor equivalente de material de sub-base (no siempre se emplea en el pavimento), impide que el agua de las terracerías ascienda por capilaridad y evitar que el pavimento sea absorbido por la subrasante. Deberá transmitir en forma adecuada los esfuerzos a las terracerías.

Se utiliza además como capa de drenaje y controlador de ascensión capilar de agua, protegiendo así a la estructura de pavimento, por lo que generalmente se usan materiales granulares. Esta capa de material se coloca entre la subrasante y la capa de base, sirviendo como material de transición, en los pavimentos flexibles.

A) MATERIALES

El material de subbase deberá ser seleccionado y tener mayor valor soporte (CBR) que el material de subrasante y su espesor será variable por tramos, dependiendo de las condiciones y características de los suelos existentes en la subrasante.

Los materiales de subbase deben ser suelos del tipo granular que llenen los siguientes requisitos:

- ✓ El valor soporte (CBR) debe determinarse según AASHTO T- 193 sobre muestra saturada según AASHTO T-180.
- ✓ El tamaño del material de subbase no debe ser mayor de 2/3 del espesor de esta granulometría de los agregados y deberá determinarse según AASHTO T-11 y T-27.
- ✓ El índice de plasticidad debe determinarse según AASHTO T- 90, y el límite Líquido según AASHTO T-89, determinados ambos sobre una muestra preparada en húmedo, según AASHTO T-146.
- ✓ El equivalente de arena es determinado por el método AASHTO T-176.
- ✓ El material debe estar libre de impurezas tales como: basura, materia orgánica, terrones de arcilla y cualquier otro material que pueda ocasionar problemas específicos al pavimento.

B) COMPACTACIÓN

El material de subbase debe ser tendido en capas no mayores de 20 centímetros de espesor. Este debe homogenizarse y conformarse, agregándole la cantidad de agua que sea necesaria para lograr la compactación en su totalidad, hasta alcanzar su densidad máxima por el método AASHTO T-180.

2.6.3 BASE

Es la capa que tiene como función primordial, distribuir y transmitir las cargas ocasionadas por el tránsito, a la subbase y a través de ésta a la subrasante, y es la capa sobre la cual se coloca la capa de rodadura.

Esta capa recibe la mayor parte de los esfuerzos producidos por los vehículos. La carpeta es colocada sobre ella porque la capacidad de carga del material friccionante es baja en la superficie por falta de confinamiento. Regularmente esta capa además de la compactación necesita otro tipo de mejoramiento (estabilización) para poder resistir las cargas del tránsito sin deformarse y además de transmitir las en forma adecuada a las capas inferiores. El valor cementante en una base es indispensable para proporcionar una sustentación adecuada a las carpetas asfálticas delgadas. En caso contrario, cuando las bases se construyen con materiales inertes y se comienza a transitar por la carretera, los vehículos provocan deformaciones transversales. En el caso de la granulometría, no es estrictamente necesario que los granos tengan una forma

semejante a la que marcan las fronteras de las zonas, siendo de mayor importancia que el material tenga un CBR (valor relativo de soporte) y una plasticidad mínima; además se recomienda no compactar materiales en las bases que tengan una humedad igual o mayor, o menor en 2% de la humedad óptima del proctor AASHTO T 180.

Las principales funciones de la base son:

- Soportar adecuadamente las cargas transmitidas por los vehículos a través de la carpeta y transmitir los esfuerzos a la subrasante, por medio de la subbase, de tal forma que no produzcan deformaciones perjudiciales en el pavimento.
- Drenar el agua que se introduce por medio de grietas en la carpeta o por los hombros evitando también la ascensión capilar.

2.6.3.1 TIPOS DE BASE

Actualmente puede considerarse dos tipos de bases:

1) Base granular

De grava triturada y mezcla natural de agregado y suelo. Material constituido por piedra de buena calidad, triturada y mezclada con material de relleno o bien por una combinación de piedra o grava, con arena y suelo, en su estado natural. Todos estos materiales deben ser clasificados para formar una base

integrante de la estructura de pavimento. Su estabilidad dependerá de la graduación de las partículas, su forma, densidad relativa, fricción interna y cohesión, y todas estas propiedades dependerán de la proporción de finos con respecto al agregado grueso.

En las base granulares la estabilidad del material depende de la fricción interna y de su cohesión. Una base granular de buena calidad requiere unos materiales fracturados con granulometría continua, el conjunto de la capa debe estar correctamente compactado, drenado e impermeabilizado.

A) MATERIALES

Debe corresponder a los tipos de graduación determinados según AASHTO T-27 y T-11.

Además, el material de base es necesario que llene como mínimo las siguientes condiciones:

- Valor soporte (CBR) para material triturado (canto rodado), según AASHTO T-193, la compactación según AASHTO T-180 e hinchamiento máximo según AASHTO T 193.
- El material debe estar libre de impurezas y residuos orgánicos.
- La porción de agregado retenida en el tamiz No. 4 no debe tener un porcentaje de desgaste, por abrasión, según AASHTO T-96.

- La porción que pasa el tamiz No. 40 debe tener un índice de plasticidad según se indica en AASHTO T-90 y un límite líquido mayor al indicado en AASHTO T-89, determinados ambos sobre una muestra preparada en húmedo según AASHTO T-25.
- El equivalente de arena no debe de ser menor a como se indica en AASHTO T-176.
- Cuando se necesite agregar material de relleno en adición al que se encuentra naturalmente en el material triturado, para proporcionarle características adecuadas de granulometría y cohesión, éste debe ser libre de impurezas y consistir en suelo arenoso, limo orgánico, polvo de roca u otro material con alto porcentaje de partículas que pasen por el tamiz No. 10
- El material de base debe cumplir con las especificaciones

B) COMPACTACIÓN

Antes de tender el material de base, el material de subbase debe tener la compactación especificada.

Cuando el espesor de base sea mayor de 20 centímetros, se tendrá que hacer la compactación por capas, siempre que éstas no sean mayores de 20 ni menores de 10 centímetros. Además, se tiene que humedecer la superficie entre capas, para conseguir una mejor adhesión entre éstas y así evitar deslizamientos.

Al compactar, el material debe ser homogéneo y debe estar humedecido y mezclado, para lograr la densidad especificada. La capa de base ya terminada, tiene que quedar lo más uniforme posible, para evitar concentración de esfuerzos en la capa de rodadura, al estar el pavimento ya dispuesto para la circulación de vehículos.

2) Base estabilizada

Es la capa formada por la combinación de piedra o grava trituradas, combinadas con material de relleno, mezclados con materiales o productos estabilizadores, preparada y construida aplicando técnicas de estabilización, para mejorar sus condiciones de estabilidad y resistencia, para constituir una base integrante del pavimento destinada fundamentalmente a distribuir y transmitir las cargas originadas por el tránsito, a la capa de subbase. Son suelos con cemento Pórtland, cal o materiales bituminosos.

2.6.3.2 PRODUCTOS ESTABILIZADORES

✓ CEMENTO PORTLAND

Es el producto de la mezcla de diferentes materiales que se someten a un proceso de cocción y molido, para constituir un material ligante al combinarse con agua y suelo.

Cuando las bases han sido compactadas a su humedad óptima y densidad máxima, son altamente resistentes a la desintegración, además de mejorar sus condiciones de estabilidad y resistencia a la humedad, proporcionando una

mejor distribución de las cargas de tránsito a las capas subyacentes de la estructura de pavimento. La adición de cemento a ciertos suelos plásticos los transforma en buenos materiales para base.

La utilización de cemento Portland para la estabilización de materiales de base, se considera cuando es necesario cambiar algunas características físicas y mejorar sus condiciones mecánicas. Es conveniente que al utilizar cemento para estabilizar suelos, se realicen pruebas en el laboratorio, que permitan determinar el contenido máximo que se puede utilizar, sin que se produzcan agrietamientos en la muestras, ya que este comportamiento es el que se obtendría en la carretera.

Es necesario tomar en cuenta, que no es lo mismo estabilizar que rigidizar, ya que los materiales obtienen del producto estabilizador algunas condiciones de beneficio como son la impermeabilidad, disminución de los límites de consistencia y aumento de la capacidad de soporte, pero también toman otras como una alta rigidización que no es conveniente al material, por el hecho de que esta condición permite el apareamiento de grietas.

Es conveniente hacer notar que el cemento como estabilizador es un material de alta calidad, especialmente si los materiales con los cuales se va a combinar son de la misma generación que él (gravas, rocas, arenas, etc.), pero al utilizarse con suelos como limos, arcillas, etc. La situación cambia, ya que estos

son muy susceptibles a agrietarse cuando el contenido de cemento es muy alto.

A) MATERIALES

Además, el material de base debe cumplir la siguiente condición.

- 3) Valor soporte (CBR) para piedra triturada y para grava (canto rodado), según AASHTO T-193, la compactación según AASHTO T-180 e hinchamiento máximo según AASHTO T-193.

B) REQUISITOS DEL CEMENTO PORTLAND

El cemento Portland a utilizar deberá ajustarse a la norma AASHTO M 85-63. La cantidad aproximada de cemento debe estar comprendida dentro de un 3% mínimo a un 8% máximo de cemento en peso, respecto al peso del material a estabilizar.

C) COMPACTACION

La capa estabilizada debe compactarse en su totalidad hasta lograr su densidad máxima, según AASHTO T-134 y T-191 y debe ejecutarse en capas no mayores de 30 ni menores de 15 centímetros. Cuando la capa estabilizada es muy alta, la compactación debe hacerse por capas de 15 centímetros y no debe tenderse la siguiente capa antes de transcurrido el tiempo mínimo de curado de la inmediata inferior.

No deben transcurrir más de 60 minutos entre el final del tendido y la conformación y el inicio de la compactación, finalizando el proceso de estabilización en un tiempo no mayor de 90 minutos desde el inicio de mezclado de cemento con agua.

Realizada la compactación, se debe comprobar la resistencia a la compresión según ASTM1 D-1632 y D-1633.

La textura de la superficie no debe ser lisa, debiéndose escarificar ligeramente o pasar escoba de arrastre para dejar la superficie con rugosidad adecuada, con el fin de evitar deslizamientos entre la capa de rodadura y sobre el material de base estabilizado.

D) CURADO

La superficie debe protegerse, aplicándole un material de curado que sea adecuado para este tipo de trabajo. Lo que normalmente se hace, es aplicar un riego de imprimación con material bituminoso líquido, con el fin de formar una capa impermeable y así evitar que el agua necesaria para el fraguado del cemento, se evapore. Para lograr la resistencia requerida, el curado debe realizarse en forma eficiente, de lo contrario la resistencia puede disminuir hasta un 40%.

✓ CAL

Es el producto de la cocción de la piedra caliza, para constituir un material ligante al combinarse con agua y suelo.

Cuando ha sido compactada a su humedad óptima y densidad máxima, constituye una base integrante de un pavimento, destinada fundamentalmente a distribuir y transmitir las cargas originadas por el tránsito, a la capa de subbase. La utilización de cal para la estabilización de bases, se considera cuando es necesario cambiar algunas características físicas y mejorar las condiciones mecánicas del material. Es conveniente que al utilizar cal para estabilizar suelos, se realicen pruebas en el laboratorio, que permitan determinar el contenido máximo que se puede utilizar, sin que se produzcan agrietamientos en las muestras, ya que este comportamiento es el que se obtendría en la carretera.

Es necesario tomar en cuenta, que el utilizar cal para estabilizar, los materiales obtienen del material estabilizador algunas condiciones de beneficio como son la impermeabilidad, disminución de los límites de consistencia y aumento del CBR; en el caso de la cal es difícil llegar a tener un material rígido, porque la reacción química es bastante más lenta que con cemento para lograr una resistencia especificada.

Es conveniente hacer notar que la cal como estabilizador es un material de calidad, ya que por ser un producto derivado de piedra caliza, tiene la capacidad de combinarse con cualquier otro material sin producir reacciones químicas que involucren un fraguado rápido, ni una rigidización que derive en el apareamiento prematuro de grietas por contracción.

A) MATERIALES

El material de base es necesario que llene como mínimo las siguientes condiciones:

Valor soporte (CBR) para piedra triturada y para grava (canto rodado), según AASHTO T 193, la compactación según AASHTO T-180 e hinchamiento máximo según AASHTO T 193.

B) REQUISITOS DE LA CAL

La cal hidratada debe cumplir con lo establecido en AASHTO M-216. Las cantidades de cal pueden variar entre 2% y 6% en peso, del material a estabilizar.

Como los materiales a estabilizar con cal pueden ser de cualquier clase de suelo, lo recomendable es hacer pruebas de laboratorio, para determinar la cantidad adecuada en porcentaje con respecto al peso que es necesario aplicar, efectuando pruebas de compresión no confinada y observando el comportamiento de las muestras al dejarlas secar al aire.

El material debe ser regado con agua en cantidad adecuada para su homogenización. La Lechada de cal, puede hacerse con cal hidratada o cal viva pulverizada, cumpliendo los siguientes requisitos:

- El contenido de sólidos debe ser un mínimo del 87% en masa, de óxidos de calcio y magnesio.

- El porcentaje retenido del residuo en masa debe cumplir con lo indicado en la siguiente tabla según el tamaño de los tamices.

TAMAÑO DEL TAMIZ	% MAXIMO RETENIDO EN MASA
3.350 mm , N° 6	0.2
0.600 mm , N° 30	4.0

Figura 2.10 Tabla Requisitos de graduación para el residuo, Fuente: Especificaciones Generales para la construcción de Carreteras y Puentes, Dirección General de Caminos, Guatemala año 2000

El grado de la lechada debe corresponder como sigue:

- 4) Lechada grado 1: contenido de sólidos no debe ser mayor de 31% de la masa total de la lechada.
- 5) Lechada grado 2: contenido de sólidos no debe ser mayor de 35% de la masa total de la lechada.

✓ **MATERIALES BITUMINOSOS**

Asfalto es el último producto resultante de la destilación del petróleo. La combinación de suelos con asfalto mejora las condiciones de estabilidad y resistencia a la humedad, proporcionando mejor distribución de las cargas ocasionadas por el tránsito a las capas subyacentes de la estructura de pavimento.

A) MATERIALES

El material de base es necesario que llene como mínimo la siguiente condicione:

Valor soporte (CBR) para piedra triturada y para grava (canto rodado), según AASHTO T-193, la compactación según AASHTO T-180 e hinchamiento máximo según AASHTO T-193.

B) REQUISITOS DEL MATERIAL BITUMINOSO

El material bituminoso debe ser cemento asfáltico de alta penetración, asfaltos rebajados, emulsiones asfálticas y alquitranes.

La cantidad de emulsión asfáltica puede variar entre 4% y 8% y al utilizar asfaltos rebajados, entre 3.5% a 7.5% con respecto al peso seco del material a estabilizar.

C) COMPACTACION

La mezcla debe ser uniformemente compactada, hasta lograr la densidad máxima. En caso que el espesor de la base estabilizada con material bituminoso fuera mayor de 15 centímetros, la mezcla debe ser tendida y compactada en dos o más capas.

2.6.3.3 OTROS PRODUCTOS ESTABILIZADORES

Podrán usarse compuestos estabilizadores químicos y orgánicos basados en resinas sintéticas, solos o en combinación con cal, cemento o material bituminoso. Estos productos deben requerir el certificado de calidad extendido por el fabricante o distribuidor, incluyendo los aspectos referentes a dosificación, procedimientos de aplicación, resistencia y durabilidad del producto. Se deberán realizar ensayos de laboratorio a las mezclas de estos

productos con suelos, para determinar sus características físico-químicas y comprobar su efectividad

A) COMPACTACION

Para estas bases estabilizadas se debe obtener la resistencia a la compresión según AASHTO T-135 y la densidad máxima Proctor, según AASHTO T-99.

2.6.4 SUPERFICIE DE RODADURA

Es la capa que se coloca sobre la base. Su objetivo principal es proteger la estructura de pavimento, impermeabilizando la superficie, para evitar filtraciones de agua de lluvia que podrían saturar las capas inferiores. Evita la desintegración de las capas subyacentes a causa del tránsito de vehículos. Asimismo, la superficie de rodadura contribuye a aumentar la capacidad soporte del pavimento, absorbiendo cargas, si su espesor es apreciable (mayor de 4 centímetros), excepto el caso de riegos superficiales, ya que para estos se considera nula.

Las superficies de rodadura de los pavimentos flexibles se dividen, según se muestra en la figura 2.11

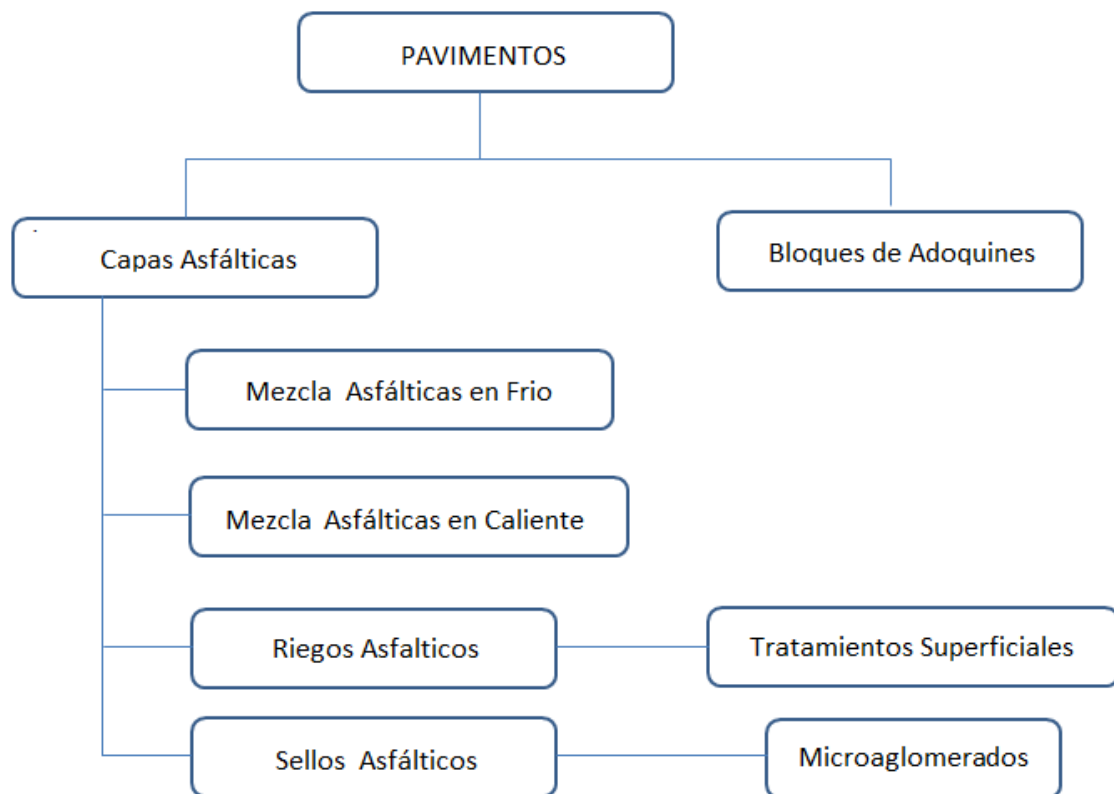


Figura 2.11 Tipos de Superficies de Rodadura en Pavimentos Flexible Fuente: Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos

La carpeta asfáltica es la parte superior del pavimento flexible que proporciona la superficie de rodadura, es elaborada con material pétreo seleccionado y un producto asfáltico dependiendo del tipo de camino que se va a construir. En las mezclas asfálticas, es de gran importancia conocer la cantidad de asfalto por emplearse, debiéndose buscar un contenido óptimo; ya que en una mezcla este elemento forma una membrana alrededor de las partículas de un espesor tal que sea suficiente para resistir los efectos del tránsito y de la intemperie, pero no debe resultar muy gruesa ya que además de resultar antieconómica puede

provocar una pérdida de la estabilidad en la carpeta, además este exceso de asfalto puede hacer resbalosa la superficie. El tipo y espesor de una carpeta asfáltica se elige de acuerdo con el tránsito que va a transitar por ese camino.

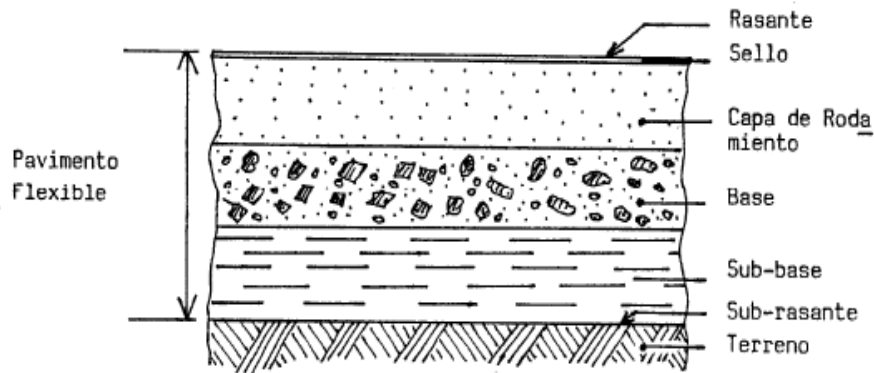


Figura 2.12 Fotografía de un Pavimento Flexible Fuente: Manual de procesos Constructivos para Pavimentos de baja intensidad del tráfico de el Salvador utilizando concreto hidráulico simple y emulsiones asfálticas.

2.6.4.1 MEZCLA ASFÁLTICA EN FRÍO

Es la mezcla de agregados pétreos con aglomerantes bituminosos emulsificados o asfaltos rebajados, materiales que deben cumplir con los requisitos aquí especificados, los cuales son mezclados mediante procedimientos controlados y darán como resultado un material con propiedades y características definidas.

A) MATERIALES

- Material bituminoso

El material bituminoso para la fabricación de la mezcla, será una emulsión asfáltica ó asfalto rebajado seleccionado de acuerdo al tipo de agregados que se pretenda utilizar, cumpliendo con AASHTO M-140 y M-208.

- Agregados pétreos

Los agregados pétreos serán rocas o gravas trituradas siendo materiales limpios, densos y durables, libre de polvo, terrones de arcilla u otras materias indeseables, que puedan impedir la adhesión completa del asfalto a los agregados pétreos.

Los materiales deben cumplir con el ensayo de abrasión según AASHTO T-96, equivalente de arena según AASHTO T-176; límite plástico según AASHTO T-90, límite líquido según AASHTO T-89 y desintegración al sulfato de sodio según AASHTO T-104.

2.6.4.2 MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE

Es la mezcla de agregados pétreos con aglomerantes bituminosos, materiales que deben cumplir con los requisitos aquí especificados, los cuales mezclados mediante procedimientos controlados en caliente, darán como resultado un material con propiedades y características definidas.

A) MATERIALES

- Material bituminoso

El material asfáltico, tipo, grado, y especificación del cemento asfáltico o del cemento asfáltico modificado con polímeros a usar, debe ser uno de los establecidos en la tabla de la figura 2.13.

TIPO Y GRADO DE CEMENTO ASFALTICO	ESPECIFICACION
Graduación por Viscosidad	AASHTO M-226
AC-10	
AC-20	
AC-40	
Graduación por penetración	AASHTO M-20
40-50	
60-70	
85-100	
120-150	
Graduación PG	AASHTO MP 1
22-64	
22-70	
22-76	
22-82	

Figura 2.13 Tabla Especificaciones del Cemento Asfáltico Fuente: Manual Centroamericano Para Diseño de Pavimentos.

Para el caso de asfaltos con clasificación PG (Performance Grade ò grado de comportamiento), el grado será de acuerdo con el rango comprendido entre el promedio de las temperaturas máximas durante los siete días más calurosos del año y la temperatura mínima donde se localice el proyecto incrementando el valor de temperatura alta un grado de conformidad con el manual del Instituto de Asfalto para tránsito lento y un grado adicional si el tránsito esperado excede ESAL`s de 30×10^6 en el carril de diseño, pudiéndose fijar grados intermedios

para los rangos de temperatura indicados en la tabla de la figura 6, o grados mayores que los indicados cuando así se requiera.

El rango de las temperaturas del cemento asfáltico para la preparación de la mezcla de los especímenes en el laboratorio, será el correspondiente para producir una viscosidad cinemática entre 0.15 y 0.19 Pascales-segundo (Pa-s) (150 y 190 centiStokes cS). Para el diseño de mezcla asfáltica por el procedimiento de Superpave, sólo se podrán usar los asfaltos con clasificación PG.

- Agregados Pétreos

Para los requerimientos de la Mezcla Asfáltica, se adoptará el método Marshall según AASHTO T-245, que sirve para verificar las condiciones de vacíos y estabilidad que deben satisfacer los valores indicados en el Manual Centroamericano de Especificaciones para la Construcción de Carreteras y Puentes Regionales, SIECA, 2,001.

La porción de agregados minerales gruesos retenida en la malla No. 8 se denominará agregado grueso y se compondrá de piedras o gravas trituradas. Sólo se podrá utilizar un tipo único de agregado grueso.

La piedra o grava triturada debe ser limpia, compacta y durable, carente de suciedad u otras materias inconvenientes y debe tener un desgaste no mayor de 40% a 500 revoluciones al ensayarse por el método de AASHTO T-96.

Al ser sometidas a ensayos alternativos de resistencia mediante sulfato de sodio empleando el método de AASHTO T-104, no podrá tener una pérdida en peso mayor de 12% en 5 ciclos.

Cuando se utilice grava triturada, no menos de 50% en peso de las partículas retenidas en la tamiz No. 4, debe tener dos caras fracturada como mínimo.

El agregado grueso no debe contener más de 8% en peso, de partículas planas o alargadas, considerándose partículas alargadas aquellas cuya relación de largo entre ancho es mayor que 5.0 y plana cuando la relación de ancho entre espesor es mayor que 5.0, según AASHTO T-11 y T-27.

La porción de agregados minerales que pasa la malla No. 8 se denominará agregado fino y podrá estar compuesto por arena natural, tamizados de piedra o de una combinación de ambos. Los agregados finos deben tener granos limpios, compactos, angulares y de superficie rugosa, carentes de terrones de arcilla u otras sustancias inconvenientes.

El material de relleno de origen mineral (filler) que sea necesario emplear, se compondrá de polvo calcáreo, roca dolomítica, cemento Portland u otros elementos no plásticos.

Estos materiales deben carecer de materias extrañas y objetables, serán secos y libres de terrones, y cuando sean ensayados en el laboratorio deben cumplir las siguientes exigencias granulométricas.

2.6.4.3 RIEGOS ASFALTICOS

Son riegos sucesivos y alternados de material bituminoso y agregados pétreos triturados, que son compactados para lograr una acomodación más densa.

Brinda a la superficie las condiciones necesarias de impermeabilidad, resistencia al desgaste y suavidad para el rodaje. Se pueden mencionar: Tratamientos superficiales simples, dobles y triples.

- **Tratamientos Superficiales**

Consiste en la aplicación de material asfáltico sobre la superficie preparada de base, el riego y compactación del material pétreo graduado, que sirve de cubierta y se colocará sobre el material asfáltico en diferentes capas alternándolas.

A) MATERIALES

- Material bituminoso

El material asfáltico usado será cemento asfáltico de penetración 120–150 según AASHTO M–20, cemento asfáltico de graduación por viscosidad AC-20 según AASHTO M–26 o emulsiones asfálticas RS-1, RS-2; CRS-1 y CRS-2, según AASHTO M-140.

Deben aplicarse a razón de 0.20 a 0.40 galones (US) de asfalto residual por metro cuadrado, a una temperatura entre 140°C y 177°C para el Cemento asfáltico 85-100 o el AC-20 por viscosidad; y una temperatura de 75°C a 130°C

para RS-1 y CRS-1, una temperatura de 110°C a 160°C para RS-2 y CRS-2 y rebajados.

- Agregados Pétreos

El material de cubierta debe cumplir con las especificaciones siguientes

ESPECIFICACIONES	
Análisis Mecánico	AASHTO T-27
Ensayo de Desgaste de los Ángeles	AASHTO T-96
Desintegración al Sulfato ² (5ciclos) de sodio	AASHTO T-104
Afinidad de Asfalto	AASHTO T-182

Figura 2.14 Tabla Especificaciones Fuente: Manual Centroamericano Para Diseño de Pavimentos.

El material de cubierta debe aplicarse a razón de 9.0 a 20.0 kg/m² y debe cumplir con los requisitos de graduación, según AASHTO M-43.

El agregado a utilizar debe tener un porcentaje de desgaste no mayor de 35% y no debe tener una desintegración máxima al sulfato de sodio de 12%. La cantidad de trituración se debe regular de manera que el 60% en peso de todo el material mayor que el tamiz No. 4 tenga un mínimo de dos caras mecánicamente fracturadas.

Por lo menos el 95% del asfalto debe retenerse cuando el material de cubierta esté sujeto al Ensayo de Afinidad al Asfalto, AASHTO T-182. El agregado que se contamine debe sustituirse antes de su uso.

NOTA: Se recomienda la colocación de riegos asfálticos sobre bases estabilizadas con cemento Portland, para minimizar que las grietas por dilatación o contracción se reflejen en la superficie; o en su caso, posterior a la estabilización, la colocación del tratamiento superficial debe efectuarse como mínimo 3 meses después, para dar lugar a que las grietas en la base se manifiesten, entre otras.

2.6.5 VENTAJAS DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE

- ✓ Fácil financiamiento por su bajo costo inicial.
- ✓ La construcción como las operaciones de mantenimiento se realizan en un tiempo mucho más corto.
- ✓ La marcha de los vehículos automotores es más suave por no tener juntas de unión.
- ✓ Pueden utilizarse nuevamente como base los pavimentos existentes cuando se coloque una nueva capa de rodaje.

2.6.6 DESVENTAJAS DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE

- ✓ Ocasionan mayores gastos en el mantenimiento.
- ✓ En época de invierno los daños son considerables y más costosas las operaciones de mantenimiento.

2.7 PAVIMENTOS RIGIDOS

Consiste en una losa de concreto hidráulico que puede o no poseer una capa de base entre losa y la subrasante. Se le llama rígido porque las deformaciones a las que debe de estar sometido deben ser casi nulas al ser sometido a las cargas del tránsito. La capacidad estructural de un pavimento rígido depende de la resistencia de las losas y, por lo tanto, el apoyo de las capas subyacentes ejerce poca influencia en la resistencia, niveles y compactación.

La losa de concreto hidráulico que en algunas ocasiones presenta un armado de acero, tiene un costo inicial más elevado que el flexible, su periodo de vida varía entre 20 y 40 años; el mantenimiento que requiere es mínimo y solo se efectúa (comúnmente) en las juntas de las losas.

Comúnmente se emplea el término para las superficies de rodamiento construidas con concreto de cemento Portland. Se supone en un pavimento construido con concreto hidráulico posee una considerable resistencia a la flexión, lo cual le permitirá trabajar como una viga tendiendo un puente sobre las pequeñas irregularidades de la subbase o terracería sobre la cual descansa.



Figura 2.15 Fotografía de la construcción de un Pavimento Rígido Fuente: Manual de procesos Constructivos para Pavimentos de baja intensidad del tráfico de el Salvador utilizando concreto hidráulico simple y emulsiones asfálticas.

En un pavimento rígido, debido a la consistencia de la superficie de rodadura, se produce una buena distribución de cargas, dando como resultado tensiones muy bajas en la subrasante. A continuación se presenta la distribución de esfuerzos en un pavimento rígido.

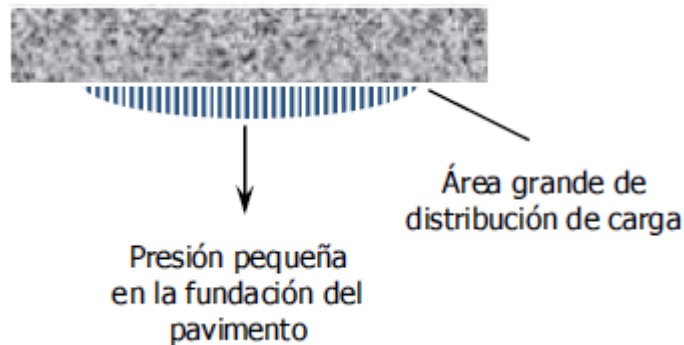


Figura 2.16 Distribución de esfuerzos de un Pavimento Rígido Fuente: Manual de procesos Constructivos para Pavimentos de baja intensidad del tráfico de el Salvador utilizando concreto hidráulico simple y emulsiones asfálticas.

2.8 COMPONENTE ESTRUCTURAL DE UN PAVIMENTO RIGIDO

Los pavimentos rígidos, son losas de concreto simple y con refuerzo (dovelas), que se colocan sobre la subbase directamente, o una subbase de suelo cemento. Estas losas de concreto constituyen el elemento más importante del pavimento, para resistir los efectos abrasivos del tráfico, proporcionando una superficie de rodamiento adecuada e impermeabilizando la parte interior del pavimento.

2.8.1 SUBRASANTE

Es la capa de terreno de una carretera que soporta la estructura del pavimento y que se extiende hasta una profundidad que no afecte la carga de diseño que corresponde al tránsito previsto. Esta capa puede estar formada en corte o

relleno y una vez compactada debe tener las secciones transversales y pendientes especificadas en los planos finales de diseño.

El espesor de pavimento dependerá en gran parte de la calidad de la subrasante, por lo que ésta debe cumplir con los requisitos de resistencia, incompresibilidad e inmunidad a la expansión y contracción por efectos de la humedad, por consiguiente, el diseño de un pavimento es esencialmente el ajuste de la carga de diseño por rueda a la capacidad de la subrasante.

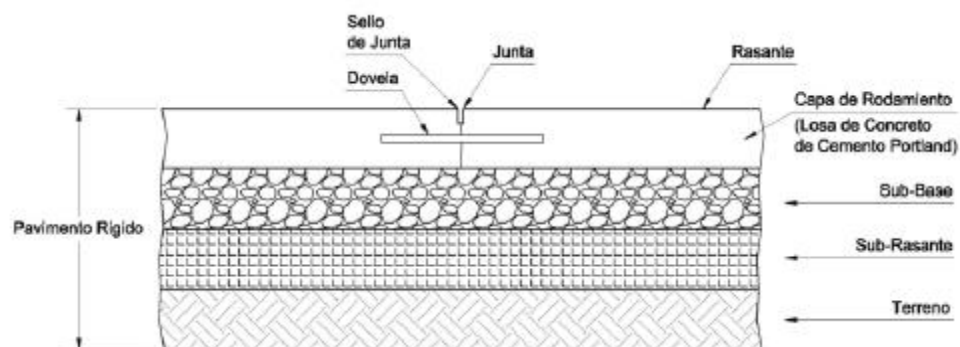


Figura 2.17 Esquema básico de la estructura de un Pavimento Rígido Fuente: Manual de procesos Constructivos para Pavimentos de baja intensidad del tráfico de el Salvador utilizando concreto hidráulico simple y emulsiones asfálticas.

a) **MATERIALES**

Tiene que estar libre de vegetación y materia orgánica, de lo contrario, el material deberá reemplazarse por material adecuado para subrasante en el tramo correspondiente o considerar la estabilización de los suelos subyacentes.

En general los materiales apropiados para capa de subrasante, son los suelos de preferencia granulares con porcentajes de hinchamiento según ensayos AASHTO T-193 y que no tengan características inferiores a los suelos que se encuentran en el tramo. Según AASHTO M-145, los suelos clasificados A-8, son materiales inadecuados para la capa de subrasante, ya que son suelos orgánicos constituidos por materiales vegetales o fangosos. Estos suelos generalmente tienen textura fibrosa, color café oscuro y olor a podredumbre y son altamente compresibles, con muy baja resistencia.

Cuando en la subrasante aparezcan áreas con este tipo de material, deberá reemplazarse por otro que llene los requisitos para subrasante, haciendo previamente la remoción del material inapropiado.

a) COMPACTACION

Para compactar la capa de subrasante, el espesor de ésta debe escarificarse, homogenizarse, mezclarse, conformarse y compactarse en su totalidad, hasta lograr la densidad máxima según AASHTO T- 180.

2.8.2 SUBBASE

Es la capa de la estructura de pavimento destinada fundamentalmente a soportar, transmitir y distribuir con uniformidad las cargas aplicadas a la superficie de rodadura de pavimento, de tal manera que la capa de subrasante la pueda soportar absorbiendo las variaciones inherentes a dicho suelo que

puedan afectar a la subbase. La subbase debe controlar los cambios de volumen y elasticidad que serían dañinos para el pavimento.

Se utiliza además como capa de drenaje y contralor de ascensión capilar de agua, protegiendo así a la estructura de pavimento, por lo que generalmente se usan materiales granulares. Al haber capilaridad en época de heladas, se produce un hinchamiento del agua, causado por el congelamiento, lo que produce fallas en el pavimento, si éste no dispone de una subrasante o subbase adecuada. Esta capa de material se coloca entre la subrasante y la capa de base, sirviendo como material de transición, en los pavimentos rígidos.

a) MATERIALES

El material de subbase deberá ser seleccionado y tener mayor valor soporte (CBR) que el material de subrasante y su espesor será variable por tramos, dependiendo de las condiciones y características de los suelos existentes en la subrasante. Los materiales de subbase deben ser suelos del tipo granular que llenen los siguientes requisitos:

- ✓ El valor soporte (CBR) debe determinarse según AASHTO T- 193 sobre muestra saturada según AASHTO T-180.
- ✓ El tamaño de las piedras que contenga el material de subbase no debe ser mayor de 2/3 del espesor de esta y los porcentajes que pasan los tamices No. 40 y No. 200, deben ser según AASHTO T-11 y T-27.

- ✓ El índice de plasticidad debe determinarse según AASHTO T-90, y el límite Líquido según AASHTO T-89, determinados ambos sobre una muestra preparada en húmedo, según AASHTO T-146.
- ✓ El equivalente de arena es determinado por el método AASHTO T-176.
- ✓ El material debe estar libre de impurezas tales como: basura, materia orgánica, terrones de arcilla y cualquier otro material que pueda ocasionar problemas específicos al pavimento.

b) COMPACTACION

El material de subbase debe ser tendido en capas no mayores de 20 centímetros de espesor. Este debe homogenizarse y conformarse, agregándole la cantidad de agua que sea necesaria para lograr la compactación en su totalidad, hasta alcanzar su densidad máxima por el método AASHTO T-180.

2.8.3 CAPA DE RODAMIENTO

Es la capa superior de la estructura de pavimento, construida con concreto hidráulico, por lo que debido a su rigidez y alto módulo de elasticidad, basan su capacidad portante en la losa, más que en la capacidad de la subrasante, dado que no usan capa de base. En general, se puede indicar que el concreto hidráulico distribuye mejor las cargas hacia la estructura de pavimento.

a) MATERIALES

- ✓ Cemento tipo Portland

Los cementos hidráulicos deben ajustarse a las Normas AASHTO M-85 para los Cementos Portland y a las normas AASHTO M-240, para Cementos Hidráulicos Mezclados.

El cemento Portland debe cumplir con las especificaciones indicadas

AASHTO	Referencia
T – 89	Finura del cemento (por turbidímetro)
T – 105	Composición química del cemento
T – 106	Resistencia a la compresión del mortero del cemento
T – 107	Expansión del cemento en autoclave
T – 127	Muestreo del cemento
T – 131	Tiempo de fraguado (agua de Vicat)
T – 137	Contenido de aire del mortero de cemento
T – 153	Finura del cemento (permeámetro)
T – 154	Tiempo de fraguado (aguja de Gilmore)
T - 186	Endurecimiento inicial del cemento

Figura 2.5.4.: Especificaciones para el Cemento Portland: Manual Centroamericano de Especificaciones para la Construcción de Carreteras y Puentes Regionales, SIECA, 2001.

Además, se debe indicar su clase de resistencia en MPa o en lbs/pulg², según sea el caso, 21, 28, 35 y 42 MPa (3000, 4000, 5000 y 6000 lb/pulg²), que corresponde a una resistencia mínima a 28 días.

Cuando no se especifique el cemento a usar, éstos deberán tener una clase de resistencia de 28 MPa (4000 lb/pulg²) o mayor.

✓ Agregados Finos

Debe consistir en arena natural o manufacturada, compuesta de partículas duras y durables, de acuerdo a AASHTO M-6, clase B

✓ Agregados gruesos

Deben consistir en gravas o piedras trituradas, trituradas parcialmente o sin triturar, procesadas adecuadamente para formar un agregado clasificado, de acuerdo con AASHTO M-80.

✓ Agua

El agua para mezclado y curado del concreto o lavado de agregados debe ser preferentemente potable, limpia y libre de cantidades perjudiciales de aceite, ácidos, álcalis, azúcar, sales como cloruros o sulfatos, material orgánico y otras sustancias que puedan ser nocivas al concreto o al acero.

El agua de mar o salóbregas y de pantanos, no deben usarse para concreto hidráulico. El agua proveniente de abastecimientos o sistemas de distribución de agua potable, puede usarse sin ensayos previos.

En donde el lugar de abastecimiento sea poco profundo, la toma debe hacerse de forma que excluya sedimentos, toda hierba y otras materias perjudiciales.

✓ Aditivo

El uso de aditivos para concreto, tiene por objeto mantener y mejorar esencialmente la composición y rendimiento del concreto de la mezcla básica.

a) Ceniza Volante

Se ha usado ceniza volante para mezclas del sistema de pavimentos de concreto de apertura rápida, pero generalmente como un aditivo y no como

sustituto del cemento Portland y debe cumplir con lo estipulado en AASHTO M-295.

b) Aditivos Químicos

Son aquellos que sin cambiar las características naturales del concreto hidráulico para pavimentos, ayudan en los diferentes procesos de construcción, siendo estos inclusores de aire según AASHTO M-159, reductores de agua según AASHTO M-194, acelerantes y desacelerantes de fraguado según AASHTO M-194.

2.9 TIPOS DE PAVIMENTOS RIGIDOS

Los pavimentos rígidos pueden dividirse en tres tipos:

a) CONCRETO HIDRÁULICO SIMPLE

No contiene armadura en la losa y el espaciamiento entre juntas es pequeño (entre 2.50 a 4.50 metros ó 8 a 15 pies). Las juntas pueden o no tener dispositivos de transferencia de cargas (dovelas).

b) CONCRETO HIDRÁULICO REFORZADO

Tienen espaciamientos mayores entre juntas (entre 6.10 y 36.60 metros ó 20 a 120 pies) y llevan armadura distribuida en la losa a efecto de controlar y mantener cerradas las fisuras de contracción.

c) CONCRETO HIDRÁULICO REFORZADO CONTINUO

Tiene armadura continua longitudinal y no tiene juntas transversales, excepto juntas de construcción. La armadura transversal es opcional en este caso.

Estos pavimentos tienen más armadura que las juntas armadas y el objetivo de esta armadura es mantener un espaciamiento adecuado entre fisuras y que éstas permanezcan cerradas.

2.9.1 VENTAJAS DE LOS PAVIMENTOS RIGIDOS

Entre las ventajas que presenta un pavimento de concreto hidráulico sobre un pavimento flexible se pueden enumerar las siguientes

✓ DURABILIDAD

Una de las ventajas más significativas de los Pavimentos de concreto hidráulico es la durabilidad del concreto ,para lograr esta durabilidad es importante considerar, además de la resistencia adecuada del concreto ante las sollicitaciones mecánicas ,todos los agentes externos de exposición a los que estará sujeto el pavimento para elaborar la mezcla apropiada y definir las recomendaciones para la colocación del concreto hidráulico .Se deben de realizar los proporcionamiento de mezcla adecuados ,con ciertas relaciones agua/cemento, utilizando aditivos que permitan una reducción de agua en la mezcla y que de la trabajabilidad adecuada al concreto aun con revenimientos bajos como los utilizados en autopistas.

Otro aspecto importante para lograr esta durabilidad tiene que ver con los materiales que forman la estructura de soporte, es importante conocer con detalle las características de los mismos y sus grados de compactación apoyados con los estudios de la mecánica de suelos de la ruta.

Es importante que el diseñador cuente con la suficiente información para poder estimar de forma precisa el volumen del tráfico y las cargas vehiculares que estarán transitando por el pavimento con el objeto de realizar un diseño estructural adecuado para cubrir adecuadamente la durabilidad del proyecto por efectos de fatiga.

✓ **BAJO COSTO DE MANTENIMIENTO**

Los pavimentos de concreto hidráulico se han caracterizado por requerir un mínimo de mantenimiento a lo largo de su vida útil.

Esto es sin duda una de las mayores ventajas que ofrecen esta alternativa de pavimentación. La significativa reducción en los costos de mantenimiento de una vía permite que el concreto sea una opción muy económica. Esto normalmente se puede visualizar al realizar un análisis del costo ciclo de vida que puede ser comparado con alguna otras alternativas de pavimentación.

El análisis del costo ciclo de vida es una herramienta que nos ayuda para soportar la toma de decisiones. El mantenimiento que requieren los pavimentos rígidos es mínimo, sin embargo es muy importante que el mismo se provea en tiempo y forma adecuados para garantizar las propiedades del pavimento.

✓ **SEGURIDAD**

El concreto hidráulico colocado bajo las especificaciones y con los equipos adecuados permite lograr una superficie de rodamiento con alto grado de

planicidad y dada su rigidez esta superficie permanece plana durante toda su vida útil, evitando la formación de roderas las cuales disminuyen el área de contacto entre llanta y pavimento produciendo el efecto de acuaplaneo en los días de lluvia. Otro fenómeno que se evita con la utilización del concreto hidráulico es la formación de severas deformaciones en las zonas de arranque y de frenado que hacen a los pavimentos ser más inseguros y maltratan fuertemente los vehículos.

Por el color claro del pavimento de concreto hidráulico se tiene una mejor visibilidad en caso de transitar de noche o en la oscuridad de días nublados.

✓ **ALTOS ÍNDICES DE SERVICIO**

Los pavimentos de concreto hidráulico permiten ser construidos con altos índices de servicio, como se menciona en el punto anterior se puede lograr un alto grado de planicidad o un índice de perfil muy bueno, adicionalmente siguiendo las recomendaciones de construcción adecuadas se puede proveer al pavimento de una superficie altamente antiderrapante. La utilización de pasa juntas permite mantener estos índices de servicio, evitando la presencia de escalonamiento en las losas sobretodo en tramos donde el tráfico es significativamente pesado.

✓ **MEJOR DISTRIBUCIÓN DE ESFUERZOS BAJO LAS LOSAS**

Dada la rigidez de la losa los esfuerzos que se transmiten a las capas inferiores del pavimento se distribuyen de una manera prácticamente uniforme, cosa contraria a lo que sucede con los pavimentos flexibles en donde las cargas vehiculares concentran un gran porcentaje de su esfuerzo exactamente debajo del punto de aplicación de la carga y que se van disminuyendo conforme se alejan de la misma. La distribución uniforme de las cargas permite que los esfuerzos máximos que se transmiten al cuerpo de soporte sean significativamente menores en magnitud, lo que permite una mejor condición y menor deterioro de los suelos de soporte.

2.9.2 DESVENTAJAS DE LOS PAVIMENTOS RIGIDOS

✓ **Tiene un costo inicial mucho más elevado que el pavimento flexible**

Requiere un costo inicial mayor que el pavimento flexible, pero los costos de mantenimientos en comparación con un pavimento flexible, son menores.

CAPITULO III
ESTUDIO DE CAMPO
Y PARAMETROS
PARA EL DISEÑO DE
LA ESTRUCTURA DEL
PAVIMENTO

3.1 INTRODUCCION

En este capítulo se estudian las propiedades básicas de la subrasante y se analizan ensayos que permitan conocer en mejor forma el comportamiento de estos suelos. En estos ensayos se utilizan cargas estáticas o de baja velocidad de deformación tales como el CBR, ensayos de compresión simple. Estos se cambiaron por ensayos dinámicos y de repetición de cargas como el del módulo de resiliencia, que son pruebas que demuestran en mejor forma el comportamiento y lo que sucede debajo de los pavimentos en lo que respecta a tensiones y deformaciones.

Las propiedades físico-mecánicas son las características utilizadas para la selección de los materiales, las especificaciones de construcción y el control de calidad.

También dentro de las consideraciones que deben tomarse en cuenta para el diseño de estructuras de un pavimento, es necesario analizar fundamentalmente la problemática que representa el comportamiento de los pavimentos debido al tránsito, ya que éste se incrementa conforme el desarrollo tecnológico y crecimiento demográfico, lo que trae a su vez mayor cantidad de repetición de ejes y cargas.

3.2 PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LOS SUELOS PARA SUBRASANTE

La subrasante es definida como el suelo preparado y compactado para soportar la estructura de un sistema de pavimento.

Estas propiedades de los suelos que constituyen la subrasante, son las variables más importantes que se deben considerar al momento de diseñar una estructura de pavimento. Las propiedades físicas se mantienen invariables aunque se sometan a tratamientos tales como homogenización, compactación, etc., Sin embargo, ambas propiedades cambiarían cuando se realicen en ellos procedimientos de estabilización, a través de procesos de mezclas con otros materiales (cemento, cal, puzolanas, etc.) o mezclas con químicos.

Para conocer las propiedades de los suelos en un proyecto, es necesario tomar muestras en todo el desarrollo del mismo, posteriormente en el laboratorio se determinarán sus propiedades:

- ✓ Granulometría
- ✓ Límites de Atterberg (líquido e índice plástico)
- ✓ Valor Soporte (CBR)
- ✓ Densidad (Proctor)
- ✓ Humedad

Con los datos obtenidos, se elabora un perfil estratigráfico en el cual se detallan los distintos tipos de suelos y su profundidad.

3.3 CLASIFICACION DE LOS SUELOS

La clasificación de suelos es el indicador de las propiedades físico - mecánicas que tienen los suelos. La clasificación que mejor describe y determina las propiedades de un suelo a usarse como subrasante es la clasificación de AASHTO M-145; las primeras variables son: la granulometría y la plasticidad.

En términos generales, un suelo conforme a su granulometría se clasifica así:

- ✓ Grava: de un tamaño menor a 76.2 mm (3") hasta tamiz No. 10 (2 mm)
- ✓ Arena Gruesa: de un tamaño menor a 2 mm hasta tamiz No. 40 (0.425 mm)
- ✓ Arena Fina: de un tamaño menor a 0.425 mm hasta tamiz No. 200 (0.075 mm)
- ✓ Limos y Arcillas: tamaños menores de 0.075 mm

Conforme AASHTO, un suelo fino es el que tiene más del 35% que pasa el tamiz No. 200 (0.075 mm), los cuales se clasifican como A-4, A-5, A-6 o A-7.

Dos suelos considerados finos que tengan granulometrías similares, pueden llegar a tener propiedades diferentes dependiendo de su plasticidad, cualidad que se analiza en el suelo que pasa el tamiz No. 40; dichas propiedades de plasticidad, se analizan conforme las pruebas de límites de Atterberg (AASHTO T-89 y T-90), las cuales son:

- Límite Líquido o LL: porcentaje de humedad máximo que puede tener un suelo para poder ser amasado.

- Límite Plástico o LP: porcentaje de humedad mínimo que puede tener un suelo para ser amasado.
- Índice Plástico o IP: porcentaje de humedad por debajo del cual el suelo no pierde más volumen.

En mecánica de suelos interesan el LL y el LP, cuya diferencia es el índice de plasticidad, que indica la plasticidad del material o sea el rango de humedades dentro del cual el suelo puede ser amasado.

De lo descrito anteriormente, se concluye que para los suelos gruesos, la propiedad más importante es la granulometría y para los suelos finos son los límites de Atterberg.

3.4 RELACION ENTRE HUMEDAD Y DENSIDAD

La relación entre la humedad y la densidad de un suelo compactado, es una situación muy importante que se requiere al analizar las propiedades del mismo. Para el efecto se desarrollan los ensayos Proctor, AASHTO T-99 (estándar) y T-180 (modificado) y son los que permiten determinar la humedad óptima o sea la humedad ideal en la cual el suelo llega a su densidad máxima y a su vez alcanza sus mejores propiedades mecánicas. El valor de esta humedad óptima depende directamente de la cantidad de energía de compactación a la que se ha sometido el suelo; al ser mayor la energía de compactación, la humedad óptima será menor y la densidad seca será mayor.

3.5 ENSAYOS DE RESISTENCIA PARA SUELOS DE SUBRASANTE

Los ensayos destinados a medir la resistencia de un suelo frente a cargas dinámicas de tránsito son muy variados, siendo los más comunes:

- Relación de Valor Soporte California (CBR)
- Valor de resistencia de Hveem (Valor R)
- Ensayo de placa de carga (Valor k)
- Penetración dinámica con cono
- Módulo de resiliencia (Mr)

3.5.1 VALOR SOPORTE CALIFORNIA CBR (AASHTO T-193)

Mide la resistencia del suelo a la penetración de un pistón de 1935 mm² (3 pulg²) de área de una probeta de 15 cm (6 pulg) de diámetro y 12.5 cm (5 pulg) de altura, con una velocidad de 1.27 mm/min (0.05pulg/min). La fuerza requerida para forzar el pistón dentro del suelo se mide a determinados intervalos de penetración. Estas fuerzas se comparan con las necesarias para producir iguales penetraciones en una muestra patrón que es una piedra partida bien graduada. El CBR es, por definición:

$$\text{CBR} = \frac{\text{carga que produce una penetración de 2.5 mm en el suelo}}{\text{carga que produce una penetración de 2.5 mm en lamuestra patrón}}$$

Relación que nos da un valor que se indica en porcentaje, el cual puede ser muy variable dependiendo de los suelos analizados; 2 a 4 % en arcillas plásticas hasta un 70 % o más en materiales granulares de buena calidad.

Todos los suelos, tanto finos como gruesos o sus mezclas, se compactan a diferentes contenidos de humedad tanto arriba como bajo de su humedad óptima. Las muestras elaboradas bajo estos procedimientos, se sumergen en agua durante un período mínimo de 96 horas, antes de proceder a su ensayo, con el objeto de simular las condiciones de saturación a las cuales van a estar sometidos los suelos como la subrasante de una carretera, y en esta forma, obtener los CBR's de los suelos bajo las condiciones más críticas. En el ensayo y en inmersión, se colocan pesos sobre las muestras, con el objeto de simular las cargas tanto vehiculares, como de la estructura de pavimento, a las cuales van a estar sometidos los suelos de la subrasante.

El método del CBR para diseño de pavimentos, fue uno de los primeros en utilizarse y se basa principalmente en que a menor valor de CBR de la subrasante es necesario colocar mayores espesores en la estructura de pavimento para protegerlo de la frecuencia de las cargas de tránsito.

3.5.2 VALOR DE RESISTENCIA HVEEM, VALOR R (AASHTO T-246)

Este ensayo consiste en preparar una muestra cilíndrica de 4" (10cm) de diámetro y 2.5" (6.3cm) de alto envuelta en una membrana y sometida a carga vertical sobre la sección completa de la muestra a una presión dada; con esto se mide la presión horizontal resultante, que es la que sirve para calcular el valor R, para lo cual se utiliza la siguiente formula:

$$R = 100 - \frac{100}{\frac{2.5}{D} \left(\frac{P_v}{P_h} - 1 \right) + 1}$$

R = se mide para $p_v = 11.2 \text{ Kg/cm}^2$ (1102 KPa ó 160 psi)

p_v = presión vertical aplicada

p_h = presión horizontal en el manómetro

D = desplazamiento horizontal de la muestra, registrado por el número de vueltas de la manivela para pasar de P_h a 7 Kg/cm^2 (689 kPa o 100 psi)

En realidad este ensayo involucra dos ensayos separados:

- a) El espesor de recubrimiento requerido para resistir la expansión del suelo, determinado por el ensayo de presión de expansión.
- b) El ensayo del valor R evalúa la capacidad del suelo para resistir cargas.

Estos valores han sido correlacionados con el CBR y otras propiedades.

3.5.3 ENSAYO DE PLATO DE CARGA, VALOR K (AASHTO T-222)

Este ensayo consiste en cargar un plato y medir la presión necesaria para producir una determinada deformación en el suelo. k es el cociente de dividir la presión (p) aplicada entre de la deformación (Δ) producida en el suelo.

$$k = \frac{P}{\Delta}$$

El valor k está en función del plato de carga, ya que los de diámetro igual a 91.4 cm (36'') se usan para pavimentos rígidos y los de 30.5 o 45.7 cm (12'' a 18'') para pavimentos flexibles.

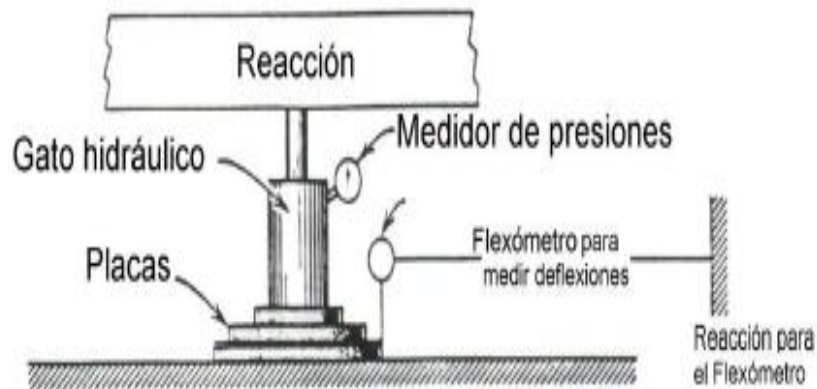


Figura 3.1 Ensayo placa de carga Fuente: Manual AASHTO 93 castellano.

Este ensayo se hace en el campo y requiere un equipo costoso. Dado que es un ensayo realizado in situ, no puede ser hecho a diferentes densidades y contenidos de humedad para considerar las distintas condiciones de servicio, por lo que se recomienda que el valor k de campo sea ajustado para considerar las condiciones más desfavorables de la subrasante. Este factor de corrección se obtiene como el cociente de la deformación a 10 psi (68.9 KPa o 0.7 Kg/cm²) de presión para un suelo no saturado y saturado.

$$k_{\text{corregido}} = \frac{d}{d_{\text{saturado}}} k_{s/\text{corregir}}$$

3.5.4 ENSAYO DE PENETRACION DINAMICA CON CONO

Este ensayo sirve para medir en el terreno, la resistencia que tienen los materiales, tanto de estructuras de pavimento como de subrasante. La operación consiste en hacer penetrar el cono dentro del pavimento o suelo, haciendo que una carga concentrada que funciona como martillo se deje caer repetidamente y se registre la penetración obtenida en cada caída en mm/golpe, denominado cada valor como tasa de penetración dinámica = PR (Penetration Rate).

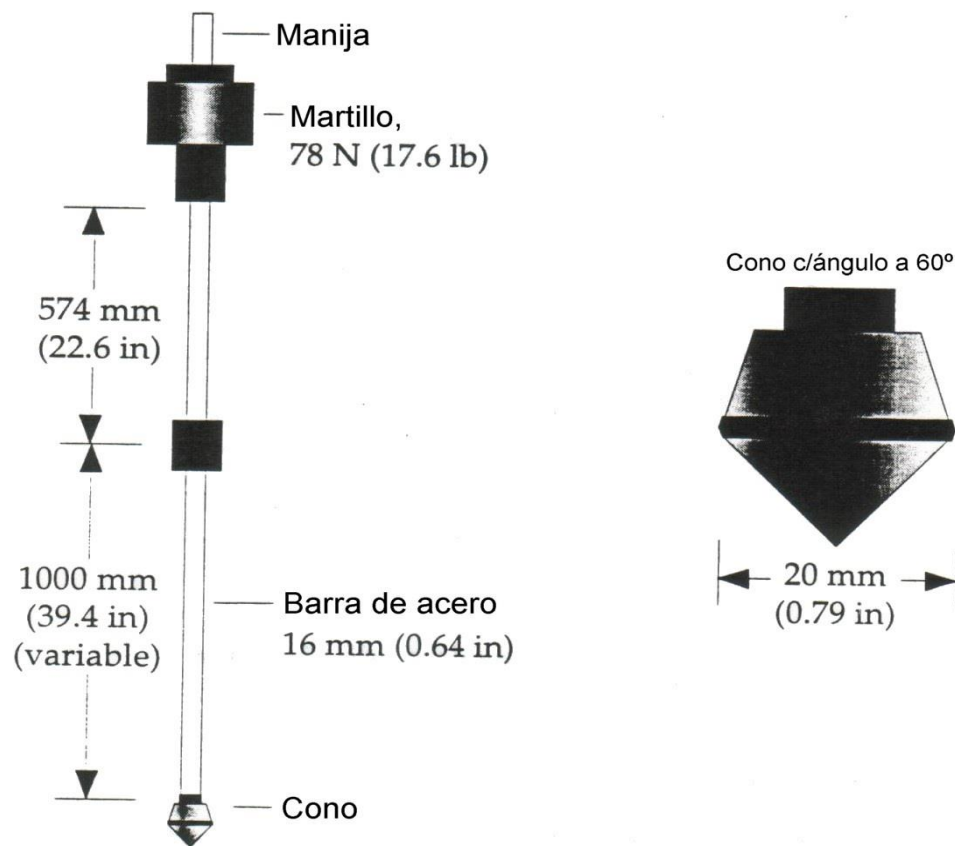


Figura 3.2 Penetrometro dinámico de cono Fuente: Manual AASHTO 93 castellano.

El CBR está relacionado con PR en la siguiente forma:

$$\text{CBR} = 405.3 / PR^{1.259} \quad \text{para conos a } 60^\circ$$

$$\text{CBR} = 2.2 - 0.71 \text{ Log } DCP^{1.3} \quad \text{para conos a } 30^\circ$$

En donde:

PR = Tasa de Penetración en mm/golpe

DCP = Tasa de Penetración en plg/golpe

3.5.5 ENSAYO MODULO DE RESILIENCIA M_r (AASHTO T-294)

Este ensayo se desarrolló con el objeto de analizar la propiedad que tienen los materiales de comportarse bajo cargas dinámicas como las ruedas de tránsito.

Una rueda al moverse transmite fuerzas dinámicas a todas las capas de pavimento incluyendo a la subrasante y como reacción a estas fuerzas, cada capa de pavimento se deforma; el resultado de estas fuerzas de reacción varía desde un valor muy bajo hasta su máximo, en un período muy breve, ya que está en función de la velocidad y peso del vehículo.

Este ensayo no es destructivo de la muestra, ya que estas no fallan durante el análisis. Dichas muestras son de forma cilíndrica y se colocan en una cámara triaxial, la cual permite ejercer innumerables presiones de confinamiento a la muestra; con un dispositivo especial es posible aplicar cargas pulsantes de diferente magnitud y duración. En dicho ensayo se registra la deformación sufrida por la muestra.

En el ensayo se siguen las directrices de AASHTO T-294-92, el cual se divide en dos procedimientos, como sigue:

a) Para materiales tipo 1 o sea materiales granulares no ligados y subrasantes con menos del 70 % que pasa el tamiz No. 10 y menos del 20 % que pasa tamiz No. 200.

b) Para materiales tipo 2 o sea subrasantes que no cumplen con los requerimientos de los tipos 1, tales como los suelos A-4, A-5, A-6, A-7 y en algunos casos los A-1-b, A-2 y A-3.

Este ensayo del módulo de resiliencia es más sensible a las propiedades de los suelos que otros ensayos de resistencia; una cualidad de este ensayo, es que al no romperse la muestra, ésta se puede someter a varios tipos de tensiones, lo que permite ahorrar tiempo en la preparación de otras, reduciendo errores. Las muestras se pueden preparar con diferentes contenidos de humedad, así como diferentes valores de compactación.

El contenido de humedad de un suelo tiene un fuerte impacto en el valor del módulo de resiliencia, ya que éste disminuye cuando se incrementa el contenido de humedad y obliga a hacer ajustes en los valores del módulo cuando el pavimento se satura en determinada época climatológica.

Por el tipo de pruebas, es muy difícil dar valores típicos del módulo de resiliencia para cada uno de los tipos de suelo, ya que este valor no solo está afectado por las diferentes formas de construcción sino que también por el tipo

de suelo, granulometría, contenido de humedad, etc. Es conveniente tratar de tener para cada área de construcción, el análisis de los suelos predominantes, con el objeto de que para otros proyectos se puedan correlacionar los módulos de resiliencia.

3.5.5.1 DATOS A REGISTRAR DEL ENSAYO

✓ Cargas

La carga aplicada a la probeta debe ser registrada para cada ensayo y se lo hace con una célula de carga electrónica. La presión de confinamiento puede ser registrada fácilmente con un medidor de presiones.

Para suelos finos la variable que interesa es la tensión desviadora $\sigma_1 - \sigma_3$ mientras que para suelos granulares interesa la tensión volumétrica

$$\theta_3 = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3$$

✓ Deformaciones

Debido a las cargas dinámicas repetidas, la probeta sufre deformaciones verticales, cuya relación con la carga desviadora está indicada en la Figura 3.2. Como puede verse, la deformación vertical consta de dos componentes, la permanente e_p , que no se recupera cuando la carga es removida y la resiliente e_r , que es recuperable cuando cesa la carga.

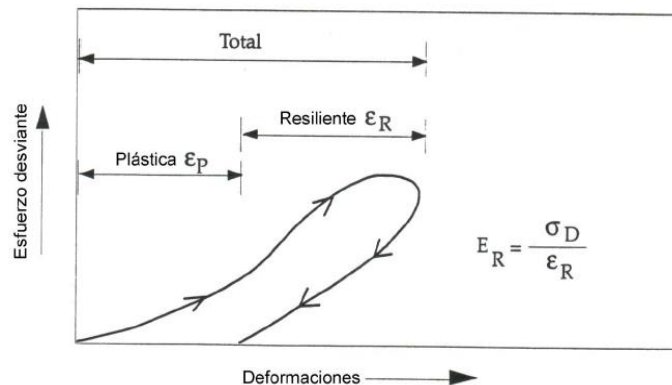


Figura 3.3 Penetrometro dinámico de cono Fuente: Manual AASHTO 93 castellano.

3.5.5.2 EQUIPO PARA HACER EL ENSAYO

Para realizar este ensayo es necesario contar con el siguiente equipo:

- Cámara triaxial
- Dispositivo para carga repetitiva
- Equipo para registrar cargas y deformaciones
- Equipo para preparación de las probetas

a) Cámara triaxial

En la Figura 3.4 se representa la cámara triaxial necesaria para hacer este ensayo. Es similar a cualquier cámara triaxial, pero un poco más grande para acomodar el mecanismo interno de medida de cargas (célula de carga). La deformación de la probeta se mide externamente.

b) Dispositivo de carga repetitiva

para ciclos prefijados de cargas y períodos de reposo. En general la carga se aplica en 0.1 seg y hay un período de reposo de 1 seg

c) Equipo de medida de cargas y deformaciones

La carga se mide mediante una célula de carga eléctrica ubicada entre la cabeza de la muestra y el pistón de carga (ver Figura 4.11). La capacidad de esta célula varía entre 100 (0.4 KN) y 1400 lbs (6.2 KN). Las presiones de cámara se miden mediante manómetros, piezómetros o transductores de presión con una precisión de 0.1 psi (0.7 KPa o 0.007 Kg/cm²). La medición de la deformación de la probeta se realiza con dos transductores LVDT ubicados a cada lado de la probeta.

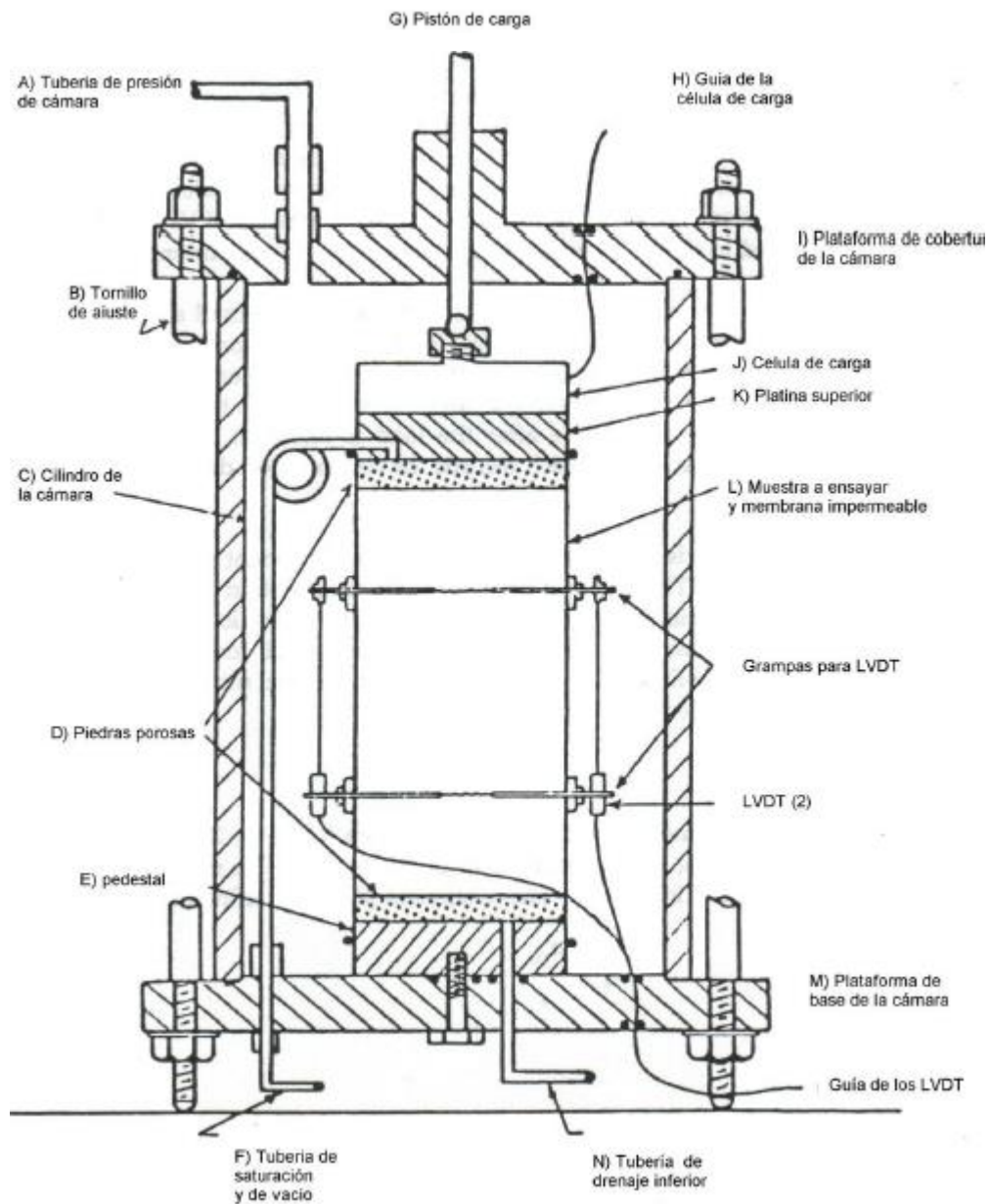


Figura 3.4 Cámara Triaxial Fuente: Manual AASHTO 93 castellano.

Para determinar el módulo resiliente es necesario registrar toda la deformación axial de la probeta a lo largo de todo el ensayo. Para procesar los datos es muy

conveniente contar con una computadora conectada con los dispositivos de medida.

3.6 CAMPAÑA GEOTECNICA

La geología y la geotecnia constituyen unos de los condicionantes más importantes a la hora de decidir el trazo de las vías de comunicación, estos aspectos deben tenerse en cuenta en los proyectos cuando se deba escoger entre las posibles soluciones.

La campaña geotécnica comprende las actividades siguientes, reconocimiento de campo, la investigación del subsuelo, los análisis y recomendaciones de ingeniería necesarios para el diseño y construcción de las obras en contacto con el suelo, de tal forma que se garantice un comportamiento adecuado de las estructuras (superestructura y subestructura), que preserve la vida humana, así como también evite la afectación o daño a construcciones vecinas

3.7 OBJETIVOS DE LA CAMPAÑA GEOTÉCNICA

Los principales objetivos que se buscan al planificar una campaña de este tipo enfocada a la construcción de carreteras se tienen los siguientes

- Definir la tipología y dimensiones de la obra, de tal forma que las cargas generadas por excavaciones y rellenos, o las cargas soportadas por estructuras de contención, no produzcan situaciones de inestabilidad o movimiento excesivos de las propias estructuras o del terreno.

- Determinar la profundidad del nivel freático
- Prevenir problemas relacionados con el agua tales como: filtraciones, arrastres y erosiones internas
- Determinar la adecuada forma de ejecutar las excavaciones, así como su volumen, localización y tipo de materiales que han de ser excavados, el método y maquinaria adecuada según el tipo de suelo para llevar a cabo dicha excavación.

3.8 PLANEAMIENTO DE UN PROGRAMA DE EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO

Para el planeamiento de un programa de exploración del subsuelo es necesario el tipo de obra a construir, dicho programa incluye algunas o la totalidad de las siguientes fases.

3.8.1 RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN DISPONIBLE

Mapa Topográfico

Identificar la topografía del terreno a través curvas de nivel normales u otros sistemas de representación gráfica. Identificación de quebradas, partes altas y bajas del proyecto.

Mapa Hidrológico

Conocer información sobre hábitats acuáticos, como estudios de vegetación, y la gestión y la planificación del agua. Así como también permite conocer la profundidad del nivel freático y ubicación de los pozos. En cuanto a la estabilidad de taludes, cortes en carretera, cimentaciones y obras subterráneas, es necesario conocer el comportamiento de las aguas subterráneas porque pueden suceder fenómenos de geodinámica, alteración y deformación de los materiales.

3.8.2 RECONOCIMIENTO

En esta fase se trata de obtener información preliminar relativa a las características del suelo, por medio de un examen minucioso del sitio y sus alrededores, así como del estudio de las diferentes fuentes de información disponible, para determinar la naturaleza del depósito y estimar las condiciones del suelo.

➤ TOPOGRAFIA GENERAL DEL SITIO

- Observar si existe erosión
- La posible existencia de canales de drenaje
- Identificar tiraderos de basura abandonados y otros materiales presentes en el sitio.

- Existencia de grietas de contracción en el suelo, ya que esto indicaría suelos expansivos
- Evidencia de deslizamientos de taludes
- Observar si existen quebradas cercanas
- Revisar la información de la topografía del sitio y compararla con los planos del diseño preliminar

➤ **TIPOS DE CONSTRUCCIONES VECINAS**

- Existencia de grietas en las paredes por sentamiento y deformaciones, reflejado posiblemente en puertas y ventanas desajustadas.
- Huellas de niveles altos de agua en edificios y estribos de puentes cercanos.
- Observar pozos cercanos para poder determinar los niveles de agua freática.

➤ **GEOLOGIA PRELIMINAR**

- En caso de tener cortes profundos, como los hechos en la construcción de caminos y ferrocarriles cercanos observar la estratificación del suelo, color, espesor de estratos.
- Identificar el tipo de vegetación, el cual puede indicar la naturaleza del suelo.

- Observar si existen afloramientos rocosos o zonas de grava y cantos rodados, los cuales pueden indicar la presencia de mantos rocosos o de otras formaciones geológicas resistentes.
- Observar si existen talud cercanos, verificar si estos presentan rasgos que puedan ocasionar problemas de inestabilidad o si existen flujos de agua en la zona que pudieran generar la erosión de la superficie expuesta de los talud.

Un ingeniero siempre debe hacer una inspección visual del sitio para obtener información, para esto debe de realizar las siguientes actividades.

La investigación en la fase de reconocimiento sirve para establecer las condiciones probables del suelo en el sitio; ocasionalmente, podría llevar a abandonar dicho reconocimiento sin estudios adicionales, si aquel se presenta inadecuado para la estructura.

Con todo lo anterior se deben tener suficientes criterios para poder planificar la campaña para definir: el número de sondeo, espaciamiento y profundidad.

3.8.3 INVESTIGACION EXPLORATIVA

La fase de investigación del programa de exploración consiste en efectuar sondeos de prueba y recolectar muestras del suelo a intervalos deseados para su observación subsiguiente y pruebas de laboratorio. Una programación cuidadosa de ella permite obtener información específica y confiable con la

menor cantidad posible de recursos, con el objetivo principal de obtener información precisa referente a las condiciones reales del suelo en el sitio.

La principal dificultad en esta programación radica en determinar el número, espaciamiento, y profundidad de las perforaciones.

- **NÚMERO DE SONDEOS**

El número de perforaciones debe ser el apropiado para proporcionar una determinación razonable de la existencia de zonas críticas de suelo, espesor y la profundidad del estrato o estratos portantes previstos, y para localizar todos los posibles puntos blandos en el suelo de soporte que pudieran afectar en forma adversa la seguridad y el comportamiento del diseño propuesto.

- **UBICACIÓN Y NÚMERO DE SONDEOS**

Para la ubicación de sondeos en una campaña geotécnica es recomendable remitirse a las normativas geotécnicas nacionales e internacionales ya que se presentan los criterios necesarios para esta tarea. Generalmente la ubicación de los sondeos dependerá de las concentraciones de carga de la superestructura en el terreno, ya que a mayor concentración de carga es necesario ubicar los sondeos más próximos, con el objetivo de obtener información geotécnica precisa de las condiciones de terreno en la zona donde se proyectan mayores cargas.

Según Sowers & Sowers (1986)² el espaciamiento debe ser menor en las áreas más críticas, en la siguiente tabla se muestra el espaciamiento dependiendo del tipo de estructura u obra.

Estructura u obra	Espaciamiento, m.
Carretera (investigación de la subrasante)	300-600
Presa de tierra, diques	30-60
Excavación para préstamo	30-120
Edificio de varios pisos	15-30
Edificio industrial de un piso	30-90

Figura 3.2 Espaciamiento de los sondeos Fuente: Tesis, Elaboración del mapa de Características Geotécnicas para el Municipio de San Salvador y propuesta de requerimientos mínimos.

Cuando las condiciones del suelo son regulares y uniformes, los espaciamientos indicados se pueden duplicar y si son irregulares se reducen a la mitad

- **PROFUNDIDAD DE EXPLORACION**

En el caso más frecuente, la profundidad dada a la perforación debe cumplir el objetivo de suministrar información sobre aquellas características que permiten llevar a cabo las predicciones de asentamientos, y que comprende todos los estratos que puedan consolidarse o comprimirse bajo las cargas de la estructura.

² Sower & Sower (1986). Introducción a la mecánica de suelos y cimentaciones

- **INVESTIGACION DETALLADA O DEFINITIVA**

Como consecuencia del análisis y de la evaluación de parte o de la totalidad de los resultados de la investigación realizada en la fase anterior, se llega al punto de decidir si los estudios realizados u obtenidos en la investigación exploratoria son suficientes o si es necesario conseguir información adicional más detallada. Esta decisión debe basarse en consideraciones relativas a la complejidad de las condiciones del suelo, la importancia del proyecto y su disposición de fundaciones.

3.9 ANALISIS DE TRANSITO

En el método AASHTO 93 los pavimentos se proyectan para que resistan determinado número de cargas durante su vida útil. El tránsito está compuesto por vehículos de diferente peso y número de ejes, y a los efectos de cálculo, se los transforma en un número equivalente de ejes tipo de 80 KN o 18 kips. Se les denominará de aquí en adelante ESAL's, que es la sigla en inglés de "Carga de Eje Equivalente Simple" "Equivalent Single Axle Load".

La transformación del número equivalente de ejes de distinta naturaleza y peso en ESAL's es una tarea compleja. Es necesario fijar adecuadamente el concepto de que el tipo de eje y su peso es más importante que el peso del vehículo en lo que respecta al comportamiento del pavimento.

3.10 CONSIDERACIONES PARA EL VOLUMEN DEL TRANSITO

Los volúmenes de tránsito representan el movimiento vehicular sobre puntos o secciones específicas dentro de un sistema vial. Estos datos se expresan con respecto al tiempo, de lo cual depende la calidad del servicio a los usuarios. Volumen de tránsito, es número de vehículos que pasan por un punto o sección transversal dados, de un carril o de una calzada, durante un periodo determinado.

Para el diseño de estructuras de pavimento es necesario conocer el número de vehículos que pasan por un punto dado. Para el efecto se realizan estudios de volúmenes de tránsito, los cuales pueden variar desde los más amplios en un sistema de caminos, hasta el recuento en lugares específicos tales como: puentes, túneles o intersecciones de carreteras.

Estos aforos se realizan con el objeto de:

- ✓ Determinar la composición y volumen de tránsito en un sistema de carreteras.
- ✓ Determinar el número de vehículos que transitan en cierta zona o que circulan dentro de ella.
- ✓ Evaluar índices de accidentes.
- ✓ Servir de base para la clasificación de caminos.
- ✓ Datos útiles para la planeación de rutas y determinación de proyectos geométricos.

- ✓ Proyectar sistemas de control de tránsito.
- ✓ Elaborar sistemas de mantenimiento.
- ✓ Establecer prioridades y técnicas de construcción.
- ✓ Determinar el tránsito futuro, etc.

En todo estudio de volúmenes de tránsito es necesario obtener dos datos básicos: el tránsito medio diario general y el tránsito medio diario de camiones. Estos se pueden obtener al efectuar censos o aforos de tránsito en el lugar de la construcción o si es nueva, mediante censos o aforos de tránsito en lugares próximos.

Existen mapas de volumen de tránsito que muestran en determinados lugares el número de vehículos diarios, pero es más exacto el efectuar el aforo o censo en un lugar específico; es necesario que al efectuar una evaluación de tránsito para una carretera determinada, se tome en cuenta la localización geográfica de la misma dentro del complejo de la red vial y áreas que la circundan, con el objeto de tomar en cuenta hasta donde sea posible los futuros desarrollos de complejos habitacionales, industriales, turísticos, agrícolas y proyectos de carácter regional, que contribuirán más adelante con el tiempo a incrementar el flujo vehicular de la carretera proyectada.

El tránsito cambia según el día de la semana, cambia según la semana del mes, cambia según la estación o época del año, cambia según los días de descanso o asueto, etc. Por lo que es necesario hasta donde sea posible,

contar con estadísticas de períodos largos de evaluación del tránsito, para analizar el comportamiento de los diferentes volúmenes y tipos de vehículos, que nos permitan en mejor forma evaluar las cargas que se aplicarán a la estructura de pavimento.

Dentro de estas consideraciones también es necesario conocer las tasas de crecimiento o incremento anual del tránsito, la distribución por dirección en cada sentido del camino y si fuera en carreteras con más de dos vías, la distribución vehicular en cada una de ellas.

3.11 CONSIDERACIONES PARA EL CÁLCULO DE EJES EQUIVALENTES

Las diferentes cargas que actúan sobre un pavimento producen a su vez diferentes tensiones y deformaciones en el mismo; los diferentes espesores de pavimentos y diferentes materiales, responden en igual forma de diferente manera a igual carga. Como estas cargas producen diferentes tensiones y deformaciones en el pavimento, las fallas tendrán que ser distintas.

Para tomar en cuenta esta diferencia, el volumen de tránsito se transforma en un número equivalente de ejes de una determinada carga, que a su vez producirá el mismo daño que toda la composición de tránsito mixto de los vehículos. Esta carga uniformizada según AASHTO es de 80 kN o 18 Kips y la conversión se hace a través de los Factores Equivalentes de Carga LEF (Load Equivalent Factor).

El proceso de convertir un tránsito mixto en un número de ESAL's de 80 kN fue desarrollado por el Road Test de AASHTO. Para este ensayo se cargaron pavimentos similares con diferentes configuraciones de ejes y cargas, para analizar el daño que produjeron.

El índice de serviciabilidad de un pavimento, es el valor que indica el grado de confort que tiene la superficie para el desplazamiento natural y normal de un vehículo; en otra palabras, un pavimento en perfecto estado se le asigna un valor de serviciabilidad inicial que depende del diseño del pavimento y de la calidad de la construcción, de 5 (Perfecto); y un pavimento en franco deterioro o con un índice de serviciabilidad final que depende de la categoría del camino y se adopta en base a esto y al criterio del proyectista, con un valor de 0 (Pésimas condiciones).

A la diferencia entre estos dos valores se le conoce como la pérdida de serviciabilidad (Δ PSI) o sea el índice de serviciabilidad presente (Present Serviciability Index).

Los valores que se recomiendan dependiendo del tipo de pavimento son los siguientes:

Índice de serviciabilidad inicial:

- ✓ $P_o = 4.5$ para pavimentos rígidos
- ✓ $P_o = 4.2$ para pavimentos flexibles

Índice de serviciabilidad final:

- ✓ Pt= 2.5 o más para caminos muy importantes
- ✓ Pt= 2.0 para caminos de tránsito menor

El índice de serviciabilidad de un pavimento, es un valor de apreciación con el cual se valúan las condiciones de deterioro o confort de la superficie de rodadura de un pavimento; actualmente para medir este deterioro se utiliza el IRI, Índice Internacional de Rugosidad (International Roughness Index), para lo cual se utiliza un equipo sofisticado montado en un vehículo, el que al pasar sobre la superficie de una carretera, va midiendo los altibajos y los suma, por lo que al final se obtiene un valor acumulado en metros por kilómetro (m/km) o pulgada por milla (plg/milla).

Como cada tipo de pavimento responde de manera diferente a una carga, los LEF también cambian en función del tipo de pavimento. Por lo que, los pavimentos rígidos y flexibles tienen diferentes LEF y que también cambia según el SN (Structural Number, número estructural) en pavimentos flexibles y según el espesor de la losa en pavimentos rígidos, además que también cambia según el valor del índice de serviciabilidad asumido para el diseño.

Entonces, para calcular los ESAL's que se aplicarán a una estructura de pavimento es necesario asumir en primera instancia, para pavimentos flexibles el número estructural (SN) que se considere adecuado a las cargas y para pavimentos rígidos el espesor de la losa que se necesita para las cargas que se

van a imponer; también se tendrá que asumir el índice de serviciabilidad final aceptable, de acuerdo con los programas de mantenimiento que se considere necesario según el tipo de carretera.

Existen tablas según la guía AASTHO 93 que indican los diferentes LEF para distintos tipos de cargas por eje, para distintos tipos de pavimentos y distintos índices de serviciabilidad finales.

En las tablas siguientes tenemos como ejemplo factores equivalentes de carga para un pavimento flexible, para los tipos de eje simple, tándem, tridem y una serviciabilidad final $P_t = 3.0$. Todas las tablas en este trabajo de graduación llegan hasta un valor de 50 de carga por eje.

Carga p/eje(kips)	Numero estructural SN					
	1	2	3	4	5	6
2	0.0008	0.0009	0.0006	0.0003	0.0002	0.0002
4	0.004	0.008	0.006	0.004	0.002	0.002
6	0.014	0.03	0.028	0.018	0.012	0.01
8	0.035	0.07	0.08	0.055	0.04	0.034
10	0.082	0.132	0.168	0.132	0.101	0.086
12	0.173	0.231	0.296	0.26	0.212	0.187
14	0.332	0.388	0.468	0.447	0.391	0.358
16	0.594	0.633	0.695	0.693	0.651	0.622
18	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
20	1.6	1.53	1.41	1.38	1.44	1.51
22	2.47	2.29	1.96	1.83	1.97	2.16
24	3.67	3.33	2.69	2.39	2.6	2.96
26	5.29	4.72	3.65	3.08	3.33	3.91
28	7.43	6.56	4.88	3.93	4.17	5
30	10.2	8.9	6.5	5	5.1	6.3
32	13.8	12	8.4	6.2	6.3	7.7
34	18.2	15.7	10.9	7.8	7.6	9.3
36	23.8	20.4	14	9.7	9.1	11
38	30.6	26.2	17.7	11.9	11	13
40	38.8	33.2	22.2	14.6	13.1	15.3
42	48.8	41.6	27.6	17.8	15.5	17.8
44	60.6	51.6	34	21.6	18.4	20.6
46	74.7	63.4	41.5	26.1	21.6	23.8
48	91.2	77.3	50.3	31.3	25.4	27.4
50	110	94	61	37	30	32

Figura 3.3 Tabla Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, eje simple, Pt=3.0
Fuente: AASTHO, guía para el diseño de Estructuras de Pavimentos 1993 tabla D-9.

Carga p/eje (kips)	Numero Estructural SN					
	1	2	3	4	5	6
2	0.0002	0.0002	0.0001	0.0001	0.0000	0.0000
4	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000
6	0.003	0.004	0.003	0.002	0.001	0.001
8	0.006	0.11	0.009	0.005	0.003	0.003
10	0.011	0.024	0.02	0.012	0.008	0.007
12	0.019	0.042	0.039	0.024	0.017	0.014
14	0.031	0.066	0.068	0.045	0.032	0.026
16	0.049	0.096	0.109	0.076	0.055	0.046
18	0.075	0.134	0.164	0.121	0.09	0.076
20	0.113	0.181	0.232	0.182	0.139	0.119
22	0.166	0.241	0.313	0.26	0.205	0.178
24	0.238	0.317	0.407	0.358	0.292	0.257
26	0.333	0.413	0.517	0.476	0.402	0.36
28	0.457	0.534	0.643	0.614	0.538	0.492
30	0.616	0.684	0.788	0.773	0.702	0.656
32	0.817	0.87	0.956	0.953	0.896	0.855
34	1.07	1.1	1.15	1.15	1.12	1.09
36	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38
38	1.75	1.71	1.64	1.62	1.66	1.7
40	2.21	2.11	1.94	1.89	1.98	2.08
42	2.75	2.59	2.29	2.19	2.33	2.5
44	3.39	3.15	2.7	2.52	2.71	2.97
46	4.15	3.81	3.16	2.89	3.13	3.5
48	5.04	4.58	3.7	3.29	3.57	4.07
50	6.08	5.47	4.31	3.74	4.05	4.7

Figura 3.4 Tabla Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, eje tándem, Pt=3.0
Fuente: AASTHO, guía para el diseño de Estructuras de Pavimentos 1993 tabla D-10.

Carga p/ eje (Kips)	Numero Estructural SN					
	1	2	3	4	5	6
2	0.0001	0.0001	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000
4	0.0005	0.0004	0.0003	0.0002	0.0001	0.0001
6	0.001	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000
8	0.003	0.004	0.002	0.001	0.001	0.001
10	0.005	0.008	0.005	0.003	0.002	0.002
12	0.007	0.014	0.01	0.006	0.004	0.003
14	0.011	0.023	0.018	0.011	0.007	0.006
16	0.016	0.035	0.03	0.018	0.013	0.01
18	0.022	0.05	0.047	0.029	0.02	0.017
20	0.031	0.069	0.069	0.044	0.031	0.226
22	0.043	0.09	0.097	0.065	0.046	0.039
24	0.059	0.116	0.132	0.092	0.066	0.056
26	0.079	0.145	0.174	0.126	0.092	0.078
28	0.104	0.179	0.223	0.168	0.126	0.107
30	0.136	0.218	0.279	0.219	0.167	0.143
32	0.176	0.265	0.342	0.279	0.218	0.188
34	0.226	0.319	0.413	0.35	0.279	0.243
36	0.286	0.382	0.491	0.432	0.352	0.31
38	0.359	0.456	0.577	0.524	0.437	0.389
40	0.447	0.543	0.671	0.626	0.536	0.483
42	0.55	0.643	0.775	0.74	0.649	0.593
44	0.673	0.76	0.889	0.865	0.777	0.72
46	0.817	0.894	1.014	1.001	0.92	0.865
48	0.984	1.048	1.152	1.148	1.08	1.03
50	1.18	1.23	1.3	1.31	1.26	1.22

Figura 3.5 Tabla Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, eje tridem, Pt=3.0
Fuente: AASTHO, guía para el diseño de Estructuras de Pavimentos 1993 tabla D-11.

3.12 DETERMINACIÓN Y CÁLCULO DE EJES EQUIVALENTES DE DISEÑO

Para la determinación y cálculo de los ejes equivalentes se requiere el uso de factores de camión para cada clase particular de vehículo, principalmente para camiones pesados. Esto debe hacerse usando los pesos límites de cada vehículo conforme se establece en la siguiente tabla.

TIPO DE VEHICULO	TIPO DE EJE DEL TRACTOR (Ton/Kips)				TIPO DEL EJE DEL SEMIREMOLQUE			TOTAL TONELADAS
	EJE SIMPLE DIRECCIONAL	EJE DE TRACCIÓN			EJE DE ARRASTRE			
		EJE SIMPLE	DOBLE RUEDA	TRIPLE RUEDA	EJE SIMPLE	DOBLE RUEDA	TRIPLE RUEDA	
Autos (*)	1.0 / 2.2	1.0 / 2.2						2.0 / 4.4
Pick Ups (*)	1.0 / 2.2	2.5 / 5.5						3.5 / 7.7
Microbús (*)	2.5 / 5.5	5.0 / 11.0						7.5 / 16.5
Autobús (*)	5.0 / 11.0	9.0 / 19.8						14.0 / 30.8
C2	5.0 / 11.0	10.0 / 22.0						15.0 / 33.0
C3	5.0 / 11.0		16.5 / 36.3					21.6 / 47.3
C4	5.0 / 11.0			20.0 / 44.0				25.0 / 55.0
T2-S1	5.0 / 11.0	9.0 / 19.8			9.0 / 19.8			23.0 / 50.6
T2-S2	5.0 / 11.0	9.0 / 19.8				16.0 / 35.2		30.0 / 66.0
T2-S3	5.0 / 11.0	9.0 / 19.8					20.0 / 44.0	34.0 / 74.8
T3-S1	5.0 / 11.0		16.0 / 35.2		9.0 / 19.8			30.0 / 66.0
T3-S2	5.0 / 11.0		16.0 / 35.2			16.0 / 35.2		37.0 / 81.4
T3-S3	5.0 / 11.0		16.0 / 35.2				20.0 / 44.0	41.0 / 90.2

Figura 3.6 Tabla Limite de peso por eje Fuente: Acuerdo Centroamericano sobre Circulación por Carretera, SIECA 2000, Resolución 02-01 COMITRAN XXVIII.

(*) Pesos obtenidos del Estudio de Factibilidad Técnica – Económica y Diseño Geométrico Final del Anillo Periférico del Área Metropolitana de San Salvador (AMSS). (DELCAN).

También se necesita la tasa anual de crecimiento vehicular y el período de diseño de la estructura de pavimento, lo que nos da el factor de crecimiento de tránsito. Hay que tener presente que el porcentaje de la tasa anual de

crecimiento de vehículos, se puede cambiar utilizando diferentes porcentajes, dependiendo del tipo de vehículo que se considere que va a aumentar o disminuir más que los otros.

Es importante tener un buen conteo del tránsito de la carretera en estudio.

Para determinar los ESAL's de diseño, tenemos que conocer la cantidad diaria de cada tipo de vehículo especificado y del cual se tenga el conteo correspondiente. También el correspondiente factor de crecimiento para cada tipo de vehículo, el cual depende de la tasa de crecimiento para cada tipo de vehículo y el período de diseño considerado, cada tipo de vehículo puede tener una tasa de crecimiento distinta, ya que no todos los tipos de vehículos tienen que crecer a la misma tasa.

El tránsito de diseño se calcula multiplicando la cantidad de vehículos diarios por el factor de crecimiento, multiplicado por 365 (días del año).

Para los ESAL's de diseño se multiplica el tránsito de diseño por el factor de ESAL's y la suma son el total de ESAL's de diseño.

3.13 FACTOR DE DISTRIBUCION POR DIRECCION

Es el factor del total del flujo vehicular censado, en la mayoría de los casos este valor es de 0.5; ya que la mitad de los vehículos va en una dirección y la otra mitad en la otra dirección. Puede darse el caso de ser mayor en una dirección que en la otra, lo cual puede deducirse del conteo de tránsito efectuado.

Lo más importante de esto, será la diferencia de peso entre los vehículos que van en una y en otra dirección; como puede suceder por la cercanía de una fábrica, puerto, etc.

Número de carriles en ambas direcciones	LD ¹⁰
2	50
4	45
6 o más	40

Figura 3.7 Tabla Factor de Distribución por Dirección Fuente: Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimentos AASHTO 93

3.14 FACTOR DE DISTRIBUCIÓN POR CARRIL

Se define por el carril de diseño aquel que recibe el mayor número de ESAL's. Para un camino de dos carriles, cualquiera de las dos puede ser el carril de diseño, ya que el tránsito por dirección forzosamente se canaliza por ese carril. Para caminos de varios carriles, el de diseño será el externo, por el hecho de que los vehículos pesados van en ese carril.

Número de carriles en una sola dirección	LC ¹¹
1	1.00
2	0.80 – 1.00
3	0.60 – 0.80
4	0.50 – 0.75

Figura 3.8 Tabla Factor de Distribución por Carril Fuente: Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimentos AASHTO 93

CAPITULO IV
DISEÑO SEGÚN LA
NORMA AASHTO 93 Y
AASHTO 98

4.1 INTRODUCCION

En este capítulo se desarrollan los pasos para el cálculo del diseño de un pavimento rígido como flexible, según la normativa AASHTO 93 Y AASHTO 98.

Los pavimentos se diseñan en función del efecto del daño que produce el paso de un eje con una carga y para que resistan un determinado número de cargas aplicadas durante su vida útil.

Por ello, es necesario la selección de apropiados factores para el diseño estructural de los diferentes tipos de pavimentos, por lo que deberá tomarse en cuenta la clasificación de la carretera dentro de la red vial, la selección de los diferentes tipos de materiales a utilizarse, el tránsito y los procesos de construcción.

4.2 PAVIMENTOS FLEXIBLES

Según la guía AASHTO 93 la fórmula de diseño es:

$$\log_{10} W_{t18} = Z_R * S_o + 9.36 * \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 * \log_{10} M_R - 8.07$$

Figura 4.1: Fórmula, Fuente: Guía para el diseño de Estructuras de Pavimentos AASHTO 1993.

Dónde:

W18 = Numero de cargas de ejes simples equivalentes de 18 kips (80kN)
calculadas conforme el tránsito vehicular.

Zr = Es el valor de Z (área bajo la curva de distribución)

So =Desviación estándar de todas las variables

ΔPSI= Perdida de Serviciabilidad

Mr =Modulo de resiliencia de la subrasante

SN =Numero Estructural

4.3 VARIABLES A CONSIDERAR EN FUNCIÓN DEL TIEMPO

Existen dos variables que deben tomarse en cuenta y son:

- El período de diseño.
- La vida útil del pavimento

El período de diseño: es el tiempo total para el cual se diseña un pavimento en función de la proyección del tránsito y el tiempo que se considere apropiado

para que las condiciones del entorno se comiencen a alterar desproporcionadamente.

La vida útil del pavimento, es aquel tiempo que transcurre entre la construcción del mismo y el momento en que alcanza el mínimo de serviciabilidad.

El período de diseño puede llegar a ser igual a la vida útil de un pavimento; en los casos en que se consideren reconstrucciones ó rehabilitaciones a lo largo del tiempo, el período de diseño comprende varios períodos de vida útil que son, el de pavimento original y el de las rehabilitaciones.

Tipo de carretera	Periodo de Diseño
Gran volumen de transito urbano	30-50
Gran volumen de transito rural	20-50
Bajo volumen pavimentado	15-25
Superficie agregada de bajo volumen	10-20

Figura 4.1 Tabla Periodo de Diseño, Fuente: Guía para el diseño de Estructuras de Pavimentos AASHTO 1993.

4.4 VARIABLES EN FUNCIÓN DEL TRÁNSITO

Esta variable es la calculada en el capítulo anterior, que es el número de repeticiones de ejes equivalentes de 18 kips (80 kN) ó ESAL's. La conversión de una carga dada por eje a eje equivalente ó ESAL's se hace a través de los factores equivalentes de carga (LEF).

4.5 CONFIABILIDAD

Este valor se refiere al grado de seguridad ó veracidad de que el diseño de la estructura de un pavimento, puede llegar al fin de su período de diseño en buenas condiciones.

Los niveles de confiabilidad R en relación al tipo de carretera según la normativa AASHTO 93.

Tipo de carretera	Niveles de Confiabilidad R	
	Suburbanas	Rurales
Autopistas Interestatales y otras	85-99.9	80-99.9
Arterias Principales	80-99.0	75-95
Colectoras	80-95	75-95
Locales	50-80	50-80

Figura 4.2 Tabla Niveles de Confiabilidad, según el Tipo de Carretera. Fuente: Guía para el diseño de Estructuras de Pavimentos AASHTO 1993.

4.6 CRITERIOS PARA DETERMINAR LA SERVICIABILIDAD.

La serviciabilidad de una estructura de pavimento, es la capacidad que tiene éste de servir al tipo y volumen de tránsito para el cual fue diseñado. El índice de serviciabilidad se califica entre 0 (malas condiciones) y 5 (perfecto).

Según la Normativa AASHTO 93 los valores de serviciabilidad son los siguientes:

Servicibilidad	Valores recomendados	
Inicial (Po)	4.5 para pavimentos rígidos	4.2 para pavimentos flexibles
Final (Pt)	2.5 o más para caminos principales	2.0 para caminos de tránsito menor

Figura 4.3 Tabla Valores de Confiabilidad. Fuente: Guía para el diseño de Estructuras de Pavimentos AASHTO 1993.

4.7 PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

En el capítulo anterior se consideraron las propiedades de los materiales, que son las que se valoran para obtener el módulo de resiliencia, ya que en función de éste se llega a los coeficientes de los números estructurales (SN).

4.8 DRENAJES

La humedad es una característica muy especial de los pavimentos, ya que ésta reviste gran importancia sobre las propiedades de los materiales que forman la estructura de un pavimento y sobre el comportamiento de los mismos. El objeto de este capítulo es analizar los distintos métodos por medio de los cuales se busca reducir ó eliminar el agua en la estructura de un pavimento. El drenaje de agua en los pavimentos, debe ser considerado como parte importante en el diseño de carreteras. El exceso de agua combinado con el incremento de volúmenes de tránsito y cargas, se anticipan con el tiempo para ocasionar daño a las estructuras de pavimento.

El agua penetra dentro de la estructura del pavimento por muchos medios, tales como grietas, juntas ó infiltraciones del pavimento ó como corriente subterránea de un acuífero interrumpido, elevando el nivel freático ó como fuente localizada.

El análisis del drenaje en el diseño de pavimentos, es con el objeto de eliminar la posibilidad de la reducción de la vida útil de pavimento por el efecto que produce el agua al presentarse dentro del paquete estructural; en todos y cada uno de los casos en que se prevean problemas de humedad deberán diseñarse estructuras de drenaje tales como: bases drenantes, drenajes colectores del agua (cunetas), filtros laterales de transición elaborados con materiales granulares ó geotextiles (Subdrenajes).

4.8.1 EFECTOS DEL AGUA SOBRE EL PAVIMENTO

Los efectos de esta agua (cuando está atrapada dentro de la estructura) sobre el pavimento son los siguientes.

- a) Obligadamente reduce la resistencia de los materiales granulares.
- b) Reduce la resistencia de los suelos de la subrasante cuando ésta se satura y permanece en similares condiciones durante largos períodos.
- c) Succiona los finos de los agregados de las bases que están bajo los pavimentos flexibles, haciendo que las partículas de suelo se desplacen con los resultados de pérdida de soporte por la erosión provocada.

Con menor frecuencia, suceden problemas de agua incluida y atrapada, pero no se limitan a ello, tales como:

e) Degradación de la calidad del material del pavimento por efecto de la humedad, creando desprendimiento de las partículas del mismo.

f) Los diferenciales que se producen con el desplazamiento dado por el hinchamiento de los suelos.

g) Por la expansión y contracción debida al congelamiento de los suelos.

4.8.2 SOLUCIONES A LOS PROBLEMAS DE HUMEDAD EN PAVIMENTOS

Los métodos para considerar el agua en el diseño de pavimentos, consisten básicamente en lo siguiente:

a) Prevenir la penetración de agua dentro del pavimento.

b) Proveer el drenaje necesario para remover el exceso de agua rápidamente.

c) Construir pavimentos fuertes para resistir los efectos combinados de cargas y agua.

En el diseño de pavimentos, debe siempre tratarse de que tanto la subrasante, subbase y base estén protegidas de la acción del agua. Al considerar las posibles fuentes de agua, es conveniente proteger la sección estructural de pavimento de la entrada de agua, por lo que es necesario interceptar el agua que corre superficialmente lo mejor posible, así como sellar la superficie del pavimento.

Generalmente se da una considerable atención al efecto de interceptar el agua superficial, mientras se da una menor atención al sellado de la superficie para evitar la infiltración de lluvia. Como resultado, una considerable cantidad de agua a menudo penetra dentro de la parte inferior de la estructura de pavimento, obligando la necesidad de construir algún tipo de drenaje.

Para obtener un adecuado drenaje del pavimento, se debe considerar en el diseño, la provisión de tres tipos de sistemas de drenaje para el control ó la reducción de los problemas causados por el agua:

- Drenaje superficial.
- Subdrenajes.
- Estructuras de drenaje.

Dichos sistemas de drenaje son efectivos para el desalojo del agua libre; esto causa fuerzas capilares en los suelos y en los agregados finos que no pueden ser drenados. Los efectos de esta obligada humedad debe ser considerada en el diseño de estructuras de pavimento y el efecto que esto tiene sobre las propiedades de los materiales. La mayor parte de los pavimentos existentes no incluyen sistemas de drenaje capaces de remover rápidamente el agua libre.

Los métodos de diseño de pavimentos, dependen de la práctica de construir pavimentos fuertes para resistir el efecto combinado de cargas y agua. Cualquiera de ellos no siempre toma en cuenta los efectos potenciales de

destrucción que tiene el agua dentro de la estructura de pavimento; por lo cual se hace énfasis en la necesidad de excluir el agua del pavimento y proveer un rápido drenaje.

4.8.3 COEFICIENTE DE DRENAJE AASHTO 93

Los coeficientes de drenaje son: valores menores, iguales ó mayores a la unidad, esto depende de la calidad percolante de las capas de drenaje; al tener capas de drenaje con valores mayores que la unidad, entonces es factible la posibilidad de diseñar paquetes estructurales con espesores menores; en el caso que el drenaje no es bueno, el coeficiente es menor que la unidad lo que obligara a diseñar un paquete estructural con mayor espesor, que permita resistir en igualdad de condiciones el tránsito para el que fue diseñado; un mayor espesor de paquete estructural, no garantiza el tener un buen drenaje.

4.8.4 ANÁLISIS DE DRENAJE

En el análisis de drenaje, es necesario estudiar todas las granulometrías y permeabilidades de los materiales que se tengan en el proyecto; esta permeabilidad se puede determinar tanto en el lugar como en laboratorio. Será necesario también calcular la capacidad de los drenajes longitudinales, tanto las cunetas así como los subdrenajes, con el fin de conocer su capacidad de evacuación de las aguas; para el caso, es necesario que los drenajes deben diseñarse para evacuar el agua por lo menos en un período de dos horas ó

menos, posteriores a la finalización de la lluvia; un buen sistema de drenajes tiene que aumentar su capacidad drenante desde el material que esta aguas arriba hacia el material que esta aguas abajo.

En el caso de la utilización de telas tipo geotextil como filtro de las capas drenantes, se deben considerar los siguientes propiedades:

- Retención de las partículas de suelo
- Permeabilidad
- Capacidad de taponamiento
- Resistencia a los agentes químicos
- Fácil maniobrabilidad y durabilidad

Las bases que son permeables, son excelentes para permitir la evacuación rápida del agua de una estructura de pavimento, antes de que la condición de saturación dañe el comportamiento de la capa.

Estas bases permeables pueden estar construidas con materiales estabilizados ó no, ya que en una buena base drenante, el agua libre no debe permanecer más de dos horas después de que finalizó la lluvia.

Al efectuar la construcción de una carretera, es necesario prever un buen sistema de colectores longitudinales que tengan el diámetro requerido y tengan relación directa con el aporte de agua de la base; siempre que sea posible, es conveniente que el agua drenada de la base no escurra sobre los taludes.

Los materiales de los agregados de la base permeable, deben ser resistentes, durables. Es recomendable que la permeabilidad sea de 1,000 pies/ día (305 m/ día = 0.35 m/ seg.).

Las bases drenantes estabilizadas se pueden construir con cemento hidráulico ó con cemento asfáltico; el cemento Portland se puede colocar en una cantidad entre 80 a 170 kg/ m³ (175 a 375 lbs/ m³). En las bases no estabilizadas es necesario que al momento de la construcción, se evite el desplazamiento y la segregación del material, para evitar la contaminación con finos después de su colocación.

La compactación de una base granular, tiene por objeto construir una capa durable y resistente sin que pierda su capacidad drenante; el espesor mínimo de ésta debe ser de 10 centímetros (4") y debe tener un sobre ancho de por lo menos de 0.30 a 0.90 metros más que el ancho de rodadura en los laterales, con el objeto de permitir el apoyo del equipo de pavimentación. Para capas de transición es recomendable utilizar un espesor mínimo de 10 centímetros (4").

4.8.5 CONSIDERACIONES DE DRENAJE EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS

Un buen drenaje mantiene la capacidad soporte de la subrasante (mantiene el módulo de resiliencia cuando la humedad es estable) lo que hace un camino de

mejor calidad, así como permite en determinado momento el uso de capas de soporte de menor espesor.

En la siguiente tabla se dan los tiempos de drenaje que recomienda AASHTO 93. Dichas recomendaciones se basan en el tiempo que es necesario para que la capa de base elimine la humedad cuando ésta tiene un grado de saturación del 50 %; pero es de hacer notar que un grado de saturación del 85 % reduce en buena medida el tiempo real necesario para seleccionar la calidad de un drenaje.

Calidad del Drenaje	50% saturación	85% saturación
Excelente	2 horas	2 horas
Bueno	1 día	2 a 5 horas
Regular	1 semana	5 a 10 horas
Pobre	1 mes	de 10 a 15 horas
Muy pobre	El agua no drena	mayor de 15 horas

Figura 4.4 Tabla Tiempos de Drenaje para Capas Granulares. Fuente: Guía para el diseño de Estructuras de Pavimentos AASHTO 1993.

La calidad del drenaje es expresado en la fórmula del número estructural, por medio del coeficiente de drenaje, que toma en cuenta las capas no ligadas.

Calidad del drenaje	P = % del tiempo en que el pavimento está expuesto a niveles de humedad cercanos a la saturación			
	< 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

Figura 4.5 Tabla Coeficiente de Drenajes para Pavimentos Flexibles. Fuente: Guía para el diseño de Estructuras de Pavimentos AASHTO 1993.

4.8.6 SELECCIÓN DEL COEFICIENTE

Para seleccionar el coeficiente de la tabla, es necesario seguir las siguientes indicaciones:

- ✓ Se calcula el tiempo de drenaje de cada una de las capas no ligada para pavimentos.
- ✓ Se selecciona una calidad de drenaje en función del tiempo de drenaje calculado.
- ✓ Calcular el tiempo en que la estructura de pavimento va a estar expuesta a niveles de humedad próximos a saturarse.
- ✓ Con la calidad de drenaje y el porcentaje de tiempo en que el pavimento va a estar expuesto a niveles de humedad cercanos a la saturación, se selecciona el coeficiente de drenaje.

Existen dos formas de calcular el tiempo de drenaje para la capa de un pavimento, y estas son: la aproximación del tiempo para drenar y la del caudal

constante. En el primero, el método del tiempo para drenar se considera únicamente el agua que se infiltra y en el segundo se consideran las fuentes de ingreso y egreso y las mismas son cuantificables y la base permeable se dimensiona para conducir los caudales de diseño.

4.8.7 PORCENTAJE DE TIEMPO EN QUE EL PAVIMENTO ESTÁ EXPUESTO A NIVELES DE HUMEDAD PRÓXIMOS A LA SATURACIÓN.

En el cálculo de porcentaje del tiempo, en que el pavimento está próximo a la saturación, no debe considerarse el período de tiempo en el año que el pavimento está congelado (en el caso de lugares que tengan esta época); también el período del año en que es la época seca del lugar, ya que una lluvia ocasional incrementa muy poco el contenido de humedad de un suelo seco y no provoca saturación.

El período de paso de la época lluviosa a seca incluye parte del tiempo en el cual se ha estado próximo a la saturación, para pavimentos construidos en áreas húmedas y frías; la cantidad de días de lluvia se pueden conseguir de datos meteorológicos; el porcentaje de tiempo en que el pavimento está próximo a la saturación es:

$$P = ((S + R) \times 100) / 365$$

En donde:

P = Porcentaje del tiempo en el que el pavimento está próximo a la saturación

S = Días de traslape entre la época lluviosa y seca

R = Días con lluvia en que el pavimento puede drenar hasta el 85% del estado de saturación en 24 horas ó menos. Si el tiempo del drenaje excede de 24 horas, entonces deben usarse los días de lluvia multiplicados por el tiempo de drenaje en días.

4.9 DETERMINACIÓN DE ESPESORES.

En la figura 4.1 se presentó la fórmula de diseño para pavimentos flexibles y las variables que intervienen en ella; ésta fórmula puede resolverse en forma manual, lo cual resulta bastante complicado. Por medio electrónico de cálculo se logra exactitud y rapidez para la obtención de resultados.

En los pavimentos de mezclas asfálticas por medio de la fórmula de diseño se obtiene el número estructural (SN) y en función del mismo se determinan los distintos espesores de las capas que conforman el paquete estructural; el diseño está basado en la identificación del número estructural del pavimento flexible y la cantidad de ejes de carga transitando

4.10 DETERMINACIÓN DEL NÚMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO

En la figura 4.3 se presenta la figura del ábaco por medio del cual se obtiene el número estructural. Las variables para determinar el número estructural de diseño requerido son las siguientes:

- La cantidad estimada de ejes equivalentes (ESAL's) por carril, para el período de diseño.
- La confiabilidad (R)
- El conjunto total de las desviaciones estándar (S_o) se recomienda utilizar los valores comprendidos dentro de los intervalos siguientes
- La pérdida de serviciabilidad $\Delta PSI = P_o - P_t$

La fórmula general que relaciona el número estructural (SN) con los espesores de capa es la siguiente:

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

En Donde:

- a_1, a_2, a_3 son los coeficientes estructurales ó de capa, de la superficie de rodadura, base y subbase respectivamente.
- m_2, m_3 son los coeficientes de drenaje para base y subbase
- D_1, D_2, D_3 son los espesores de capa en pulgadas para la superficie de rodadura, base y subbase

Esta fórmula tiene muchas soluciones, en función de las diferentes combinaciones de espesores; no obstante, existen normativas que tienden a dar espesores de capas que deben ser construidas y protegidas de deformaciones permanentes, por efecto de las capas superiores de mayor resistencia.

En la práctica no deben colocarse capas con espesores menores que los mínimos requeridos, ya que las capas con espesores mayores que el mínimo son más estables. Frecuentemente se especifica un valor mayor en el espesor de capas, con el objeto de mantener la estructura de pavimento en mejores condiciones para absorber los efectos que producen los suelos expansivos.

Cuando se utilicen como capa de rodadura tratamientos superficiales, no se debe considerar aporte estructural de esta capa; pero tiene un gran efecto en la base y la subbase ya que impermeabiliza la superficie y no permite la entrada de agua a la estructura de pavimento.

4.11 ESPESORES MÍNIMOS EN FUNCIÓN DEL NÚMERO ESTRUCTURAL

El objeto de este concepto, está basado en que las capas granulares no tratadas, deben de estar perfectamente protegidas de presiones verticales excesivas, que lleguen a producir deformaciones permanentes. El proceso se indica en la siguiente figura.

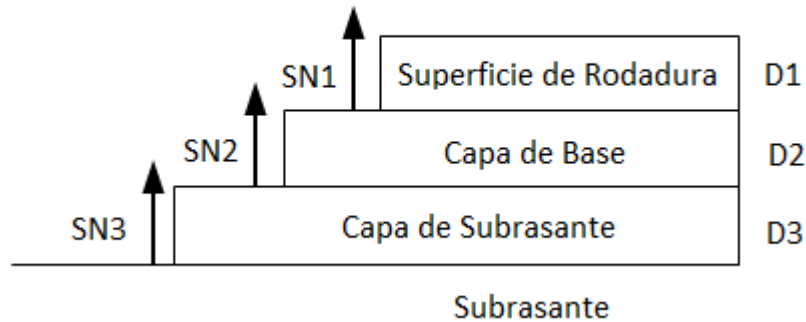


Figura 4.6 Espesores de Capa para Pavimentos Flexibles. Fuente: AASHTO, guía para el diseño de Estructuras de Pavimentos 1993.

Para evitar las deformaciones excesivas, los materiales son seleccionados para cada capa así: Superficie de rodadura, base granular y subbase con buen CBR, límites, etc. Para cada uno de los materiales se deben conocer los módulos de resiliencia.

Utilizando el ábaco de la figura 4.8, se pueden encontrar los números estructurales requeridos para proteger cada capa no tratada, reemplazando el módulo de resiliencia de la capa superior por el módulo de resiliencia de la capa que esta inmediatamente abajo; así, para determinar el espesor D1 de la capa asfáltica se supone un Mr igual al de la base y así se obtiene el SN1, que debe ser absorbido por dicha capa. El espesor de D1 debe ser:

$$D > SN1 / a1 \text{ (valor mínimo requerido para la capa asfáltica)}$$

$$D1^* \geq SN1 / a1 \text{ (valor real que debe ser usado)}$$

$$SN1^* = a1 \times D1^* \geq SN1$$

$$SN1^* + SN2^* \geq SN2$$

- a, D, m, y SN están definidos en el texto y son los valores mínimos requeridos.
- El asterisco (*) en D ó SN indica y representa el valor actualmente usado, que debe ser igual ó mayor al valor requerido.

Se adopta un espesor $D1^*$ ligeramente mayor y el número estructural absorbido por esta capa es:

$$SN1^* = a1 \times D1^*$$

Para determinar el espesor mínimo de la base, se entra al ábaco con el Mr de la subbase y entonces se obtiene el $SN2$, a ser absorbido por el concreto asfáltico y la base.

$$\text{Así: } D2^* \geq (SN2 - SN1^*) / a2 \times m2$$

Se adopta un espesor ligeramente mayor, $D2^*$, y el número estructural absorbido será:

$$SN2^* = a2 \times m2 \times D2^*$$

Por último para la subbase, se entra con el Mr correspondiente a la subrasante y se obtiene $SN3 = SN$ para todo el paquete estructural calculado o sea la capa asfáltica, base y subbase. En este caso el espesor es:

$$D3^* \geq (SN3 - (SN1^* + SN2^*)) / (a3 \times m3)$$

Se adopta un espesor ligeramente mayor $D3^*$ y se obtiene el número estructural absorbido por la subbase.

$$SN3^* = a3 \times m3 \times D3^*$$

Como verificación tenemos:

$$SN1^* + SN2^* + SN3^* \geq SN$$

Con el resultado que se obtiene en la fórmula anterior, de que el número estructural total debe ser como mínimo igual ó mayor a la suma de los números estructurales de cada capa, el criterio es que cada capa del paquete estructural queda protegida de los esfuerzos a los cuales va a ser sometida.

Este procedimiento no es aplicable para determinar espesores de capas que estén sobre otras que tengan un módulo de resiliencia de 280 Mpa (40,000 PSI); en estos casos, el espesor de la capa colocada sobre otra que tenga estas características, deberá ser definida por el costo-eficiencia de la misma ó utilizar espesores mínimos desde el punto de vista constructivo; esto quiere decir, que como la capa de abajo tiene un módulo de resiliencia alto, la capa que se coloque encima de ella deberá tener como mínimo un módulo de resiliencia igual ó mayor, y se decidirá si es necesario colocarla ó se utiliza el mínimo especificado.

Como ejemplo, se calculará el paquete estructural con los siguientes valores:

$$R = 95 \%$$

$$S_o = 0.35$$

$$W_{18} = 5 \times 10^6$$

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

Material	Mr (Mpa-psi)	a _i	m _i
Capa asfáltica	2760 (400,000) ²	0.42	-----
Base	207 (30,000)	0.14	1.30
Subbase	97 (14,000)	0.10	0.70
Subrasante	34 (5,000)	-----	-----

Figura 4.7 Tabla Datos de los Materiales de Ejemplo de Pavimentos Flexibles. Fuente: Manual de Pavimentos

De acuerdo a los Módulos de Resiliencia (Mr) se obtienen los números estructurales de diseño (SN), utilizando el ábaco de la figura 4.8, de la siguiente forma:

- 1) Comenzando en el lado izquierdo del ábaco, en donde dice Confiabilidad R (%), se sale con valor de R = 0.95
- 2) En la siguiente línea inclinada que dice Desviación Standard So, se pone el valor de So = 0.35 y uniendo este punto con el de R = 0.95 del punto anterior, se traza una línea que intercepte la siguiente línea TL en un punto que va a servir de pivote.

3) En la siguiente línea vertical dice No. Total de ESAL's aplicados W18 (millones), en esta encontramos el valor de 5×10^6 ESAL's = 5,000,000 = 5 en el ábaco; entonces uniendo el punto de pivote de la línea anterior con este nuevo punto, se encuentra otro punto pivote en la siguiente línea vertical TL.

4) En la siguiente línea vertical que dice Módulo Resiliente efectivo de la subrasante (ksi), se encuentra el valor de M_r (Mpa-psi) = 5000 = 5 que está en los datos de los materiales figura 4.7 para la subrasante, se une el último punto pivote encontrado anteriormente y el valor de 5 en esta línea hasta encontrar la primera línea vertical izquierda del cuadro situado a la extrema derecha.

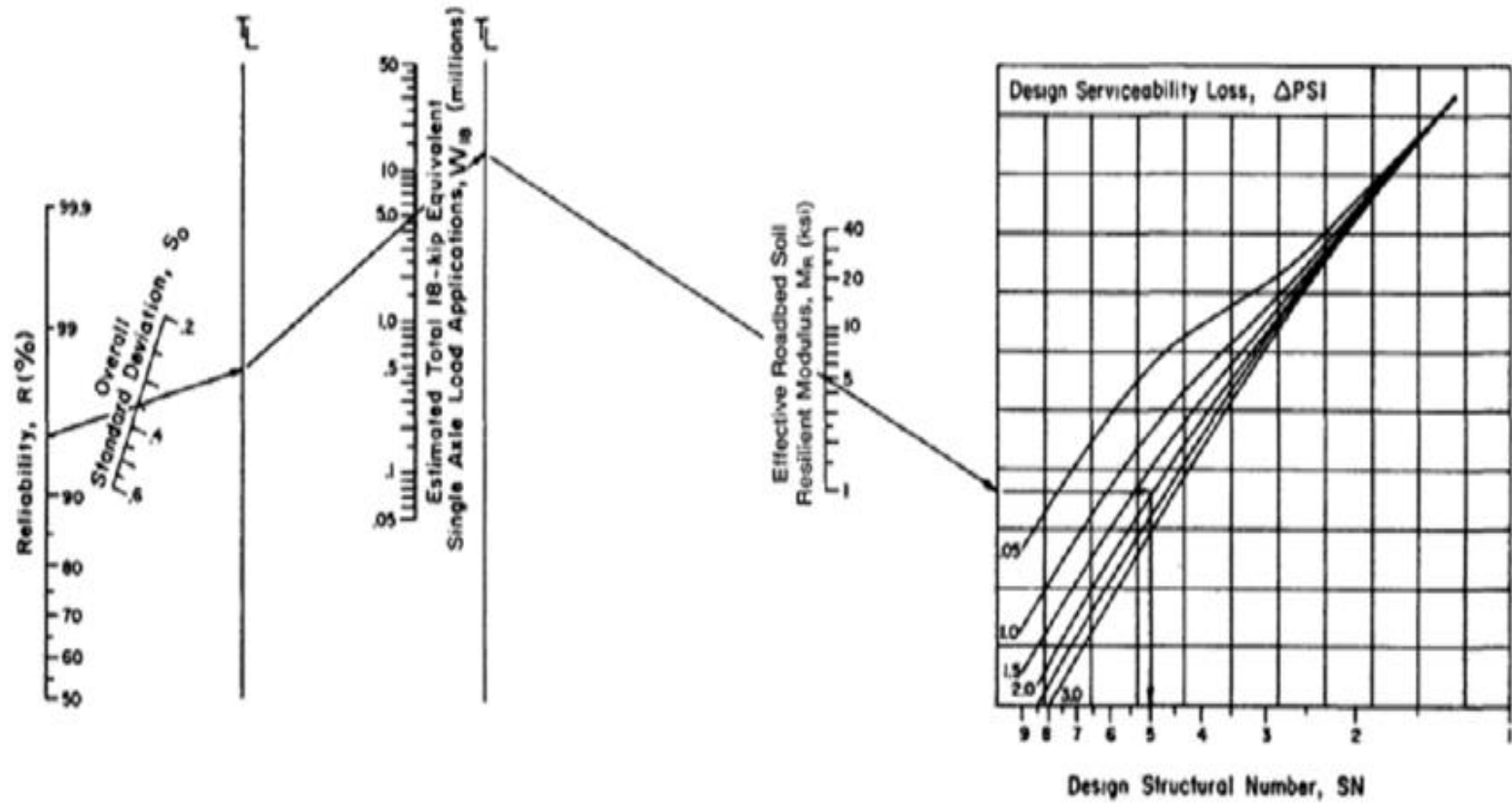


Figura 4.8 Diseño de Numero Estructural para Pavimentos Flexibles. Fuente: AASHTO, guía para el diseño de Estructuras de Pavimentos 1993.

5) De este punto de intersección, se continúa horizontalmente hasta encontrar la línea inclinada que corresponde a un valor de $\Delta PSI = 2,0$ que es Pérdida de serviciabilidad de diseño ó ΔPSI , de este punto se baja a la línea inferior del cuadro en donde se encuentra el Número estructural de diseño SN, que para el caso es 5.0 (para proteger la subrasante) que es el Número Estructural requerido para proteger toda la estructura del pavimento.

6) Para los siguientes valores de $M_r = 14,000 = 14$ el valor de SN2 es 3.60 (para proteger la subbase granular) y para $M_r = 30,000 = 30$ el valor de SN1 es de 2.65 (para proteger la base triturada).

7) Seguidamente para encontrar los valores de los coeficientes estructurales de capa (a_x), se hace uso de las figuras siguientes en función del módulo elástico del concreto asfáltico y los módulos de resiliencia de la base y la subbase, para lo cual se procede así:

7.1) Con el valor del módulo elástico del concreto asfáltico ($M_{pa} = 400,000$) de la figura 4.7, se encuentra el coeficiente estructural de capa a_1 haciendo uso de la figura 4.9; para el caso, saliendo del valor de 400,000 en la figura hacia arriba a interceptar la línea de pivote y de allí horizontalmente hacia la izquierda para encontrar el valor correspondiente de $a_1 = 0.42$

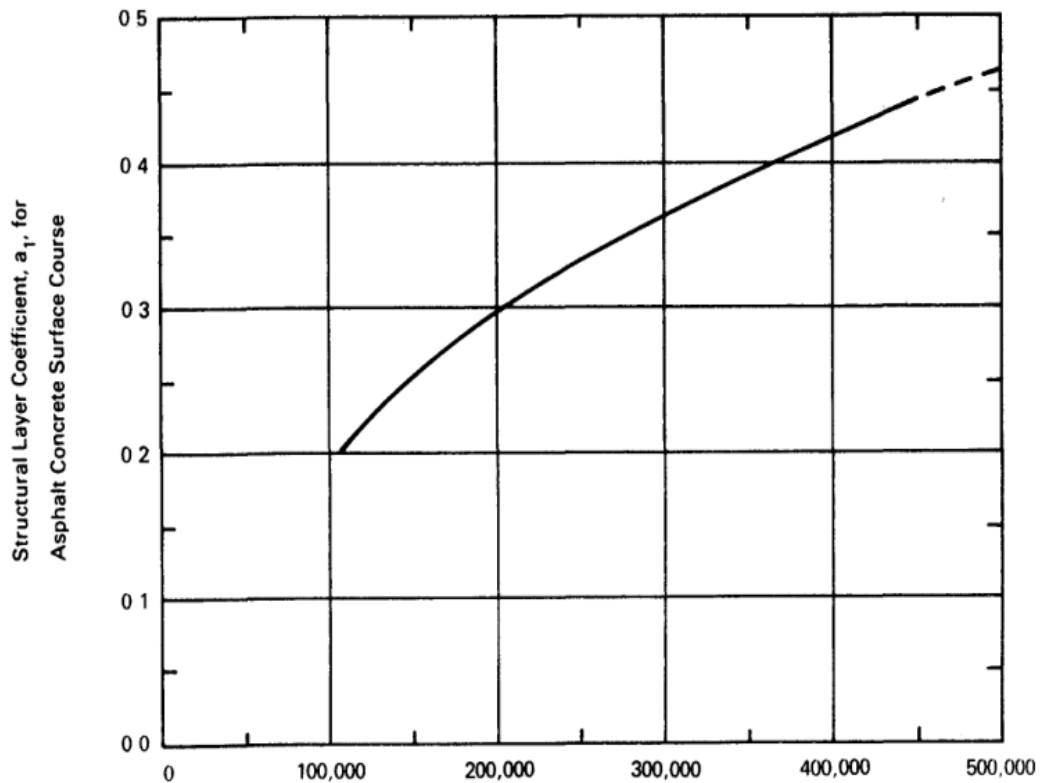


Figura 4.9 Coeficiente estructural a partir del Módulo elástico del concreto asfáltico. Fuente: AASHTO, guía para el diseño de Estructuras de Pavimentos 1993.

Cuando no se tenga el valor del módulo de elasticidad del concreto asfáltico, el coeficiente estructural se puede calcular con base en la estabilidad Marshall, según la Figura 4.10

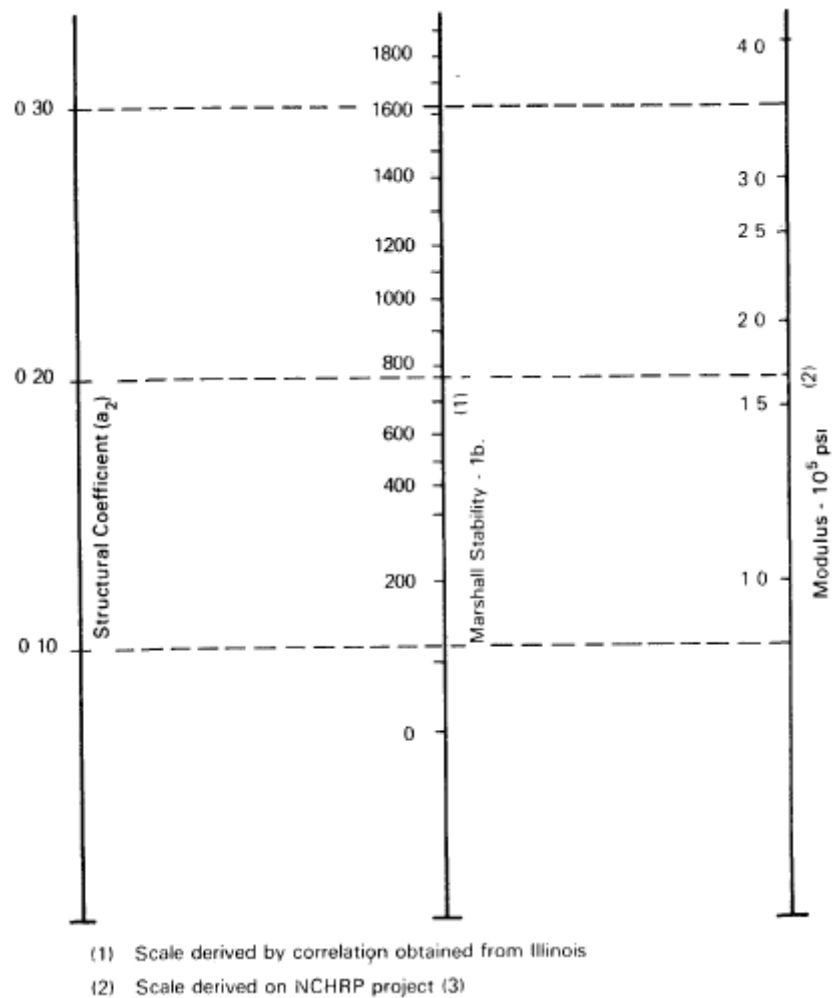


Figura 4.10 Coeficiente estructural a partir de la Estabilidad Marshall. Fuente: AASHTO, guía para el diseño de Estructuras de Pavimentos 1993.

Para encontrar el valor de coeficiente de capa a_2 de las bases trituradas ó granulares, se usa la figura 4.11 y con el Módulo de resiliencia $M_r = 30,000$ ó 30 (PSI) de la figura 4-7, en la línea vertical del lado extremo derecho, horizontalmente se traza una línea hasta encontrar la línea vertical del lado izquierdo, lo cual da un valor de $a_2 = 0.14$

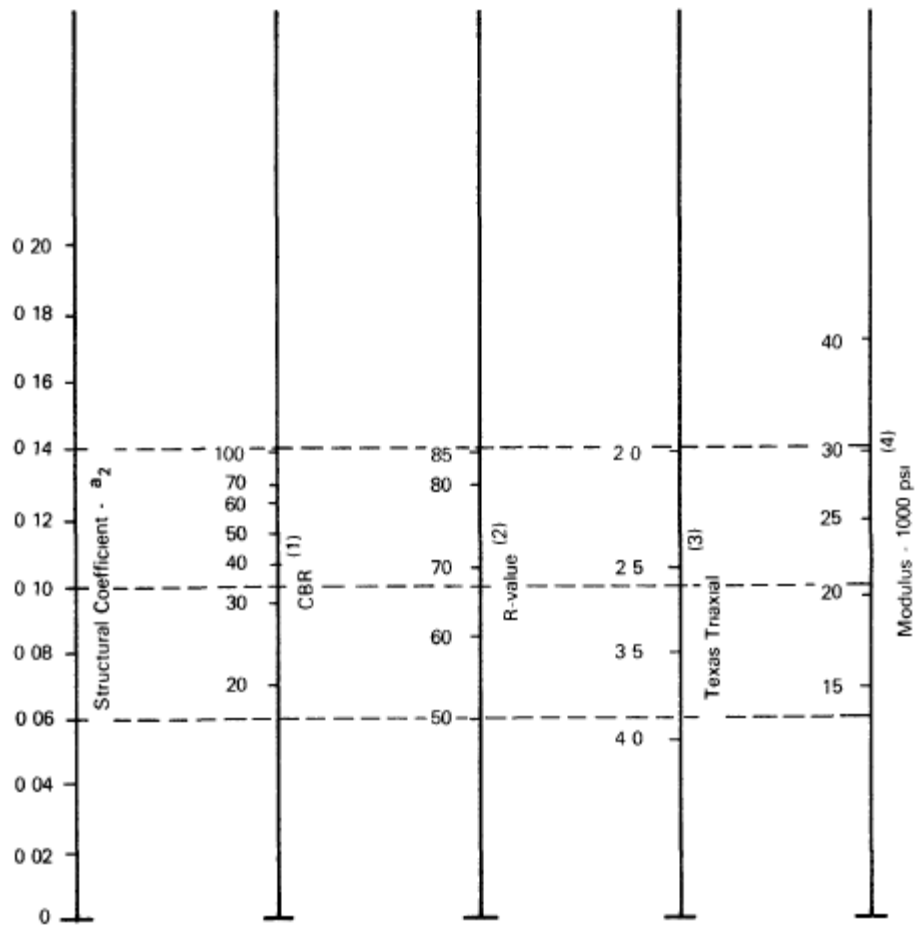


Figura 4.11 Coeficiente estructural de la capa base. Fuente: AASHTO, guía para el diseño de Estructuras de Pavimentos 1993.

Cuando se utilicen bases estabilizadas el coeficiente estructural a_2 se calcula conforme la Figura 4.12

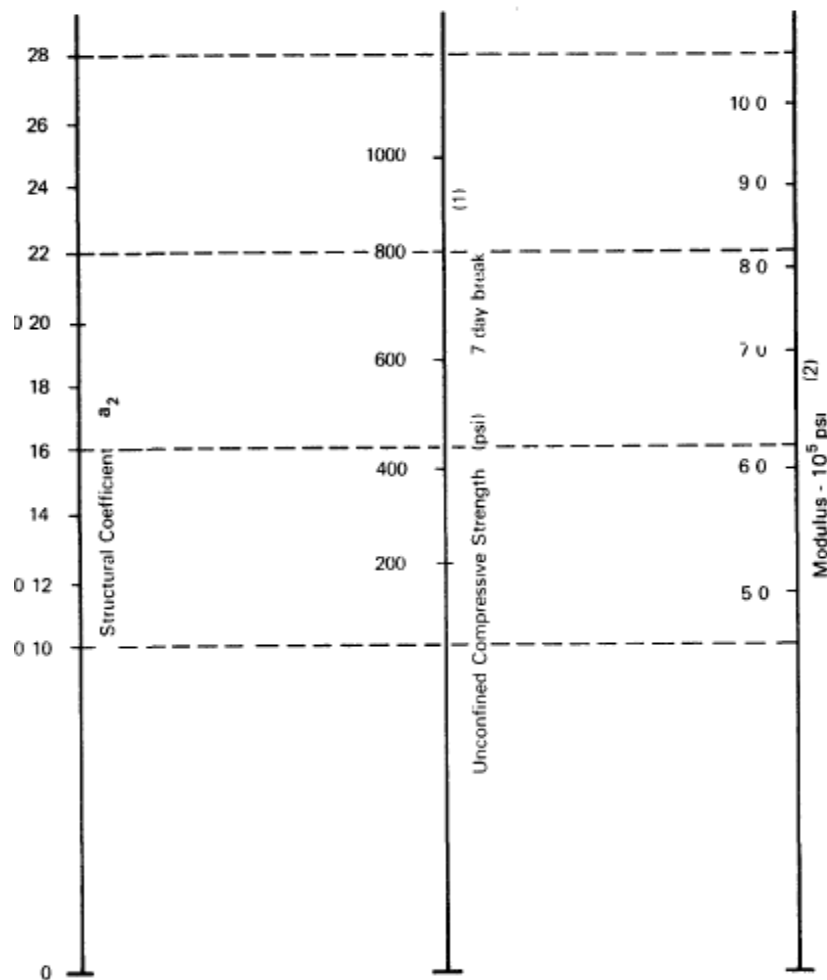


Figura 4.12 Coeficiente estructural a partir de la Estabilidad Marshall. Fuente: AASHTO, guía para el diseño de Estructuras de Pavimentos 1993.

Para encontrar el valor del coeficiente de capa a_3 en la subbase, se usa la figura 4.13 y con el Módulo de resiliencia $M_r = 14,000$ ó 14 (PSI) de la tabla 4.7 en la línea vertical del lado extremo derecho, horizontalmente se traza una línea hasta encontrar la línea vertical del extremo izquierdo, lo Cual da un valor de

$$a_3=0.10$$

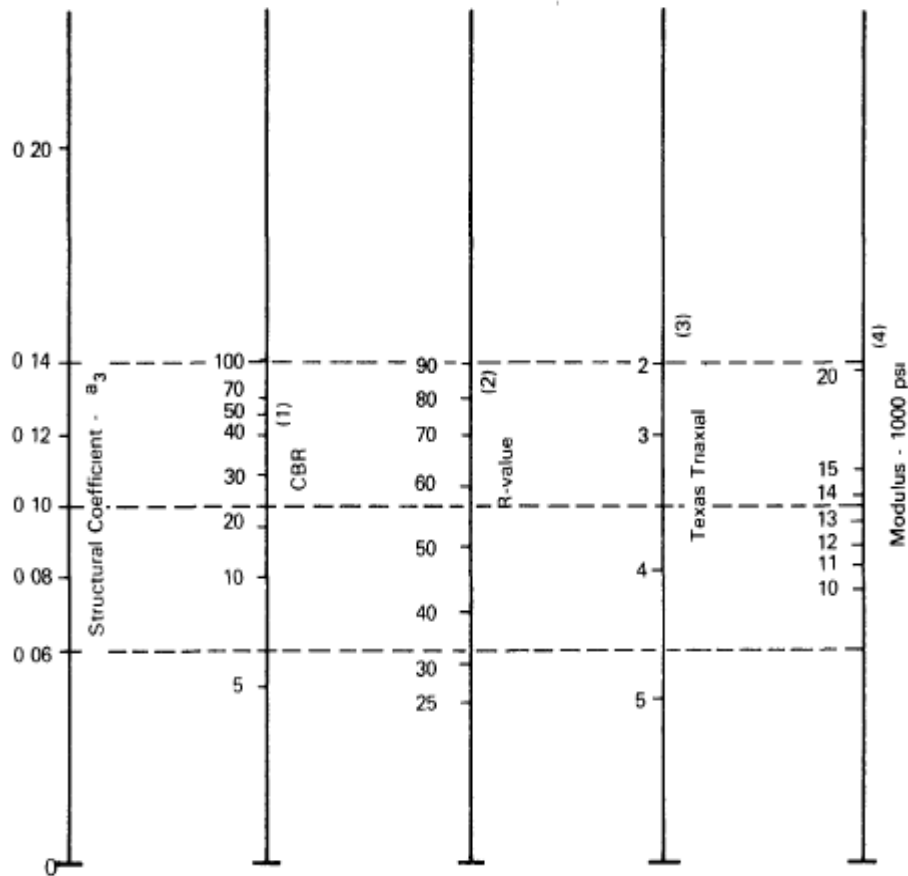


Figura 4.13 Coeficiente estructural a_3 para la subbase. Fuente: AASHTO, guía para el diseño de Estructuras de Pavimentos 1993.

Seguidamente, se calcula el Coeficiente de Drenaje (mi), que para el caso son los valores que aparecen en la columna de la extrema derecha de la figura 4.7

9) Se calcula el espesor de capa asfáltica, suponiendo un M_r igual al de la base; así se calcula el SN_1 que debe ser absorbido por el concreto asfáltico en función de:

$D_1 \geq SN_1 / a_1 = 2.65 / 0.42 = 6.7''$, adoptar $7''$ entonces el SN_1^* absorbido por el Concreto Asfáltico es:

$$SN_1^* = a_1 \times D_1^* = 0.42 \times 7 = 2.94$$

Después se calcula el espesor mínimo de la capa de base.

$$D_2 \geq SN_2 \cdot SN_1^* / a_2 \text{ m}^2$$

$$D_2 \geq 3.60 \cdot 2.94 / 0.14 \times 0.80 = 5.9'' \text{ adoptar } 6.0''$$

Entonces el SN_2^* absorbido por la base es:

$$SN_2^* = a_2 \text{ m}^2 D_2^*$$

$$SN_2^* = 0.14 \times 0.80 \times 6.0 = 0.672$$

Después se calcula el espesor de la subbase.

$$D_3^* \geq SN_3 \cdot (SN_1^* + SN_2^*) / a_3 \text{ m}^3$$

$$D_3^* \geq 5.0 \cdot (2.94 + 0.672) / 0.10 \times 0.90 = 20.65. \text{ Adoptar } 21.0$$

Siendo el SN_3^* absorbido por la subbase.

$$SN3^* = a \cdot 3 \cdot m \cdot 3 \cdot D3^*$$

$$SN3^* = 0.10 \times 0.70 \times 21 = 1.47$$

Para verificación tenemos:

$$SN1^* + SN2^* + SN3^* = 2.94 + 0.672 + 1.47 = 5.08 \geq 5.0$$

Por lo tanto, los espesores de diseño que cumplan con las especificaciones de los materiales son:

Capa asfáltica: 7.0 (17.78 centímetros)

Base: 6.0 (15.24 centímetros)

Subbase: 21.0 (53.34 centímetros)

Si el resultado de la suma de los números estructurales es menor al número estructural requerido, es necesario revisar los espesores asumidos en el inicio, incrementándolos para obtener un número estructural mayor. Se deben considerar otros factores que pueden modificarse para obtener el número estructural requerido (materiales, drenajes, períodos de diseño, etc.).

4.12 PAVIMENTOS RIGIDOS

Para Pavimentos rígidos la fórmula de diseño según método AASHTO es:

$$\log W_{18} = Z_R S_o + 7.35 \log(D + 1) - 0.06 + \frac{\log \frac{\Delta PSI}{4.5 - 1.5}}{1 + \frac{1.625 \times 10^7}{(D + 1)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32 p_t) \log \left[\frac{S_c' C_d (D^{0.75} - 1.132)}{215.63 J \left(D^{0.75} - 18.42 \left(\frac{k}{E_c} \right)^{0.25} \right)} \right]$$

Figura 4.14 Coeficiente estructural a partir de la Estabilidad Marshall. Fuente: AASHTO, guía para el diseño de Estructuras de Pavimentos 1993.

Dónde:

W18 = número de cargas de 18 kips (80 KN) previstas

ZR = abscisa correspondiente a un área igual a la confiabilidad R en la curva de distribución normalizada

S0 = desvío estándar de todas las variables

D = espesor de la losa del pavimento, en pulg.

ΔPSI = pérdida de serviciabilidad prevista en el diseño

Pt = serviciabilidad final

SC' = módulo de rotura del concreto, en psi

J = coeficiente de transferencia de cargas

Cd = coeficiente de drenaje

Ec = módulo de elasticidad del concreto, en psi

K = módulo de reacción de la subrasante, en psi/pulg

4.13 VARIABLES A CONSIDERAR EN FUNCIÓN DEL TIEMPO.

Existen dos variables que deben tomarse en cuenta y son:

- El período de diseño.
- La vida útil del pavimento

Estas variables se obtienen de igual manera para un pavimento flexible según el tipo de carretera ver tabla 4.1

4.14 VARIABLES EN FUNCIÓN DEL TRÁNSITO

Esta variable es la calculada en el capítulo anterior, que es el número de repeticiones de ejes equivalentes de 18 kips (80 kN) ó ESAL's. La conversión de una carga dada por eje a eje equivalente ó ESAL's se hace a través de los factores equivalentes de carga (LEF).

4.15 CONFIABILIDAD

Este valor se refiere al grado de seguridad ó veracidad de que el diseño de la estructura de un pavimento, puede llegar al fin de su período de diseño en buenas condiciones. Se obtiene de igual manera para pavimentos flexibles ver tabla 4.2

4.16 SERVICIABILIDAD

El índice de serviciabilidad se califica entre 0 (malas condiciones) y 5 (perfecto).

Ver apartado 4.6

4.17 DESVIACIÓN NORMAL ESTÁNDAR Z R

Esta variable define que para un conjunto de variables (espesor de las capas, características de los materiales, condiciones de drenaje, etc.) que intervienen en un pavimento, el tránsito que puede soportar el mismo a lo largo de un período de diseño sigue una ley de distribución normal con una media M_t y una desviación típica S_0 y por medio de la tabla 4.15 con dicha distribución se obtiene el valor de Z_r en función de un nivel de confiabilidad R, de forma que exista una posibilidad de que $1 - R /100$ del tránsito realmente soportado sea inferior a $Z_r \times S_0$.

Confiabilidad (R)	Valor de Zr
50	-0.000
60	-0.253
70	-0.524
75	-0.674
80	-0.841
85	-1.037
90	-1.282
91	-1.340
92	-1.405
93	-1.476
94	-1.555
95	-1.645
96	-1.751
97	-1.881
98	-2.054
99	-2.327
99.9	-3.090
99.99	-3.750

Figura 4.15 Tabla Valores de Zr en función de la confiabilidad. Fuente: AASHTO, guía para el diseño de Estructuras de Pavimentos 1993.

4.18 DESVIACIÓN ESTÁNDAR S_0

Este valor representa la desviación estándar conjunta, e incluye la desviación estándar de la ley de predicción del tránsito en el período de diseño con la desviación estándar de la ley de predicción del comportamiento del pavimento, es decir, el número de ejes que puede soportar un pavimento hasta que su índice de serviciabilidad descienda por debajo de un determinado P_t .

Se recomienda utilizar para S_0 valores comprendidos dentro de los intervalos siguientes:

Tipo de pavimento	Valores recomendados	
Pavimento rígido	0.35 para construcción nueva	0.39 para superposiciones
Pavimento flexible	0.45 para construcción nueva	0.49 para superposiciones

Figura 4.16 Tabla Valores para la desviación estándar. Fuente: AASHTO, guía para el diseño de Estructuras de Pavimentos 1993.

4.19 ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD Δ PSI

La diferencia entre el índice de serviciabilidad inicial (P_0) y el índice de serviciabilidad final (P_t) es $\Delta PSI = P_0 - P_t$

4.20 COEFICIENTE DE DRENAJE

Para seleccionar el coeficiente de drenaje seguir pasos de apartado 4.8.6 y seleccionar el coeficiente de drenaje de la tabla 4.17 para pavimentos rígidos.

Calidad del drenaje	P = % del tiempo en que el pavimento está expuesto a niveles de humedad cercanos a la saturación			
	< 1%	1% - 5%	5% - 25%	> 25%
Excelente	1.25-1.20	1.20-1.15	1.15-1.10	1.10
Bueno	1.20-1.15	1.15-1.10	1.10-1.00	1.00
Regular	1.15-1.10	1.10-1.00	1.00-0.90	0.90
Pobre	1.10-1.00	1.00-0.90	0.90-0.80	0.80
Muy pobre	1.00-0.90	0.90-0.80	0.80-0.70	0.70

Figura 4.17 Tabla Coeficiente de drenaje para pavimentos rígidos. Fuente: AASHTO, guía para el diseño de Estructuras de Pavimentos 1993.

4.21 TRANSFERENCIA DE CARGAS

El concepto de transferencia de cargas en las juntas transversales, se refiere a la capacidad de una losa de transferir una parte de su carga a la losa vecina. De este modo, una junta con el 100% de transferencia de carga será aquella que transfiera la mitad de su carga a la losa vecina, reduciendo por tanto sus tensiones de borde según.



Figura 4.18 Transferencia de Carga. Fuente: Sacada de internet

Como puede apreciarse, para lograr una efectiva transferencia de cargas en sentido longitudinal, para tráficos pesados, especialmente en carreteras, se debe usar barras pasa juntas en todas las juntas transversales. En caso de no usarlas, lo cual es común en pavimentos urbanos de tráfico liviano, el sistema constructivo de vaciar todas las losas en una sola franja y cortar las juntas en aproximadamente $1/3$ del espesor de la losa, permite que se desarrolle una fricción entre agregados gruesos en la zona de contacto en las juntas, para lo cual se recomienda espaciamientos de juntas no muy grandes a fin de reducir la apertura entre las juntas, mejorando este tipo de transferencia de cargas al tener los agregados un mayor contacto.

Por otra parte, la capacidad de transferencia de cargas en el sentido transversal tiene una importante influencia desde el punto de vista del diseño, de manera que en sentido transversal, el uso de hombros de concreto atada, o sobre anchos (losas con parte de la hombro maciza incorporada), tiene un efecto positivo en la reducción de esfuerzos en las losas. De acuerdo con estudios de deflexión elaborados por la American Concrete Pavement Association (ACPA), si se carga una losa sin barras pasa juntas en una esquina, se producirá una deflexión 5 veces mayor que si la carga se colocara en el centro de la losa.

Esta misma deflexión sería 3 veces mayor si la esquina estuviera vinculada con la losa adyacente mediante barras pasa juntas. Este estudio muestra la

importancia de utilizar sobre anchos y barras pasa juntas para tráficos pesados puesto que puede reducirse notablemente los esfuerzos de tensión en bordes y esquinas o bien optimizar el diseño reduciendo los espesores de diseño.

4.22 COEFICIENTE DE TRANSMISIÓN DE CARGA

Como se ha indicado, el desempeño de un pavimento mejora con la adición de barras pasa juntas y sobre anchos, factores que se toman en cuenta en el diseño a través del “coeficiente de transferencia de carga (J)” que permite considerar el apoyo lateral provisto en las esquinas de la losa; los dispositivos de transferencia de cargas; interacción de agregados, y la presencia de hombros de concreto vinculadas.

Coeficientes de transferencia de carga más altos corresponden a menor soporte. Este factor se utiliza para tomar en cuenta la capacidad del pavimento de concreto de transmitir las cargas a través de los extremos de las losas (juntas o grietas), su valor depende de varios factores, tales como: Tipo de pavimento (en masa reforzando en las juntas, de armadura continua, etc.); el tipo de borde ù hombro (de asfalto o de concreto unida al pavimento principal). La colocación de elementos de transmisión de carga (pasadores en los pavimentos con juntas, acero en los armados continuos, etc).

En función de estos parámetros, se indican en la siguiente tabla los valores del coeficiente J:

Tipo de pavimento	hombro			
	Elemento de transmisión de carga			
	Concreto asfáltico		Concreto hidráulico	
	si	no	si	no
No reforzado o reforzado con juntas	3.2	3.8 – 4.4	2.5 – 3.1	3.6 – 4.2
Reforzado continuo	2.9 – 3.2	-----	2.3 – 2.9	-----

Figura 4.19 Tabla Coeficiente de drenaje para pavimentos rígidos. Fuente: AASHTO, guía para el diseño de Estructuras de Pavimentos 1993.

las losas tienen elementos de la misma rigidez que ella, para el caso un hombro de concreto confina la parte principal de la carretera y el coeficiente de transmisión de carga tiende a ser menor, por lo tanto la losa también será de menor espesor.

Un hombro de asfalto tiene menor rigidez que la parte principal de la carretera y se considera semi-confinada, por lo que al ser mayor el coeficiente de transmisión de carga el espesor de la losa aumenta.

Dentro de cada intervalo de variación que se ve en la tabla, es recomendable utilizar el valor más alto cuando menor sea el Módulo de reacción de la subrasante k , también cuando sea más elevado el coeficiente de dilatación térmica del concreto y mayores las variaciones de temperatura ambiente.

En casos de carreteras de poco tránsito, en que el volumen de camiones sea reducido, entonces se pueden utilizar los valores más bajos de J , ya que habrá menos pérdida del efecto de fricción entre los agregados.

4.23 MÓDULO DE REACCIÓN DE LA SUBRASANTE (K)

Este factor nos da idea de cuánto se asienta la subrasante cuando se le aplica un esfuerzo de compresión. Numéricamente, es igual a la carga en libras por pulgada cuadrada sobre un área de carga, dividido por la deflexión en pulgadas para esa carga. Los valores de k son expresados como libras por pulgada cuadrada (psi).

El Módulo de reacción (k) de la superficie en que se apoya el pavimento de concreto o Módulo efectivo de la subrasante, es el valor de la capacidad soporte del suelo, la cual depende del Módulo de Resiliencia de la subrasante y subbase, así como el Módulo de Elasticidad de la subbase.

Puesto que la prueba de carga sobre placa, requiere tiempo y es costosa, el valor de k es estimado generalmente por correlación con otros ensayos simples, tal como la razón de soporte californiana (CBR) o las pruebas de valores R. El resultado es válido porque no se requiere la determinación exacta del valor k; las variaciones normales para un valor estimado no afectarán apreciablemente los requerimientos de espesores del pavimento. Es recomendable que el Módulo de elasticidad de la subbase no sea mayor de 4 veces del valor de la subrasante.

Este factor de corrección se obtiene como el cociente de la deformación a 10 psi (68.9 KPa o 0.7 Kg/cm²) de presión para un suelo no saturado y saturado. d

$$K_{\text{corregido}} = \frac{d}{d_{\text{saturado}}} * k_{s/\text{corregido}}$$

Ya que el valor del Módulo de resiliencia (M_r) de la subrasante, cambia a lo largo del año debido a ciclos de enfriamiento y calentamiento, para determinar el valor efectivo del módulo de reacción de la subrasante (k), es necesario calcularlo para cada mes del año.

4.24 MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO E_c

Es un parámetro que indica la rigidez y la capacidad de distribuir cargas que tiene una losa de pavimento. Es la relación entre la tensión y la deformación. Las deflexiones, curvaturas y tensiones están directamente relacionadas con el módulo de elasticidad del concreto. En los pavimentos de concreto armado continuo, el módulo de elasticidad junto con el coeficiente de expansión térmica y el de contracción del concreto, son los que rigen el estado de tensiones en la armadura. Para concreto de peso normal, el Instituto del Concreto Americano sugirió:

El módulo elástico del pavimento se determina con la ecuación:

$$EC = 57000 f_c'^{(0.5)}$$

Dónde:

E_c = módulo elástico del concreto (psi)

f_c' = resistencia a la compresión simple del concreto (psi)

La misma ecuación expresada en unidades métricas es:

$$E_c = 15,000 f_c'^{(0.5)}$$

Dónde:

E_c = módulo elástico del concreto (Kpa)

f_c' = resistencia a la compresión simple del concreto (Kpa)

El Módulo de elasticidad del concreto (E_c) se puede determinar conforme el procedimiento descrito en la norma ASTM C-469 o correlacionarlo con otras características del material como es la resistencia a la compresión. En algunos códigos se indica que para cargas instantáneas, el valor del Módulo de Elasticidad (E_c) se puede considerar conforme las ecuaciones de la siguiente figura 4.20

Tipo de agregado y origen	Módulo de Elasticidad E_c , Mpa	Módulo de Elasticidad E_c , Kg/cm ²
Grueso – Ígneo	$E_c = 5,500 \times (f_c)^{1/2}$	$E_c = 17,000 \times (f_c)^{1/2}$
Grueso - Metamórfico	$E_c = 4,700 \times (f_c)^{1/2}$	$E_c = 15,000 \times (f_c)^{1/2}$
Grueso – Sedimentario	$E_c = 3,600 \times (f_c)^{1/2}$	$E_c = 11,500 \times (f_c)^{1/2}$
Sin Información	$E_c = 3,900 \times (f_c)^{1/2}$	$E_c = 12,500 \times (f_c)^{1/2}$

Figura 4.20 Tabla Correlación entre la resistencia a la compresión y el Módulo de Elasticidad E_c . Fuente: AASHTO, guía para el diseño de Estructuras de Pavimentos 1993.

4.25 MÓDULO DE ROTURA DEL CONCRETO

Es un parámetro muy importante como variable de entrada para el diseño de pavimentos rígidos, ya que va a controlar el agrietamiento por fatiga del pavimento, originado por las cargas repetitivas de camiones. Se le conoce también como resistencia a la tracción del concreto por flexión.

El módulo de rotura requerido por el procedimiento de diseño es el valor medio determinado después de 28 días utilizando el ensayo de carga en los tercios. De esta manera, se obtiene en el tercio medio una zona sometida a un momento flector constante igual a $PL/3$ y la rotura se producirá en cualquier punto de este tercio medio con la única condición que exista allí una debilidad. Este ensayo es recomendable frente al ensayo de carga en el punto medio, en el cuál la rotura se producirá indefectiblemente en dicho punto (punto de aplicación de la carga) donde el momento flector es máximo.

El módulo de rotura está o resistencia a la tracción por flexión del concreto está relacionado con la ecuación

$$f_r' = k (f_c')^{0.5}$$

Dónde:

f_r' y f_c' Están dados en psi , K es una constante

La resistencia a la tracción indirecta está relacionada con f_r' a través de:

$$f_r' = 1.02f_i' + 210 \text{ , Resistencias en psi.}$$

Alternativamente, con las resistencias en kPa se puede expresar:

$$f_r' = 1.02f_i' + 1450$$

4.26 FACTOR DE PÉRDIDA DE SOPORTE L_s

Este factor, es el valor que se le da a la pérdida de soporte que pueden llegar a tener las losas de un pavimento de concreto, por efecto de la erosión en la

subbase por corrientes de agua o por los asentamientos diferenciales de la subrasante.

Este factor no aparece en forma directa en la fórmula de diseño para obtener el espesor de un pavimento de concreto; pero si está en forma indirecta a través de la reducción del Módulo de reacción efectivo de la superficie (subrasante) en que se apoyan las losas.

En la siguiente tabla se dan valores de L_s para distintos tipos de subbases y bases.

Tipo de material	E	Pérdida de Soporte
Base Granular Tratada con Cemento	1, 000, 000 a 2, 000, 000 psi	0.0 a 1.0
Mezclas Agregadas de Cemento	500, 000 a 1, 000, 000 psi	0.0 a 1.0
Base Tratada con Asfalto	350, 000 a 1, 000, 000 psi	0.0 a 1.0
Mezcla Estabilizada Bituminosa	40, 000 a 300, 000 psi	0.0 a 1.0
Cal Estabilizada	20, 000 a 70, 000 psi	1.0 a 3.0
Materiales Granulares sin Consolidar	15, 000 a 45, 000 psi	1.0 a 3.0
Materiales de Subgrados Finos o Naturales	3, 000 a 40, 000 psi	2.0 a 3.0
NOTA: E en esta tabla se refiere al símbolo general para el módulo elástico o resiliente del material.		

Figura 4.21 Tabla Valores del factor pérdida de soporte L_s por el tipo de subbase o base .Fuente: AASHTO, guía para el diseño de Estructuras de Pavimentos 1993.

En el siguiente ejemplo se explica cómo utilizar los ábacos para la determinación del espesor de losa de pavimento rígido.

$$K= 72 \text{ psi}$$

$$S_o= 0.29$$

$$E_c = 5 \times 10^4 \text{ psi}$$

$$R= 95\%$$

$$S'_o = 650 \text{ psi}$$

$$\Delta \text{PSI} = 4.2 - 2.5 = 1.7$$

$$J = 3.2$$

$$W = 5.1 \times 10^6 \text{ ESAL's}$$

$$C_d = 1.0$$

- 1) Comenzando al lado izquierdo del ábaco de la figura 4.22 donde dice modulo efectivo de reacción de la subrasante , se sale con el valor de $k = 72 \text{ psi}$, hasta interceptar con la curva del módulo elástico del concreto de $E_c = 5 \times 10^4 \text{ psi}$, luego se sale con una línea horizontal hasta interceptar con la línea inicial vertical del módulo efectivo de reacción k .
- 2) Luego se proyecta una línea hasta el módulo de ruptura del concreto $S'_o = 650 \text{ psi}$, hasta interceptar la línea de pivote TL.
- 3) De esta línea de pivote TL se sale a buscar el valor del coeficiente de transferencia de cargas de $J = 3.2$, hasta interceptar con la siguiente línea de pivote TL.

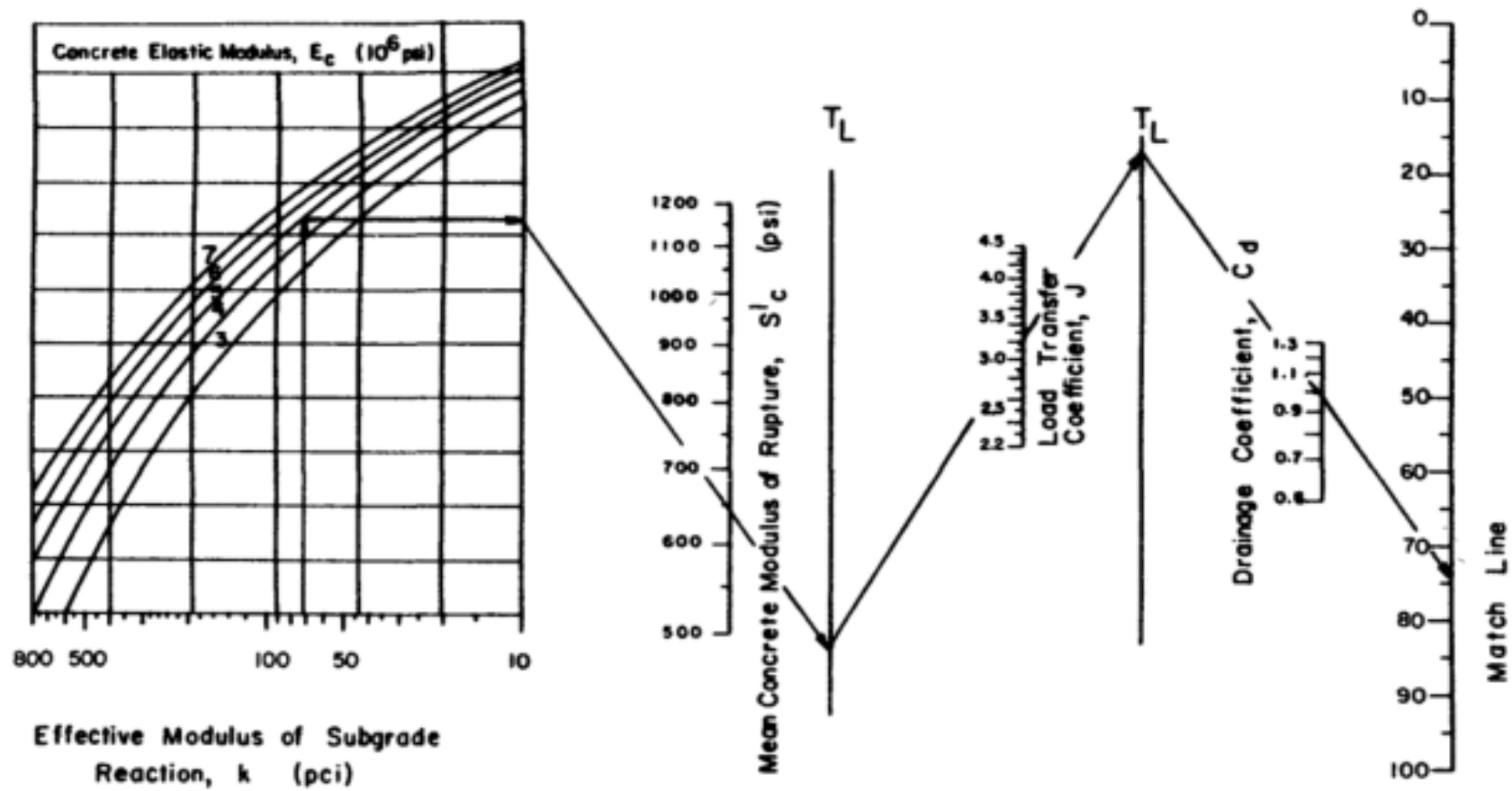


Figura 4.22 Nomograma para el cálculo de espesor de losa de pavimentos rígidos. Fuente: Guía AASHTO 93.

- 4) Después de esta línea de pivote se sale a buscar el valor del coeficiente de drenaje $C_d = 1.0$, hasta interceptar con un valor de la línea de paso.
- 5) De este valor de la línea de paso, se proyecta una línea al valor en el gráfico de la pérdida de serviciabilidad de $\Delta PSI = 1.7$ y se proyecta hasta chocar con la línea vertical del gráfico del espesor de losa. De este punto sale una línea horizontal hasta interceptar con la línea que obtendremos del otro extremo del monograma.
- 6) Luego nos dirigimos hacia la parte final del nomograma y entramos con el valor de la confiabilidad de $R = 95\%$, luego proyectamos una línea que sale de este valor, pasando por el valor de la desviación estándar $S_o = 0.29$, hasta la línea de pivote de TL.
- 7) Luego salimos de esta línea de pivote y buscamos el valor de los ESAL's de $W = 5.1 \times 10^6$ ESAL's, pasamos por este valor hasta chocar con la línea horizontal del gráfico de espesor de losa. De este punto proyectamos una línea vertical hasta interceptar con la línea que obtuvimos del otro lado del nomograma y leemos el valor del espesor de losa en el punto de intercepción que es igual aproximadamente a $D = 10$ pulg.

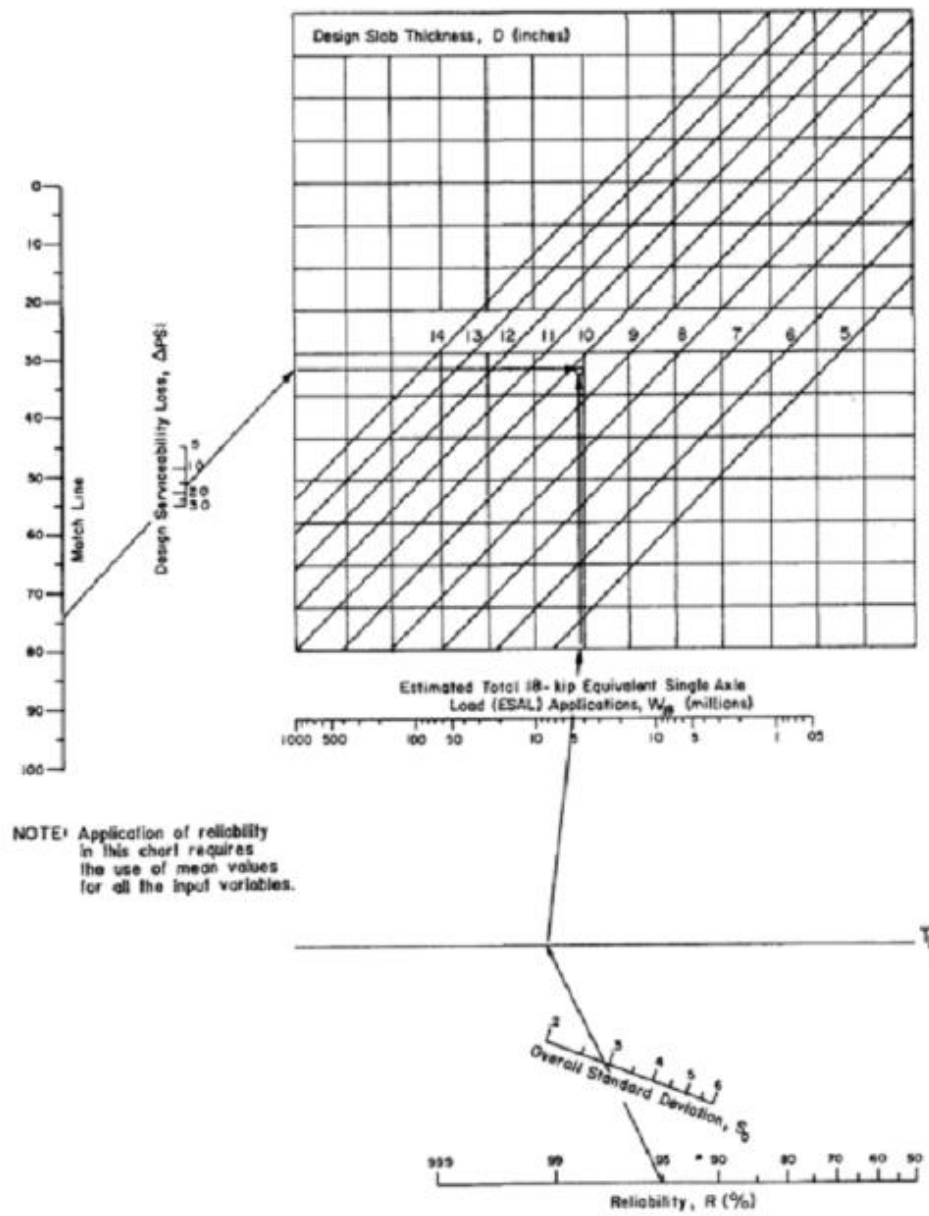


Figura 4.22 Nomograma para el cálculo de espesor de losa de pavimentos rígidos. Fuente: Guía AASHTO 93.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- ✓ Se llega a la conclusión que para el desarrollo de una herramienta como esta, se necesita la colaboración de un equipo de Ingenieros especialistas en cada área según lo requiera el desarrollo del programa

- ✓ Como resultado de la investigación y desarrollo del programa, es posible concluir que el cálculo de ESAL's con esta herramienta, da mayores resultados en pavimentos rígidos en comparación con los ESAL's de un pavimento flexible.

- ✓ El desarrollo del SN por medio de la fórmula de la guía AASHTO 93 se complicó por dificultad al despeje de la formula, por lo que se optó por calcular el SN a través del nomograma.

- ✓ De igual forma el cálculo del espesor de losa D, se calcula a través del nomograma y no por la fórmula que sugiere la guía AASHTO 93.

5.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda contar para el desarrollo de un programa como este con un equipo de ingenieros en las áreas de Ing. Civil, Ing. Sistemas, Ing. Matemático, Ing. Gráfico.
- Se Sugiere mejorar este programa con otra versión, para superar las deficiencias de este.
- Leer el Manual del usuario para evitar complicaciones. Se encuentra en la escuela de Ingeniería Civil.

5.3 BIBLIOGRAFIA

- ✓ **AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS (AASHTO) 1993.** Guia para el diseño de estructuras de pavimentos
- ✓ **VARIABLES DE ENTRADA AL PROCESO DE DISEÑO DE PAVIMENTOS RIGIDOS UTILIZANDO METODOS MECANICISTAS**
Ing. Pablo Luís Enrique Navarrete Saravia
Escuela de ingeniería Civil. Facultad de Ingeniería y Arquitectura,
Universidad de El Salvador.
- ✓ **MANUAL CENTROAMERICANO PARA DISEÑO DE PAVIMENTOS**
Secretaría de Integración Económica Centroamericana (SIECA)
Noviembre, 2002.
- ✓ **METODO DE DISEÑO DE LOSAS DE DIMENSIONES SUPERFICIALES, EN PAVIMENTO DE CONCRETO HIDRAULICO.**
Pablo Emilio Sánchez Campos
Escuela de ingeniería Civil. Facultad de Ingeniería y Arquitectura,
Universidad de El Salvador.