

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE POSTGRADO
MAESTRIA EN INGENIERIA VIAL



**ELABORACIÓN DE DOCUMENTO DE APOYO, AL CURSO
TIPOLOGÍA DE PAVIMENTOS DE LA MAESTRÍA EN
INGENIERÍA VIAL.**

INGENIERA CIVIL DAMARIS NOEMI MONZÓN MÉNDEZ.

GUATEMALA, OCTUBRE 2010

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ELABORACIÓN DE DOCUMENTO DE APOYO, AL CURSO
TIPOLOGÍA DE PAVIMENTOS DE LA MAESTRÍA EN
INGENIERÍA VIAL**

Presentada a la Junta Directiva de la
Facultad de Ingeniería

POR

INGENIERA CIVIL DAMARIS NOEMI MONZÓN MÉNDEZ.

Asesorada por: Msc.Ing. José Santos Monzón Gámez

Al conferírsele el título de

MAESTRA EN CIENCIAS DE INGENIERÍA VIAL

GUATEMALA, OCTUBRE 2010

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ELABORACIÓN DE DOCUMENTO DE APOYO, AL CURSO
TIPOLOGÍA DE PAVIMENTOS DE LA MAESTRÍA EN
INGENIERÍA VIAL.**

Informe final de tesis para la obtención del Grado de Maestra en Ciencias, con base en el "Normativo de Tesis para Optar al Grado de Maestra, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería, el 19 de Junio de 2010.

ASESOR: Msc .Ing. Civil José Santos Monzón
DAMARIS NOEMI MONZÓN MÉNDEZ.

GUATEMALA, OCTUBRE 2010

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA**



MIEMBROS DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympto Pais Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Guerrero de López
VOCAL III	Ing. Miguel Angel Dávila
VOCAL IV	Bar. José Milton De Leon Bran
VOCAL V	Br. Isaac sultán Mejía
SECRETARIO	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXÁMEN DE DEFENSA DE
TESIS**

DECANO	Ing. Murphy Olympto Pais Recinos
EXAMINADOR	Ing. César Augusto Akú Castillo
EXAMINADOR	Ing. José Santos Monzón Gámez
EXAMINADOR	Ing. José Leonel Aguilar Girón
SECRETARIO	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas



HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración el trabajo de graduación titulado:

ELABORACIÓN DE DOCUMENTO DE APOYO, AL CURSO TIPOLOGÍA DE PAVIMENTOS DE LA MAESTRÍA EN INGENIERÍA VIAL.

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Postgrado de la Facultad de Ingeniería, con fecha 19 de Junio de 2010.

DAMARIS NOEMI MONZÓN MÉNDEZ.

AGRADECIMIENTOS

A DIOS PADRE, HIJO Y ESPIRITU SANTO:

Por brindarme las fuerzas necesarias para llegar a este momento.

A la Universidad de San Carlos de Guatemala:

A los Ingenieros: José Leonel Aguilar Girón y José Santos Monzón.

Por su valiosa ayuda en el asesoramiento del presente trabajo de graduación.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	I
ANTECEDENTES	III
OBJETIVOS GENERALES Y ESPECIFICOS	IV
CAPÍTULO 1	
FASE DE INVESTIGACIÓN	1
1.1 Metodología utilizada	2
1.1.1 Búsqueda de Información	2
1.1.2 Encuesta realizada	2
1.2 Diagnostico	2
CAPÍTULO 2	
SISTEMA DE ESTUDIOS DEL CURSO TIPOLOGÍA DE PAVIMENTOS	7
2.1 El entorno académico y perfil del estudiante	8
2.2 El entorno del curso de Tipología de Pavimentos	9
2.3 .Contenido del curso de Tipología de Pavimentos	12
CAPÍTULO 3	
CONTENIDO A DESARROLLAR	13
3.1 Diferentes Tipos de Pavimentos	14
3.3.1 Pavimentos Rígidos	14
3.3.2 Pavimentos Flexibles	14
3.2 Ramas Principales de la Ingeniería de Pavimentos	15

3.2.1	Ingeniería de Tránsito	15
3.2.2	Geología	15
3.2.3	Ingeniería de Suelos	15
3.2.4	Meteorología	15
3.3	Factores Condicionantes para el Diseño de pavimentos flexibles	16
3.3.1	Tránsito	16
3.3.2	Cargas de eje	16
3.3.3	Cargas vehiculares cuantificación, pronóstico, efecto	18
3.3.4	Ejes Equivalentes	18
3.3.5	Tasas de Crecimiento, Número Carriles	19
3.3.6	Período de Diseño	19
3.3.7	Factor de Pista o distribución por dirección	19
3.3.8	Número de Carriles	20
3.3.9	Espectro de Carga	21
3.3.10	Características de la subrasante y materiales	22
3.3.11	Clasificación de suelos AASHTO	22
3.3.12	Clasificación de suelos S.U.C.S	23
3.3.13	Módulos de Resilencia y Coeficientes de aporte estructural	23
3.3.14	Clima y Drenaje	25
3.3.15	Nivel de Servicio	25
3.3.16	Niveles de Servicio inicial y final	25
3.3.17	Confiabilidad	27
3.3.18	Desviación Estándar	27

3.4	Identificación y características de las capas componentes del pavimento flexible	27
3.4.1	Identificación	27
3.4.2	Capas componentes de pavimento flexible	28
3.5	Delimitación de tramos homogéneos	29
3.6	Evolución Métodos de diseño	30
3.7	Métodos Empíricos	31
3.8	Métodos Empíricos-Experimentales	32
3.9	Métodos Mecanísticos-Empíricos	33
3.10	Modelos de Deterioro	33
3.11	Métodos de diseño de pavimentos flexibles AASHTO	35
3.11.2	Suelos	35
A.	Exploración	35
B.	Caracterización	35
C.	Propiedades físico- mecánicas	36
D.	Capacidad de Soporte	37
3.11.3	Materiales	39
3.12	Aplicación Método AASHTO en pavimentos flexibles, construcción Nueva	39
3.13	Modelos de distribución de esfuerzos para pavimentos flexibles	44
3.14	Método de Diseño del Instituto de Asfalto en pavimentos flexibles	45
3.15	Aplicación Método de Diseño del Instituto de Asfalto en Pavimentos flexibles	49

3.16 Evaluación de resultados de operaciones, construcción,	
deflexión, rugosidad	51
3.16.1 Viga Benkelman	51
3.16.2 Deflectógrafo Lacroix	51
3.16.3 Deflectómetros de Impacto	52
3.16.4 Curviámetro	53
3.16.5 Georradars	53
3.17 Diseño de mezclas asfálticas	54
3.18 Procedimientos de construcción y Control de calidad	55
3.18.1 Procedimientos de evaluación de pavimentos en servicio	56
3.18.2 Procedimientos Mantenimiento y Rehabilitación	56
3.18.3 Procedimientos de control de calidad	56
CONCLUSIONES	57
RECOMENDACIONES	58
BIBLIOGRAFÍA	59

INTRODUCCIÓN

En nuestro país cada día se gradúan Ingenieros en las diversas universidades que existen, cada uno de ellos tiene el propósito de realizar un trabajo exitoso que contribuya al desarrollo de la nación, por lo cual se hace necesaria la preparación a nivel de postgrado en las áreas específicas de la carrera de Ingeniería Civil.

En los últimos años se ha observado que una de las carreras a nivel de Maestría que ha tenido acogida entre los egresados a nivel de licenciatura especialmente de las ramas de la Ingeniería, es la Maestría en Ingeniería Vial, esto debido a que se percibe que nuestro país tiende actualmente a la necesidad de inversión de proyectos viales en sus diferentes fases Planificación, Construcción, Supervisión y Mantenimiento, lo que requiere de profesionales mejor preparados que puedan con facilidad: Establecer el ámbito general de la ingeniería de pavimentos, identificar los diferentes tipos de pavimentos, definir los criterios básicos que determinan el diseño de la estructura del pavimento, plantear un panorama general de la interacción cargas-pavimento-suelo, presentar un enfoque general de los métodos de diseño mas usados actualmente, identificación de las principales variables de diseño de pavimentos flexibles, comprender efecto de practicas constructivas y de control de calidad en el cumplimiento de los resultados previstos en el diseño, proporcionar los criterios que permitan evaluar con espíritu crítico los resultados del diseño y poder definir la aplicabilidad en casos concretos.

Infortunadamente algunos alumnos que llegan a las aulas del postgrado en ocasiones no llevan claros los conceptos fundamentales afines al curso, lo que redundaría en dificultad de comprensión de temas tratados. A la vez debido al factor tiempo al catedrático del curso le es imposible detenerse a enfatizar los temas que se supone son básicos.

Debido a lo anteriormente planteado se hace necesaria la creación de un documento de apoyo al curso Tipología de Pavimentos, en el cual se traten los temas con sencillez, basándose en la bibliografía sugerida para el curso, en él se llevara un orden afín al programa existente.

ANTECEDENTES

El país requiere de profesionales que tengan los conocimientos necesarios para desempeñarse en cualquier fase de los proyectos viales de manera precisa, aplicando juicios que se manejan a nivel del Continente Americano basados en especificaciones y manuales reconocidos internacionalmente.

La necesidad de proyectos viales que se presentan en todas las regiones del país, los cambios climáticos que se dan año con año y la falta de cobertura en el periodo de diseño de los proyectos ejecutados en los últimos años, obliga a los Ingenieros a prepararse a nivel de postgrado, con la finalidad de: Adquirir fundamentos teóricos para poder aplicar diferentes métodos de diseño, habilitar la posibilidad de aplicar nuevos métodos de diseño en el futuro, comprender el efecto de practicas constructivas y control de calidad en el cumplimiento de los resultados previstos en el diseño, proporcionar los criterios que permitan evaluar con espíritu crítico los resultados del diseño y poder definir la aplicabilidad en casos concretos.

La redacción de un documento relacionado al curso en el que se puedan ampliar los conceptos básicos, permitirá a los alumnos tener acceso al mismo desde el inicio del curso y despejar dudas que vayan surgiendo previo a que los temas sean tratados en el curso a fin de avanzar en el contenido sin tener el catedrático la necesidad de reforzar temas bases.

OBJETIVOS GENERALES Y ESPECÍFICOS

OBJETIVOS GENERALES

Hacer un aporte a la Escuela de Postgrado de un documento que contenga un resumen de los temas que se tratan en el curso de Tipología de Pavimentos que forma parte del pensum de estudios de la Maestría en Ingeniería Vial de la Universidad De San Carlos de Guatemala.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

1. Proporcionar a los alumnos del curso de Tipología de Pavimentos una herramienta bibliográfica que reúna los conceptos ampliados que son básicos para la correcta comprensión del contenido del curso.
2. Abordar cada contenido del curso de manera sencilla proporcionando los fundamentos teóricos para la correcta utilización de los mismos.
3. Contribuir en la formación de investigadores, docentes y alumnos de la carrera de ingeniería civil y en la Maestría en Ingeniería Vial, para que cada uno de ellos realice de mejor manera el ejercicio de la profesión.

CAPÍTULO 1
FASE DE INVESTIGACIÓN

1.1 Metodología utilizada

1.1.1 Búsqueda de Información: La presente investigación se inició con la búsqueda de documentación bibliográfica de las diferentes variables involucradas en el curso.

1.1.2 Encuesta realizada: Se continuo con una encuesta realizada a alumnos del curso Tipología de Pavimentos de la primera Cohorte de Maestría en Ingeniería Vial del Centro Universitario de Occidente, en la cual se plantearon preguntas concretas sobre la preparación con la que llegan a las aulas de postgrado, con la finalidad de tener una base de información para dar inicio al estudio del problema.

La encuesta se paso a mediados del trimestre con la finalidad de que los alumnos ya hubieran visto al menos el 50 % del curso.

Las preguntas fueron las siguientes:

1. ¿Cuál es su profesión a nivel de Universidad?
2. ¿Considera que trae buena base teórica del curso?
3. ¿Qué aspectos le gustaría que se mejorara en la impartición de las clases?
4. ¿Cree que un documento específico del curso de Tipología de Pavimentos sería necesario?

1.2 Diagnostico

Seguido de la toma de muestras se realizó el análisis de las mismas.

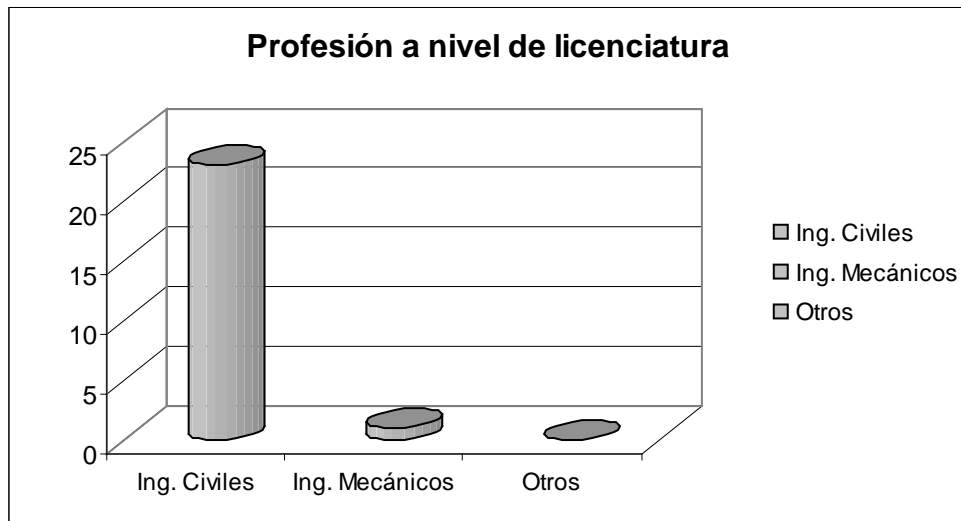
Las encuestas efectuadas proporcionan información relevante para la definición de variables que afectan de manera positiva o negativa la metodología aplicada hasta el momento, la muestra fue de 24 variables.

La información y tabulación de las encuestas dio el siguiente resultado:

1.2.1 ¿Cuál es su profesión a nivel de Universidad?

Se planteo esta pregunta debido a que la carrera esta abierta a profesionales que no necesariamente tengan una licenciatura en Ingeniería civil.

Las respuestas se evidencian en la siguiente grafica.

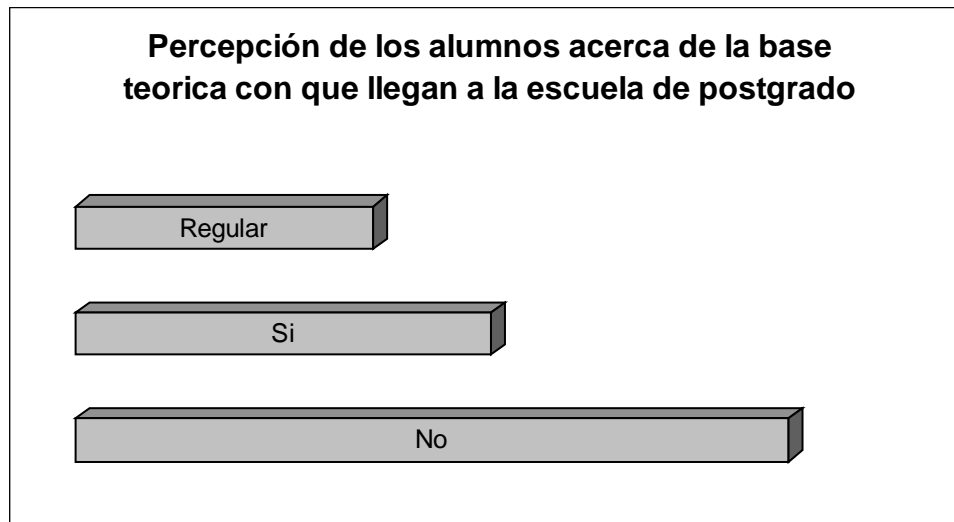


Ingenieros Civiles	=	23
Ingenieros Mecánicos	=	1
Otras profesiones	=	0

1.2.2 ¿Considera que trae buena base teórica del curso?

La pregunta se realiza debido a que el tiempo durante el cual se desarrollan los cursos a nivel de maestría es corto y se asume que el estudiante ya trae conocimientos básicos, lo cual en algunos casos no es cierto, debido a que a nivel de licenciatura no existe un área específica de pavimentos.

Las respuestas se evidencian en la siguiente grafica



No	=	12
Si	=	7
Regular	=	5

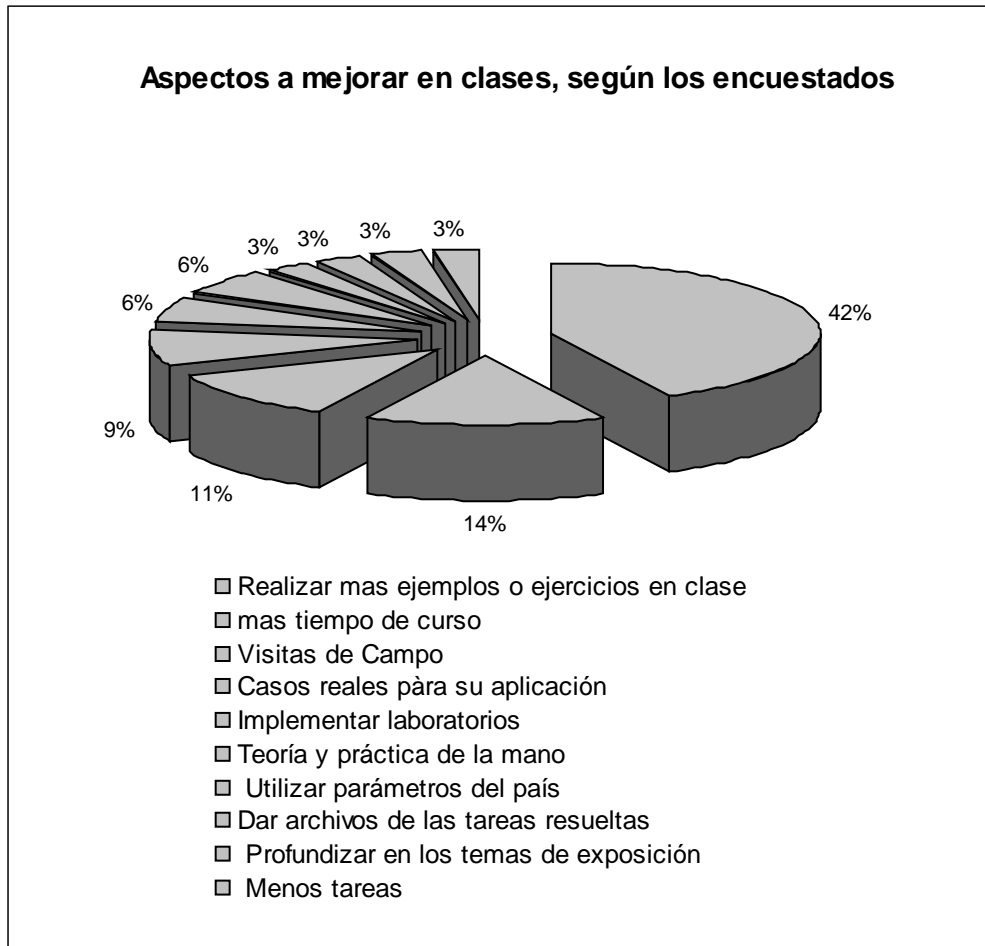
1.2.3 ¿Qué aspectos le gustaría que se mejorara en la impartición de las clases?

El propósito de esta pregunta fue que el estudiante tuviera la oportunidad de externar sus expectativas, algunos de los encuestados dieron una respuesta múltiple.

Lógicamente las respuestas fueron variadas, entre las más relevantes están las siguientes

- | | | |
|--|---|----|
| a. Realizar mas ejemplos o ejercicios en clase | = | 15 |
| b. Dedicar más tiempo al curso | = | 5 |
| c. Realizar visitas de Campo | = | 4 |
| d. Casos reales para su aplicación | = | 3 |
| e. Implementar laboratorios | = | 2 |
| f. Teoría y práctica de la mano | = | 2 |
| g. Utilizar parámetros del país | = | 1 |
| h. Dar archivos de las tareas resueltas | = | 1 |

- i. Profundizar en los temas de exposición = 1
- j. Menos tareas = 1



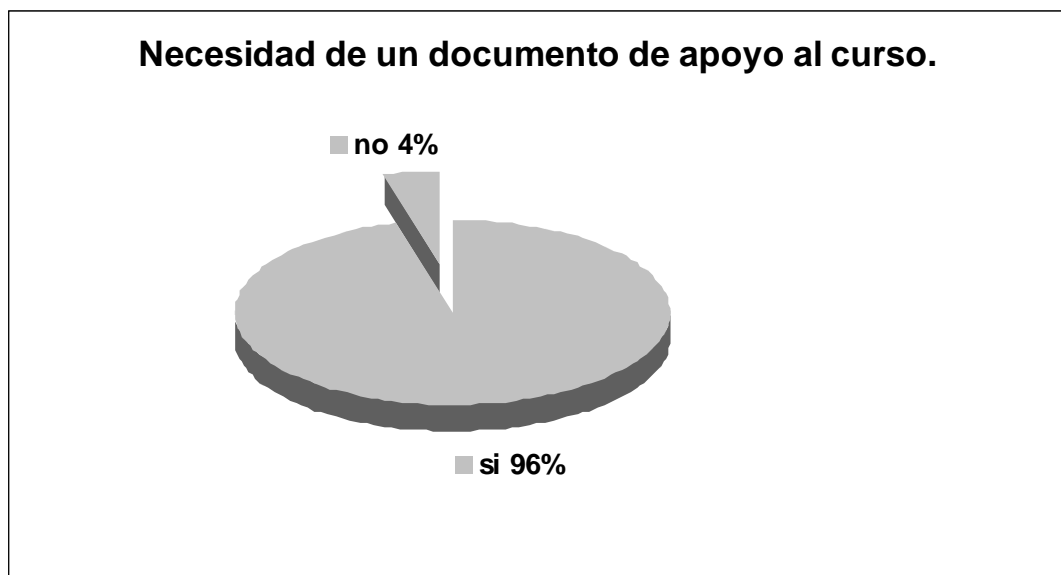
En la grafica se observa la tabulación de los comentarios.

1.2.4 ¿Cree que un documento específico del curso Tipología de Pavimentos sería necesario?

La respuesta a la pregunta fue categórica con un resultado de:

Si = 23

No = 1



Según se evidencia en la grafica el 96 % de los alumnos encuestados opino que un documento específico del curso de Tipología de Pavimentos sería necesario y útil para el desarrollo del mismo, con lo que se fundamenta la elaboración del mismo.

CAPÍTULO 2

SISTEMA DE ESTUDIOS DEL CURSO TIPOLOGÍA DE PAVIMENTOS

2.1 El entorno académico y perfil del estudiante

2.1.1 La temática de los estudios de Postgrado, en Ingeniería Vial, ha sido considerada para que los cursos sean impartidos en trimestres, pueden acceder a ellos todos los profesionales de la Ingeniería o profesionales de otras disciplinas que estén familiarizados con temas viales.

2.1.2 La carrera pretende fomentar en el estudiante un carácter investigativo, debido a lo amplio del contenido del tema vial, comparado con el tiempo programado para el cierre de pensum, lo que implica que el alumno debe reforzar los conocimientos por iniciativa propia consultando bibliografía adecuada.

2.1.3 Los cursos están organizados para ser impartidos en 12 sesiones de 3 horas (36 horas presenciales).

2.1.4 Los cursos de la maestría son impartidos en forma semanal, usualmente los días sábados en horarios de 7:00 a 10:00 horas ó 10:00 a 13:00 horas.

2.1.5 En cuanto al perfil del estudiante, este corresponde a profesionales que realizan ó han participado en alguna actividad profesional en el área vial y que han identificado la necesidad de prepararse adecuadamente para la realización de sus actividades.

2.1.6 La mayor parte de estudiantes realizada actividades constructivas, ya sea como ejecutores o supervisores y minoritariamente tienen experiencia o realizan actividades de diseño. En contados casos, se presentan estudiantes con experiencia en planificación y/o estudios de tránsito.

2.1.7 Mayoritariamente, los estudiantes de la maestría vial trabajan entre semana y que disponen de tiempo limitado para la realización de las actividades académica en virtud, generalmente son jefes de familia.

2.1.8 En términos de edades, corresponde mayoritariamente, alrededor del 60% a profesionales entre 30 y 40 años, seguido de profesionales con más de 40 años (25%) y un 15% de profesionales menores de 30 años. En términos de género, un 90% son hombres.

2.1.9 Los estudiantes presentan conocimientos aislados en temas específicos y típicamente tienen una visión parcial del quehacer vial.

2.1.10 Mayoritariamente reconocen una deficiente formación a nivel de pregrado en la ingeniería vial.

2.2 El entorno del curso de Tipología de Pavimentos.

2.2.1 El curso Tipología de Pavimentos, forma parte del pensum de la Maestría en Ingeniería Vial, ubicándose en los últimos trimestres, esto debido a que en el contenido se deben aplicar conceptos y conocimientos de los primeros cursos recibidos, es uno de los cursos centrales de la carrera, debido a su contenido..

2.2.2 El curso pretende dar una visión general de la ingeniería de pavimentos, identificar los diferentes tipos de pavimentos y presentar los criterios básicos que determinan el diseño de la estructura de pavimento, en el marco de los métodos de diseño utilizados más ampliamente en la actualidad.

2.2.3 En ese entorno, el curso pretende que el estudiante este en capacidad de identificar las principales variables de diseño, conozca los

fundamentos teóricos para poder aplicar diferentes métodos de diseño, comprenda los efectos de prácticas constructivas y control de calidad en el cumplimiento de los resultados previstos en el diseño, cuente con los criterios que permitan evaluar con espíritu crítico los resultados del diseño y poder definir la aplicabilidad en casos concretos.

2.2.4 Para tales efectos, las clases presenciales deben estimular la participación del estudiante a través de la investigación y presentación de temas específicos de interés general y/o de interés particular del estudiante, el mantener un proceso interactivo de preguntas y respuestas, en contraposición a clases puramente magistrales. Cabe acotar que se debe impulsar la investigación previa a los temas a ser tratados en clase a efectos de que las actividades presenciales correspondan primariamente a la resolución de cuestionamientos de los estudiantes participantes.

2.2.5 El catedrático deberá organizar y presentar desde un inicio, la metodología de estudio, las actividades a desarrollar, así como la forma de calificación, reiterándose la conveniencia que estos aspectos se enfoquen al estímulo de una participación activa del estudiante.

2.2.6 Dado que en general, la Maestría vial pretende actualizar o dar a conocer a los estudiantes en el uso de tecnología de punta, como parte del curso de tipología de pavimentos es recomendable dar a conocer a los estudiantes la existencia de programas computacionales disponibles para el diseño de pavimentos. Sin embargo, el curso no debe enfocarse en el conocimiento y uso de dichos programas, sino más bien en la base teórica y los conceptos fundamentales del diseño de pavimentos a fin de generar en los estudiantes, como se indico arriba, espíritu crítico y el desarrollo de criterios para juzgar la aplicabilidad de los resultados generados a través de dichos programas. Como toda actividad de

ingeniería, no existen “recetas de cocina” sino más bien la aplicación de conceptos y teorías específicas para la búsqueda de soluciones para cada caso específico.

2.2.7 Como parte del curso, se debe estimular a los estudiantes a realizar por sí mismos y discutir en clase los procedimientos y resultados alcanzados en el desarrollo de casos específicos (ejercicios) a fin contribuir al desarrollo de criterios para evaluar tanto el desarrollo conceptual-teórico del procedimiento como la lógica y aplicabilidad de los resultados.

2.2.8 En la medida de lo posible, es conveniente la realización de visitas de campo para observar y discutir casos particulares de aplicación, lo que puede contribuir a una mayor familiarización con ensayos de campo, ensayos en laboratorios de empresas constructoras o supervisoras, procedimientos constructivos y con la preparación de los materiales para las diferentes capas de la estructura del pavimento como pueden ser sub-bases, bases y mezclas asfálticas.

2.2.9 Dadas las restricciones propias del entorno de la maestría, el perfil mismo del estudiante, así como la disponibilidad de tiempo, se debe organizar el curso siguiendo una secuencia lógica, fomentando la asistencia y participación del estudiante.

2.2.10 En lo posible se debe incentivar la originalidad en la presentación de tareas y trabajos de investigación, evitando la repetición de tareas ó trabajos de investigación de cursos previos.

2.3 Contenido del curso de Tipología de Pavimentos.

En principio, el curso Tipología de Pavimentos comprenderá el desarrollo de los siguientes temas.

- Ramas Principales Ingeniería de Pavimentos
- Diferentes Tipos de Pavimentos
- Principales variables que afectan comportamiento pavimento
- Concepto Nivel de Servicio AASHTO
- Cargas vehiculares cuantificación, pronóstico, efecto
- Aspectos Generales Relaciones Esfuerzo Deformación, módulo de resiliencia
- Identificación y características capas componentes
- Delimitación de tramos homogéneos
- Evolución Métodos de diseño
- Métodos Empíricos
- Métodos Empíricos-Experimentales
- Métodos Mecánicos-Empíricos
- Modelos de Deterioro
- Métodos de diseño pavimentos flexibles AASHTO
- Aplicación Método AASHTO en pavimentos flexibles, construcción nueva
- Diseño por etapas y capas de refuerzo
- Aplicación Métodos Instituto de Asfalto en pavimentos flexibles
- Aplicación métodos no destructivos FWD, rugosímetros
- Evaluación Resultados operaciones construcción, deflexión, rugosidad
- Diseño de mezclas asfálticas
- Procedimientos de Construcción, Control de calidad

CAPÍTULO 3

CONTENIDO A DESARROLLAR

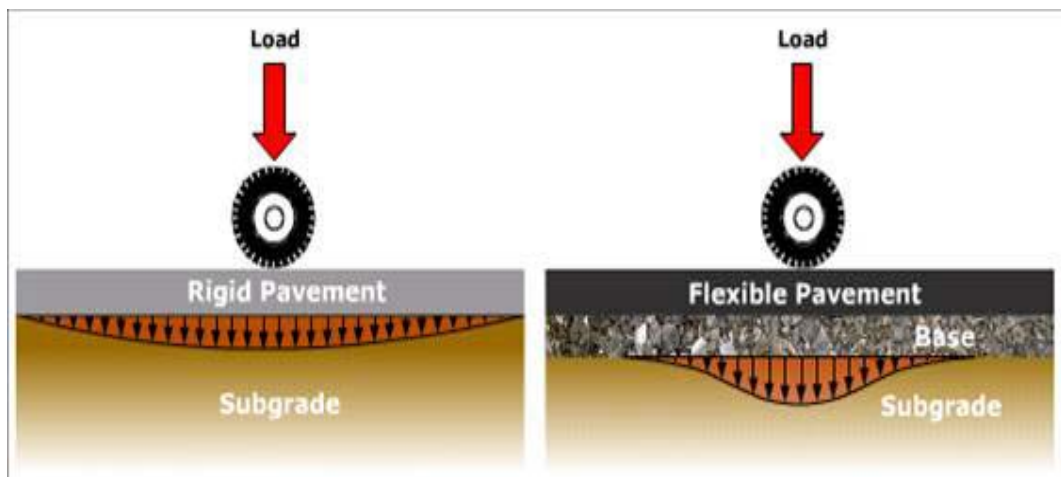
3.1 Diferentes Tipos de Pavimentos

La **tipología**, literalmente implica el estudio de los tipos en diversos campos de estudio, realiza una clasificación de diferentes elementos.

La **tipología de pavimentos**, comprende los diferentes tipos de pavimentos existentes, entre ellos se mencionan los siguientes:

3.1.1 Pavimentos Rígidos: Están constituidos por una losa de concreto hidráulico como carpeta de rodadura, se apoya sobre una capa de material seleccionado (base) o directamente sobre la subrasante si ella cumple las especificaciones requeridas, entre sus características están; Elevado módulo de elasticidad, el cual produce presiones bajas hacia el material soportante, esfuerzos y deformaciones bajas.

3.1.2 Pavimentos Flexibles: Formados por una carpeta de rodadura de material bituminoso sobre dos capas no rígidas (base y subbase), las cuales tienen módulos mas bajos, los esfuerzos son altos entre capas y en la subrasante.



3.2 Ramas Principales de la Ingeniería de Pavimentos

La Ingeniería de Pavimentos requiere varios estudios que sirven como antecedentes básicos de los elementos que intervienen en el diseño estructural del pavimento, las cuales permitirán definir número, tipo, características y espesor de las capas constituyentes, entre ellos resaltan importancia los estudios realizados por las siguientes ramas:

- 3.2.1 Ingeniería de Tránsito:** Estudio mediante el cual se realiza la evaluación de cargas de eje, y límites reglamentarios.
- 3.2.2 Geología:** Brinda la información necesaria indicando la zona geológica correspondiente a la ubicación de cada proyecto en particular.
- 3.2.3 Ingeniería de Suelos:** Rama que interviene a todo lo largo del proyecto, realizando estudios de los materiales que participan como cimiento de la estructura (características de la subrasante), y de los materiales constituyentes de las capas del pavimento (características de los materiales).
- 3.2.4 Meteorología:** La información recabada de las condiciones ambientales de la zona específica del proyecto, nos permitirán tomar las consideraciones adecuadas en el diseño.

3.3 Factores Condicionantes para el Diseño de pavimentos flexibles.

3.3.1 Tránsito: Cantidad de vehículos automotores que transitan por un camino. Dentro del gran número de factores que se consideran actualmente para el análisis estructural y diseño de pavimentos, el tránsito vehicular es uno de los más importantes.

Su caracterización adecuada es fundamental para poder concebir estructuras de pavimento que sean capaces de ofrecer altos desempeños en términos de durabilidad.

Determinado a través de datos reales, los cuales han sido recopilados durante un lapso de tiempo. Para ello se utilizan conteos de tránsito, los cuales se pueden hacer por medio de dispositivos electrónicos o por medio manual.

Se deben determinar las cargas más pesadas por eje (simple, tandem y tridem), para luego determinar el número de ejes equivalentes que soportara la estructura durante el período de diseño.

3.3.2 Cargas de eje: El peso de los ejes de los vehículos que circulan por una vía es uno de los datos que tiene relevancia en el diseño de la estructura del pavimento, se debe emplear una metodología para calcular el número probable de aplicaciones de una carga patrón equivalente que utilizara el pavimento durante el período de diseño.

Los tipos de ejes son:

Eje sencillo, es un eje que tiene en sus extremos una o dos ruedas.

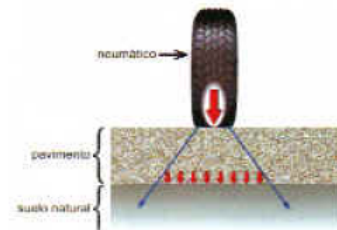
Eje tándem, también llamado eje doble, constituidos por dos ejes con rueda doble en los extremos.

Eje tridem, también llamado eje triple, constituidos por tres ejes con rueda doble en los extremos.

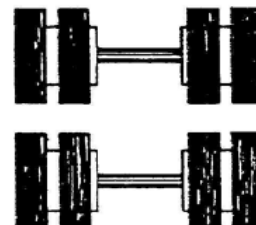
En Guatemala el Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda, conjuntamente con la Dirección General de Caminos por medio de la división de planificación y estudios del departamento de Ingeniería de tránsito, elaboró el “Reglamento Para El Control De Pesos Y Dimensiones de Vehículos Automotores Y Sus Combinaciones”, plasmado en el Acuerdo Gubernativo 1084 92, en el mismo se detallan las nomenclaturas, peso, separación entre ejes, pesos máximos autorizados, etc. de los vehículos que circulan por la red de carreteras del país. Dado que la estimación de daño provocado por la diversidad de cargas por eje es significativo.



Eje sencillo con rueda sencilla.



Eje sencillo con rueda doble.



Eje tándem.

3.3.3 Cargas vehiculares; cuantificación, pronóstico, efecto.

El volumen de tránsito futuro de una vía, puede ser estimado por medio de pronósticos, a partir de datos del tránsito presente y mediante un análisis estadístico. Las bases para proyecciones de tránsito en Guatemala son las siguientes:

- Historial Clasificado del Tránsito
- Indicadores Macroeconómicos y estadísticas demográficas
- Conteos: Quincenal, semanal, 2 días
- Conteos 12 o 24 Hrs
- Tránsito Generado y Desviado
- Estudios de Origen y Destino
- Tasas Crecimiento

3.3.4 Ejes Equivalentes: La diversidad de cargas por eje sobre una estructura, genera daños estimables, para afrontar este problema se derivaron una serie de factores de equivalencia, se ha considerado como una carga patrón para eje sencillo de 18,000 lbs (8.2 toneladas), utilizada debido a que esta carga fue normalizada como carga patrón por varios países y entidades. Los factores de equivalencia pueden ser determinados teóricamente o ser seleccionados de tablas ya preestablecidas en la Guía para el Diseño de estructuras de Pavimento de AASHTO Edición 1993, que nos facilitan el proceso, los mismos son aplicados a las cantidades de vehículos obtenidos para cada tipo de ellos para determinar la suma del total de ejes equivalentes aplicados al pavimento por todos los vehículos que circularán por la carretera durante el período de diseño.

3.3.5 Tasas de Crecimiento: Representan el incremento promedio anual del TPDA.

En general, las tasas de crecimiento son distintas para cada tipo de vehículo, dependiendo de la región y características específicas, se consideran las siguientes condiciones:

Vehículos livianos: Tasa de motorización y urbanización.

Autobuses: Tasa crecimiento de la Población.

Vehículos de carga: Tasa crecimiento de la economía, local y nacional.

Las tasa de crecimiento puede ser determinado por métodos analíticos, teniendo un TPD inicial y el TPD del año proyectado.

3.3.6 Período de Diseño: Es el lapso de tiempo durante el cual se espera que un proyecto vial no requiera rehabilitación. En nuestro país el periodo de diseño esta entre 10-15 años.

3.3.7 Factor de Pista o de distribución por dirección: El factor de pista toma el valor de 0.5, debido a que del total de los vehículos la mitad va en una dirección y la otra mitad en la otra. Aun cuando el % de vehículos por circunstancias especiales puede variar en los carriles de diferente 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 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, ¹etc. Ver tabla.

¹ Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos, páginas 29 y 30

Factor de distribución por dirección

Numero de carriles en ambas dirección	LD ¹⁰
2	50
4	45
6 o más	40

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimento, AASHTO, 1,993

3.3.8 Número Carriles: El número de carriles que se ha determinado para el diseño de una carretera, es el parámetro que se toma en cuenta para la determinación del llamado factor de carril. Se define por el carril de diseño aquel que recibe el mayor número de ESAL's.

Para un carretera 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 carreteras de varios carriles, el de diseño será el externo, por el hecho de que los vehículos pesados van en ese carril². Según el numero de carriles en una misma dirección, AASHTO 1993 recomienda los siguientes factores:

Factor de distribución por carril

Numero de carriles en la misma dirección	Porcentaje de Tránsito en el carril
1	100
2	80 – 100
3	60 – 80
4	50 - 75

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimento, AASHTO, 1,993

² Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos, páginas 30

Donde el factor para el carril de diseño esta dado por la siguiente

fórmula: **FCd = Dd x Dp,**

Donde:

FCd = Factor de carril de diseño

Dd = Factor direccional por pista

Dp = Distribución por carril

De existir datos reales de conteos específicos al proyecto se deberán utilizar esos valores.

3.3.9 Espectro de Carga: Es una caracterización del tránsito vehicular de cada uno de los diferentes tipos de ejes y los esfuerzos y deformaciones en la estructura del pavimento.

Representación gráfica de cualquiera de estas distribuciones obtenida mediante un análisis de regresión.

En los estudios más recientes de AASHTO, la información obtenida de las mediciones de las cargas de eje, se normalizó usando una distribución sigmoideal.

Distribución Sigmoideal

$$C=100*e^{-(\rho/w)^\beta}$$

C=Distribución Acumulada

W=Carga a considerar

ρ, β =Coeficientes Regresión

3.3.10 Características de la subrasante y materiales: El espesor del pavimento depende en gran parte de las características que presenta la subrasante, debido a que es la cimentación de la estructura del pavimento, la determinación del valor soporte es un indicativo de la calidad de la misma, para tomar determinaciones técnicas sobre la aprobación o mejoramiento de sus propiedades. Los materiales disponibles son fundamentales técnica y económicamente para el diseño de la estructura, se debe tomar en cuenta la ubicación de los bancos a fin de predecir los costos de construcción involucrados. Algunas de las características fundamentales pueden ser determinadas por medio de la clasificación de los suelos, debido a que existe una amplia variedad de suelos, se han desarrollado varios métodos para la clasificación de los mismos, dentro de ellos los mas utilizados son:

3.3.11 Clasificación de suelos AASHTO: Este sistema clasifica los suelos en ocho grupos del A-1 al A-8. Los suelos inorgánicos van desde el A-1 al A-7, conteniendo 12 subgrupos, estos a su vez se clasifican en:

Suelos granulares del los grupos A-1 al A-3 con los subgrupos siguientes: para el grupo A-1: A-1a, A-1b, para el grupo A-2: A-2-4, A-2,5, A-2-6, A-2-7, el grupo A-3 no tiene subgrupo.

Suelos finos limo arcillosos: contienen más del 35% del material fino que pasa el tamiz No. 200. Constituyen los grupos del A-4 al A-7, con los siguientes subgrupos: solo para el grupo A-7: A7-5, A-

7-6. Los suelos con alto material orgánico se clasifican en el grupo A-8

3.3.12 Clasificación de suelos (S.U.C.S.): Son las siglas de la clasificación unificada de suelos propuesta por Arturo Casagrande, esta clasifica los suelos en función del porcentaje que pasa el tamiz No. 200 así:

Suelos de grano grueso, si mas del 50 % es retenido en el tamiz.

Suelos de grano fino, si mas del 50 % pasa en el tamiz

Suelos orgánicos.

Los suelos se designan por símbolos de grupo que contienen un prefijo que designan el nombre ingles del tipo de suelo y un sufijo que indica subdivisiones de dichos grupos.

A los suelos de grano grueso se le denomina gravas y se dividen en cuatro grupos GW, GP, GM, GC

A suelos de grano fino se les denomina arenas y se dividen en cuatro grupos SW, SP, SM, SC.

3.3.13 Módulos de Resiliencia y Coeficientes de aporte estructural:

Los módulos de Resiliencia de las capas de base y subbase, varían de acuerdo a la condición de esfuerzos a que están sometidas (axial, radial, tangencial).

El valor θ (teta), factor de condición de esfuerzos, es un indicador de la sumatoria de los esfuerzos principales. La variación de MR en función del CBR se da por la siguiente formula:

$$MR_{B \text{ y } SB} = K * CBR$$

Donde $K = f(\epsilon)$ y se puede determinar de la siguiente tabla:

ϵ	$K = f(\epsilon)$
10	250
20	340
30	440

Es posible determinar los valores de los esfuerzos de la capa de base en función del MR de la subrasante en PSI determinado de la siguiente tabla:

MR en PSI			
Esesor en plg.	3,000	7,500	15,000
< 2	20	25	30
2 – 4	10	15	20
4 – 6	5	10	15
> 6	5	5	5

Los valores de ϵ de la capa de subbase según el espesor de la capa

Esesor en plg	Valores de ϵ
< 2	10
2 – 4	7.5
> 4	5

Se debe chequear en condición seca, húmeda y saturada, el ROAD TEST, propone la siguiente fórmula para un CBR = 100

$$\text{MR BASE} = k_1 * e^{0.6}$$

- K_1 condición seca = 8,000
- K_1 condición húmeda = 4,000
- K_1 condición saturada = 3,200

3.3.14 Clima y Drenaje: la consideración de estos factores es fundamental en los proyectos de pavimentos, debido a que es el efecto de humedad el que pone en riesgo la integridad de la estructura, en nuestro país son 6 meses que la precipitación pluvial esta presente, por lo que tomar las consideraciones sobre la evacuación del agua es fundamental.

3.3.15 Nivel de Servicio: Las ecuaciones de diseño de la AASHTO, se desarrollan en torno al concepto de comodidad, que sirve como parámetro del desempeño del pavimento por el que se valora la condición de un pavimento. La capacidad de servicio actual (PSI), se define como la capacidad momentánea de un pavimento para el trafico. La calificación de servicio actual, fue desarrollado para medir la capacidad en servicio.

3.3.16 Niveles de Servicio inicial y final: PSI, es llamado nivel de servicio presente, y es la condición de un pavimento para proveer un manejo seguro y comfortable a los usuarios en un determinado momento. Inicialmente se cuantificó la serviciabilidad de una carretera pidiendo la opinión de los conductores, estableciendo el PSI. Posteriormente se estableció una combinación matemática

de mediciones físicas en los pavimentos, siendo una forma más objetiva de evaluar este índice.

El nivel de servicio presente se puede catalogar de la siguiente forma:

Valor PSI	Condición
5	Perfecto
4 - 5	Muy bueno
3 - 4	Bueno
2 - 3	Aceptable
1 - 2	Malo
0 - 1	Muy malo
0	Intransitable

Para proyectos nuevos de pavimentos asfálticos, se toma el valor de nivel de servicio inicial $P_o = 4.2$.

El nivel de servicio final se designa con la nomenclatura P_t y es la condición que presenta un pavimento al final de su periodo de diseño, según estudios, se concluyen los siguientes valores de nivel de servicio final para un determinado porcentaje de usuarios:

Valor aceptable de P_t	% de usuarios
3	Inaceptable para 12% usuarios
2.5	Inaceptable para 55% usuarios
2	Inaceptable para 85% usuarios

Consideraciones para el valor Pt de diseño:

- El Pt se debe elegir de 2.5 o mayor para carreteras principales
- Designar 2.0 para carreteras con bajo volumen de tránsito.
- No usar valores de $Pt < 2.0$ para carreteras con bajo volumen de tránsito, preferible reducir período de diseño.

3.3.17 Confiabilidad: Se le denomina con la nomenclatura (R), es la probabilidad de que un pavimento se comportara satisfactoriamente bajo las condiciones de tránsito y ambientales durante su periodo de diseño.

3.3.18 Desviación Estándar: Se representa como S_o y corresponde a la desviación del modelo en el que se desarrollaron las fórmulas de diseño deberá seleccionarse un valor S_o , correspondiente al tipo de pavimento y representativo de las condiciones locales particulares, que considera posibles variaciones en el comportamiento del pavimento y en la predicción del tránsito.

3.4 Identificación y características de las capas componentes del pavimento flexible

3.4.1 Identificación: Los pavimentos están constituidos por un conjunto de capas superpuestas relativamente horizontales de diferentes materiales debidamente compactados, su función es soportar las cargas de tránsito durante un periodo de varios años sin deterioros que afecten la seguridad y comodidad de los usuarios o la propia integridad del pavimento y proteger a la superficie superior del pavimento, de la intemperie y en particular de la acción del agua.

3.4.2 Capas componentes del pavimento flexible.

3.4.2.1 Capa de rodadura: Es la parte superior de la estructura del pavimento y recibe directamente las solicitaciones del tránsito, absorbiendo los esfuerzos horizontales y parte de los verticales, generalmente construidas de mezclas bituminosas para tráfico de intensidad media y alta.

3.4.2.2 Capa de base: Es la capa situada debajo de la carpeta de rodadura, tiene como función absorber la mayor parte de los esfuerzos verticales y su rigidez o resistencia a la deformación está en consonancia con la intensidad de tráfico pesado, se utiliza además como capa de drenaje y contralor de ascensión capilar de agua.

TIPOS:

1. Bases granulares
2. Bases de mezcla bituminosa
3. Bases estabilizadas con cemento

3.4.2.3 Capa de subbase: Es la capa de la estructura del pavimento, destinada a soportar, transmitir y distribuir con uniformidad el efecto de las cargas del tránsito proveniente de las capas superiores del pavimento, de tal manera que el suelo de subrasante las pueda soportar.³

³ Especificaciones generales para construcciones de carreteras y puentes, 2001, Dirección General de Caminos, pagina 303-1

La capa de súbbase se usa en general para aumentar económicamente la resistencia del pavimento arriba de la provista por los suelos de la subrasante.

Provee una capa uniforme de soporte a la base, además funciona como capa de drenaje y contralor de ascensión capilar de agua.

3.4.2.4 Subrasante: Es la capa de terreno de una carretera, que soporta la estructura del pavimento y que se extiende hasta una profundidad tal que no le afecte la carga de diseño que corresponde al tránsito previsto. ⁴

En proyectos de construcción nueva, se dificulta el muestreo a los niveles correspondientes a la rasante de tercercería.

Las características de la subrasante en algunos casos, se deben determinar en los bancos de préstamo

3.5 Limitación de tramos homogéneos.

Son secciones del pavimento de características y comportamiento tan similares que se les puede llamar **Secciones Homogéneas**, generalmente se utiliza el método de diferencias acumuladas para su determinación, para dividir una longitud del proyecto en secciones, se deben tener criterios profesionales, la finalidad de realizar esta división del tramo puede ser variada, lo mismo que los parámetros que la justifiquen. Ejemplo: División del tramo en función de su grado de deterioro, en función de su CBR, en función del requerimiento de su capa de rodadura, etc.

⁴ Especificaciones generales para construcciones de carreteras y puentes, 2001, Dirección General de Caminos, pagina 301-1

Aun cuando se pueden utilizar diversos métodos para la determinación de los tramos homogéneos, generalmente es utilizado el método sugerido por el apéndice J de la Guía AASHTO 1993.

Cada parámetro que se desea analizar debe considerar la longitud del proyecto como parámetro de su eje independiente y el área bajo la curva puede ser calculado, se calcula la diferencia acumulada para cada punto.

3.6 Evolución de Métodos de diseño:

A finales del siglo XX aparecieron tres herramientas para la evaluación y el diseño de los cimientos de las carreteras:

Los programas de elementos finitos tridimensionales con modelos de materiales no lineales.

Los ensayos triaxiales cíclicos de materiales granulares compactados.

Los deflectómetros de impacto: A partir de los resultados del AASHTO ROAD TEST, el comité de diseño de la AASHTO produjo en 1972 la guía provisional para el diseño de pavimentos rígidos y flexibles, la cual se baso en diseños existentes y los resultados del ROAD TEST.

Después de haber utilizado la guía por varios años, esta fue ajustada dando origen a la versión 1986 a la cual se incorporo nuevas consideraciones, entre ellas la confiabilidad, el modulo de resiliencia de la subrasante y capas del pavimento, factores ambientales, drenaje,

aspectos económicos procedimientos de diseño para construcción por etapa, y el conocimiento de métodos tipo empírico.

Desde la década de 1980 se extendió la idea de desarrollar un método de ensayo no destructivo para evaluar la capacidad estructural de un firme, el FWD (Falling Weight Deflectometer) o Deflectómetro de impacto, fue introducido por primera vez en 1938 y su primera fase de desarrollo estuvo terminada en 1950.

El objetivo del ensayo es simular la carga de un eje de camión cargado midiendo la respuesta del apoyo conociendo:

- La carga impuesta
- La respuesta del firme
- Y la estructura y naturaleza de este.

Pueden deducirse las tensiones y deformaciones en cada punto.

Con el objetivo de estimar la vida útil del remanente

El deflectómetro es un instrumento que transmite un impulso transitorio (un impacto en realidad) a la superficie del firme. El impacto es producido por un peso que golpea un placa circular de 300 mm de diámetro, que a su vez golpea el firme, entre la placa y la masa existe una junta de goma que protege los elementos que se golpean.

La respuesta del firme se evalúa mediante sensores que miden las deflexiones causadas por el impacto y definen la forma de la elástica de deformación.

3.7 Métodos Empíricos.

Los métodos empíricos proporcionan para distintas combinaciones de los factores básicos de dimensionamiento, soluciones que se han obtenido por

acumulación de experiencias sobre el comportamiento de los pavimentos en los tramos de las carreteras con tráfico real.

Los métodos empíricos tienen en común la sistemática siguiente:

- a. Adopción de un periodo de proyecto
- b. Determinación de los factores básicos
- c. Presentación de la solución

Métodos Instituto de Asfalto, simplificación variable

Códigos de AASHTO: 1972, 1986, 1993.

2002: Materiales, análisis mecánico, Modelos deterioro, IRI

3.8 Métodos Empíricos-Experimentales:

Los métodos empíricos proporcionan, para distintas combinaciones de los factores básicos de dimensionamiento, soluciones que se han obtenido por acumulación de experiencias sobre el comportamiento de los pavimentos con tráfico real en tramos experimentales.

Todos los métodos empíricos, aun pudiendo ser diferentes entre si , tienen en común lo siguiente.⁵

1. Adopción de un período de diseño, o tiempo que teóricamente ha de transcurrir antes de que el firme llegue al grado de deterioro.
2. Determinación de los factores básicos de dimensionamiento.
3. Presentación de la solución.

Uno de los primeros métodos de diseños de pavimentos y el que ha aportado sus datos experimentales para la evolución de los métodos,

⁵ Ingeniería de Carreteras, volumen II, página 378

debido a la integración de conceptos empíricos y analíticos es el métodos de diseño, WASHO y AASHO ROAD TEST, quienes efectuaron en 1950, estudios durante 2 años en tramos experimentales en el Estado de Illinois, con un solo tipo de clima y subrasante.

3.9 Métodos Mecanísticos-Empíricos.

Actualmente el diseño y análisis de los pavimentos flexibles se basan en métodos básicamente empíricos, en los cuales las propiedades físicas de los materiales y el valor soporte del suelo de fundación respaldan al diseño.

Los Métodos Mecanísticos-Empíricos, consideran leyes de fatiga de los materiales, durante la vida útil del proyectos, entre ellos se pueden citar los siguientes:

- 3.9.1** Método Shell.
- 3.9.2** Método del Instituto Norteamericano del Asfalto
- 3.9.3** Proyecto NCHRP 37 A, AASHTO 2002.
- 3.9.4** MEPDG (Mechanistic Empirical Pavement Design Guide), referido como ME.

3.10 Modelos de Deterioro

AASHTO, inicio la aplicación de métodos mecanicistas, a partir de la versión del año 2002, con la finalidad de aplicar conceptos adecuados del lugar de diseño del pavimento y abandonar los datos que dieron origen a los estudios de los métodos experimentales, la aplicación de modelos de deterioro tiene como punto de partida el estudio de la

perdida de la serviceabilidad durante el periodo de diseño del pavimento, debido a que éste es un parámetro que indica el estado de la superficie de rodadura y la calidad que se ofrece a los usuarios.

Dentro de las causas se pueden citar:

- a. Elevado incremento de las cargas que circulan por el pavimento.
- b. Deficiencias durante el proceso constructivo.
- c. Diseños deficientes.
- d. Factores climáticas desfavorables
- e. Deficiente mantenimiento.

Para la clasificación y cuantificación del deterioro de los pavimentos, se debe realizar una investigación al inicio cuando los mismos presentan daños visibles, los deterioros se deben identificar considerando los siguientes factores:

- a. Tipo
- b. Gravedad
- c. Extensión

Algunas entidades han desarrollado diversos métodos para la determinación de los deterioros que sufren los pavimentos, entre ellos se citan: El Método VIZAR, desarrollado por el Laboratorio Central de Puentes y Calzadas de Francia (Laboratoire Central des Ponts et Chaussées) (LCPC), de Francia en 1972 y usado desde 1995 por el departamento de Planificación Sectorial de Costa Rica en la evaluación de pavimentos, es un sistema de simple comprensión y aplicación, que establece una distinción clara entre fallas estructurales y funcionales el cual ha sido probado con éxito en países en vías de desarrollo. El método

clasifica los deterioros en dos categorías A y B, la tipo A caracteriza una falla estructural, mientras la tipo B caracteriza una falla funcional.

3.11 Métodos de diseño de pavimentos flexibles AASHTO:

El método toma los siguientes parámetros principales en el diseño de pavimentos:

3.11.1 Tráfico (citado en el numeral 3.3.1)

3.11.2 Suelos

3.11.3 Materiales

3.11.2 Suelos: Los estudios se dividen en:

A. Exploración: Tiene por finalidad definir el tipo y capacidad soporte de los suelos de fundación. Se deben efectuar Calicatas según se especifique para el proyecto, tanto en longitud, como en volumen de la excavación, cuidando de contaminar lo menos posible la muestra, se debe reseñar cada calicata detalladamente. Estas muestras son alteradas en cuanto a resistencia y humedad.

B. Caracterización: Tienen por objeto indicar las propiedades que el suelo puede alcanzar tras su tratamiento. En carreteras uno de los requerimientos fundamentales es la compactación.

Otros son la estabilización, que es la mejora y modificación de sus propiedades mediante la adición de productos, reemplazo de material inapropiado, uso de subrasantes selectas o mejoradas.

Ensayos de caracterización de la Subrasante:

➤ Módulo de Resiliencia: AASHTO T 274 o Módulo de Resiliencia FWD

- El módulo de Resiliencia (MR) de los suelos es la relación entre el esfuerzo desviador (s_d), aplicado repetidamente en una muestra de suelo y la correspondiente deformación específica vertical recuperable o deformación resiliente (e_R).
- Clasificación de los suelos SUCS y AASHTO (enunciado en el inciso C)
- Capacidad de Soporte (CBR), (enunciado en el inciso C)

C. Propiedades físico- mecánicas:

- Análisis granulométrico ASTM D-422
- Constantes Físicas ASTM D-4318
- Clasificación de los suelos SUCS y AASHTO
- Relaciones densidad - humedad
- Capacidad de Soporte (CBR)

Ensayos directos: Visualmente se clasifica a los suelos en grupos básicos tales como: grava, arena, limos y arcillas.

Observación directa de las propiedades en campo:

- Textura
- Forma de los granos
- Granulometría
- Plasticidad

Granulometría: El análisis granulométrico nos sirve para la identificación de los suelos, con base en su tamaño.

Los tamices van desde un tamaño grueso de partícula (50.8 mm o 2") hasta los muy finos (0.02mm o No.325).

Además de la propia curva granulométrica existen dos indicadores interesantes derivados de ella:

➤ El coeficiente de uniformidad $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$

➤ El coeficiente de curvatura $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{60} \cdot D_{10}}$

Para el cálculo de ambos se utiliza la variable D_x , definida como la luz del tamiz por el que pasa el x % de muestra.

- El coeficiente de uniformidad C_u , esta relacionado con el origen del suelo, los suelos con granulometría muy uniforme presentan menores valores de C_u . Ejemplo: Arena de playa $C_u = 2$.
- El rango de C_u puede ser desde (2 – 200)
- El coeficiente de curvatura C_c , refleja la curvatura de la curva granulométrica, en suelos bien graduados este coeficiente tiene valores entre (1 – 3)

D. Capacidad Soporte de la Sub Rasante: El método de diseño de pavimentos flexibles propuesto por AASHTO contempla al M_r para determinar el valor soporte de los materiales de fundación del pavimento.

El termino modulo resiliente, corresponde a un modulo supuesto el cual relaciona los esfuerzos debidos a la carga aplicada con las deformaciones recuperables.

La guía AASHTO reconoce que muchas agencias no poseen los equipos para determinar el Mr y propone el uso de la conocida correlación con el CBR

- Heukelom y Klomp: $MR=1,500*CBR$ (Var 350-3000)
- Reino Unido: $MR=1500*CBR^{0.73}$
- Dinamarca: $MR=2550*CBR^{0.64}$
- AASHTO 2002: $MR=2555*CBR^{0.64}$

El ensayo mas utilizado para determinar el Valor soporte del suelo de fundación es el CBR (Ensayo de California Bearing Ratio), Norma ASTM D-1883. Actualmente en Estados Unidos se viene remplazando al CBR por el Módulo Resilente (MR) especificado en la Norma AASHTO T- 274, mientras en Guatemala aun se utiliza el CBR.

El ensayo de California Bearing Ratio (CBR): Es una medida de la resistencia al esfuerzo cortante del suelo, bajo condiciones de densidad y humedad controladas.

Se expresa en porcentaje, como la razón de la carga unitaria que se requiere para introducir un pistón dentro del suelo a la carga unitaria requerida para introducir el mismo pistón a la misma profundidad en una muestra patrón.

Selección del CBR de un suelo típico de sub-rasante

El número de pruebas oscila entre 6 a 10 para procesar los resultados por medio estadístico, que permitirán la selección adecuada del CBR de diseño.

El Instituto de asfaltos recomienda tomar un valor de acuerdo con el tránsito que se espera circule sobre el pavimento durante el periodo de diseño de acuerdo con la siguiente tabla.

Numero de ejes de 8.2 Toneladas en el carril de diseño	Percentil a seleccionar para hallar la resistencia
$< 10^4$	60
$10_4 - 10^6$	75
$> 10^6$	87.5

3.11.3 Materiales: Los estudios de suelos para los materiales que serán utilizados para la conformación de las diferentes capas del pavimento o como bancos de préstamo, siguen el mismo procedimiento que los citados como suelos en el numeral 3.13.2, ellos son:

- A. Exploración
- B. Caracterización
- C. Propiedades
- D. Capacidad de Soporte

3.12 Aplicación Método AASHTO en pavimentos flexibles, construcción nueva.

- a. **Ecuaciones originales de la AASHTO:** Los procedimientos involucrados en el método de diseño, versión 1993, están basados en

las ecuaciones originales de la AASHO para este método la fórmula de diseño es:

$$\text{Log}_{10} W_{18} = Z_r S_o + 9.36 \text{Log}_{10} (\text{SN} + 1) - 0.20 + \frac{\text{Log}_{10} (\Delta \text{PSI} / 4.2 \cdot 1.5)}{(0.40 + 1094) / (\text{SN} + 1)^{5.19}} + 2.32 \text{Log}_{10} M_r - 8.07$$

En donde:

W_{18} = Número de cargas de ejes simples equivalentes de 18 kips (80 kN) calculadas conforme el tránsito vehicular.

Z_r = Es el valor de Z (área bajo la curva de distribución) corresponden a la curva estandarizada para una confiabilidad R.

S_o = Desviación estándar de todas las variables.

ΔPSI = Pérdida de serviciabilidad.

M_r = Módulo de resiliencia de la subrasante.

SN = Número Estructural

Variables a considerar en este método:

- Variables en función del tiempo, (Periodo de diseño)
- Variables en función del tránsito.
- Confiabilidad (R).
- Propiedades de los materiales.
- Drenajes.

Cada una de estas variables han sido citados en el numeral 3.3

- b. Determinación de espesores:** En el inciso a) 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.

El diseño de pavimentos, utilizado por el método AASHTO, versión 1993 (GUIDE FOR DESIGN OF PAVEMENT STRUCTURE 1993), está basado primordialmente en identificar o encontrar un “número estructural SN” para el pavimento flexible que pueda soportar el nivel de carga solicitado.

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 esta basado en la identificación del número estructural del pavimento flexible y la cantidad de ejes de carga transitando

Número Estructural: Es un número abstracto que refleja la contribución relativa de toda las capas que forman la estructura del pavimento flexible. Actualmente se determina a través de monogramas que designan números estructurales para cada una de las capas constituyentes. Se designa por la expresión SN (Structural Number) o NS por sus iniciales en español, por medio de la siguiente ecuación:

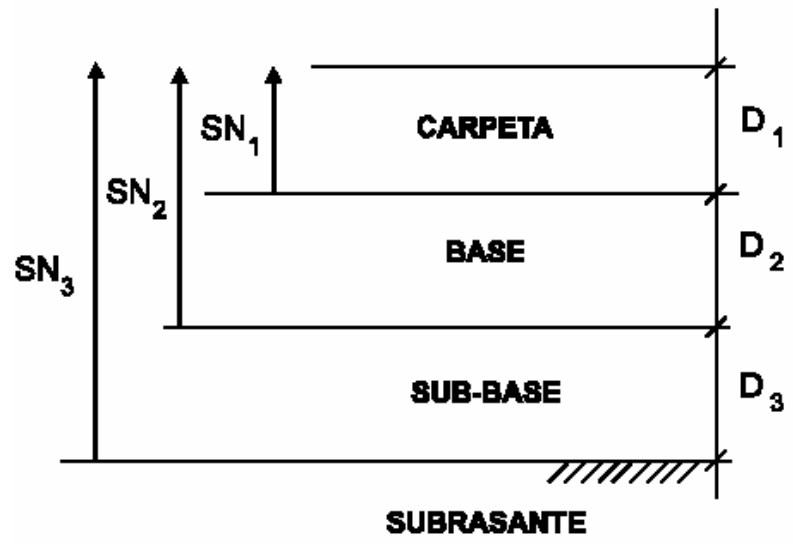
$$SN = a_1D_1 + a_2D_2m_2 + A_3D_3m_3$$

Donde:

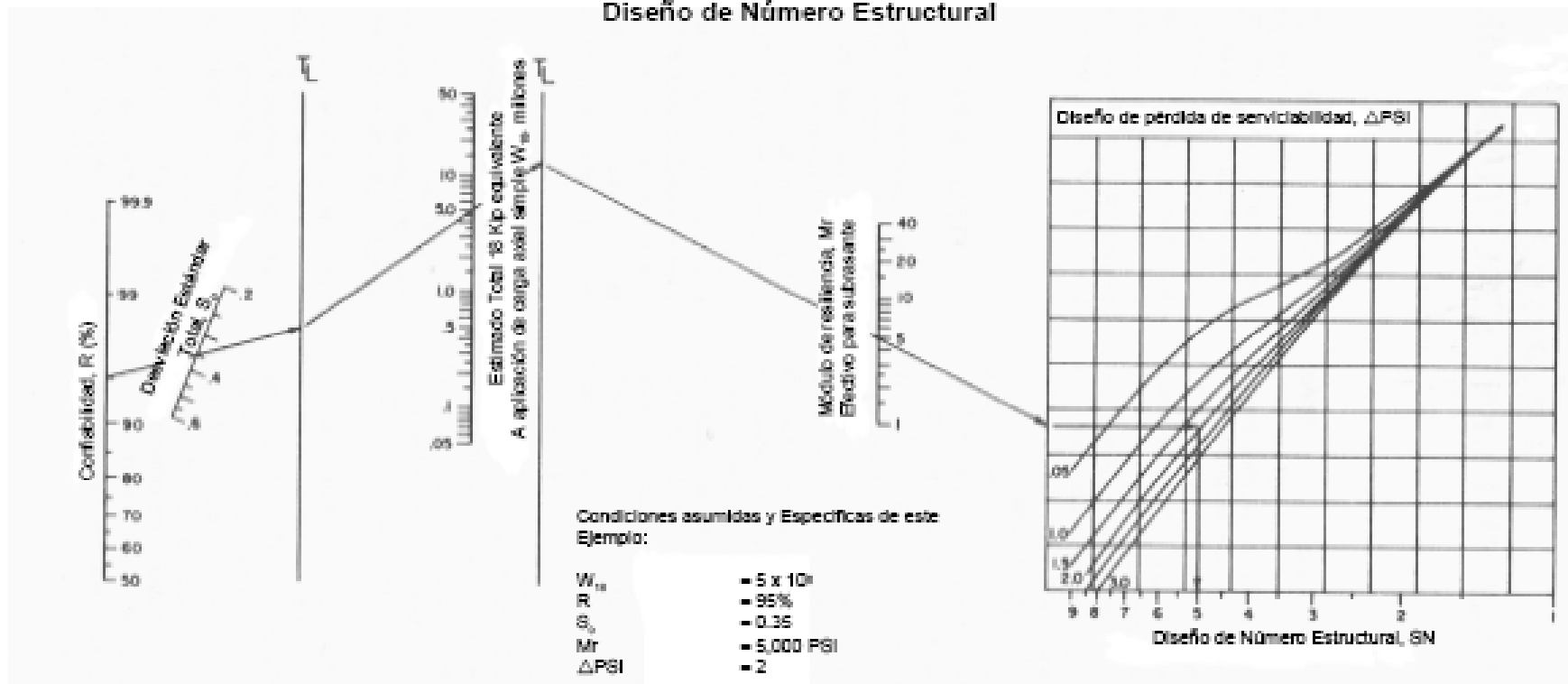
a_1, a_2, a_3 = coeficiente estructural de la capa de superficie, base y subbase, respectivamente.

D_1, D_2, D_3 = espesores de capa de superficie, base y subbase, respectivamente.

m_1, m_2 = coeficiente de drenaje capa de base y subbase, respectivamente.



Diseño de Número Estructural



Solución:

SN = 5.0

Fuente: Guía para diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO, 1993

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

$$SN = a_1 \times D_1 + a_2 \times m_2 \times D_2 + a_3 \times m_3 \times D_3 \quad (7-1)$$

3.13 Modelos de distribución de esfuerzos y deflexiones para pavimentos flexibles:

Son la base para los distintos tipos de diseño de pavimentos, algunos de los modelos que los generaron son los siguientes:

3.13.1 Modelo de Boussinesq (Modelo Monocapa): Los esfuerzos generados bajo el centro de una carga circular uniforme, en un elemento infinitesimal, tomado dentro de una masa elástica, homogénea, isotrópica, con espesor finito pero de dimensiones horizontalmente infinitas, determinadas según la ecuación de Boussinesq.

3.13.2 Modelo bicapa: Es el modelo multicapa mas simple en el cual se fijan las siguientes restricciones:

- El material de las capas que conforman el sistema homogéneo, isotrópico y elástico y la superficie de las capas es infinita horizontalmente.
- El espesor de la capa superficial es finito, el de la inferior infinito.
- El contacto entre ambas capas es continuo y permanente.

3.13.3 Burmister (1943) desarrolló una ecuación con la cual es posible calcular el espesor necesario de la capa superficial para que el asentamiento del conjunto bicapa, bajo la acción de un esfuerzo, sea igual o menor a uno previamente seleccionado.

La aplicación de esta teoría en el diseño de pavimentos flexibles, consiste en fijar un valor del asentamiento que asegure que la deformación de los elementos de la estructura no genere la falla en la capa superior.

La principal imprecisión en la teoría de Brumister radica en la suposición de que los materiales son elásticos, lo cual no es cierto, aun así la teoría describe bastante bien lo que sucede cerca del punto de aplicación de las cargas.

1. Modelo Tricapa:
2. Sistema Multicapa:

OTROS METODOS DE ANALISIS DE ESFUZZOS Y DEFORMACIONES

1. Método de elementos finitos
2. Método de los elementos discretos
3. Modelos no lineales
4. Modelos viscosos y viscoelásticos
 - Modelo de Maxwell
 - Modelo de Kelvin
 - Modelo de Burgher

3.14 Método de Diseño del Instituto de Asfalto en pavimentos flexibles.

El método considera al pavimento como un sistema elástico de varias capas, empleando conceptos experimentales y teóricos, datos de ensayos de los materiales y un programa de computadora, actualmente en base a experimentación, se han generado varias tablas, monogramas y graficas que facilitan la aplicación del método de diseño.

Se determinan los espesores y características de las capas componentes de forma que se cumpla con dos condiciones básicas:

- a. Las deformaciones por tracción no superen las admisibles.
- b. Las deformaciones verticales por compresión en la superficie, no superen las permisibles.

Este método de diseño emplea asfalto o emulsiones asfálticas en la totalidad o en gran parte de la estructura del pavimento flexible, incluye además varias combinaciones para la capa de rodadura y bases de concreto asfáltico:

- Capa de rodadura y bases, con emulsiones asfálticas.
- Capa de rodadura asfáltica con base y subbase granulares.

Las variables de diseño que utiliza el método de diseño del Instituto de Asfalto para pavimentos flexibles son:

- El Tránsito: Donde se considera el número y peso de las cargas por eje que se espera serán aplicadas durante su periodo de diseño.
- Suelos de subrasante: La resistencia de la subrasante se determina por medio del modulo de resiliencia, dato que puede ser determinado por medio de las ecuaciones de correlación cuando no se tenga el equipo para determinar el valor de modulo de resiliencia directamente. Formulas utilizadas:

$$Mr \text{ (Kg/cm}^2\text{)} = 100 \text{ CBR}$$

$$Mr \text{ (MPa)} = 10.3 \text{ CBR}$$

$$Mr \text{ (Lb/pulg}^2\text{)} = 1,500 \text{ CBR}$$

Procedimiento de diseño: Se requiere de un proceso ordenado cuyos pasos son los siguientes:

- a.** Estimación del tránsito esperado durante el periodo de diseño, expresado como número acumulado de ejes simples equivalentes de 8.2 toneladas en el carril de diseño (N).
- b.** Determinación de la resistencia de los suelos típicos de subrasante. Si se emplea el ensayo de CBR deberán aplicarse las formulas de correlación.
- c.** Elección de los tipos de base y capa de rodadura a utilizar. Para cada tipo de base elegido, el método presenta una grafica de diseño que permite determinar los espesores de las diversas capas del pavimento.

Se adjunta un grafico de muestra.

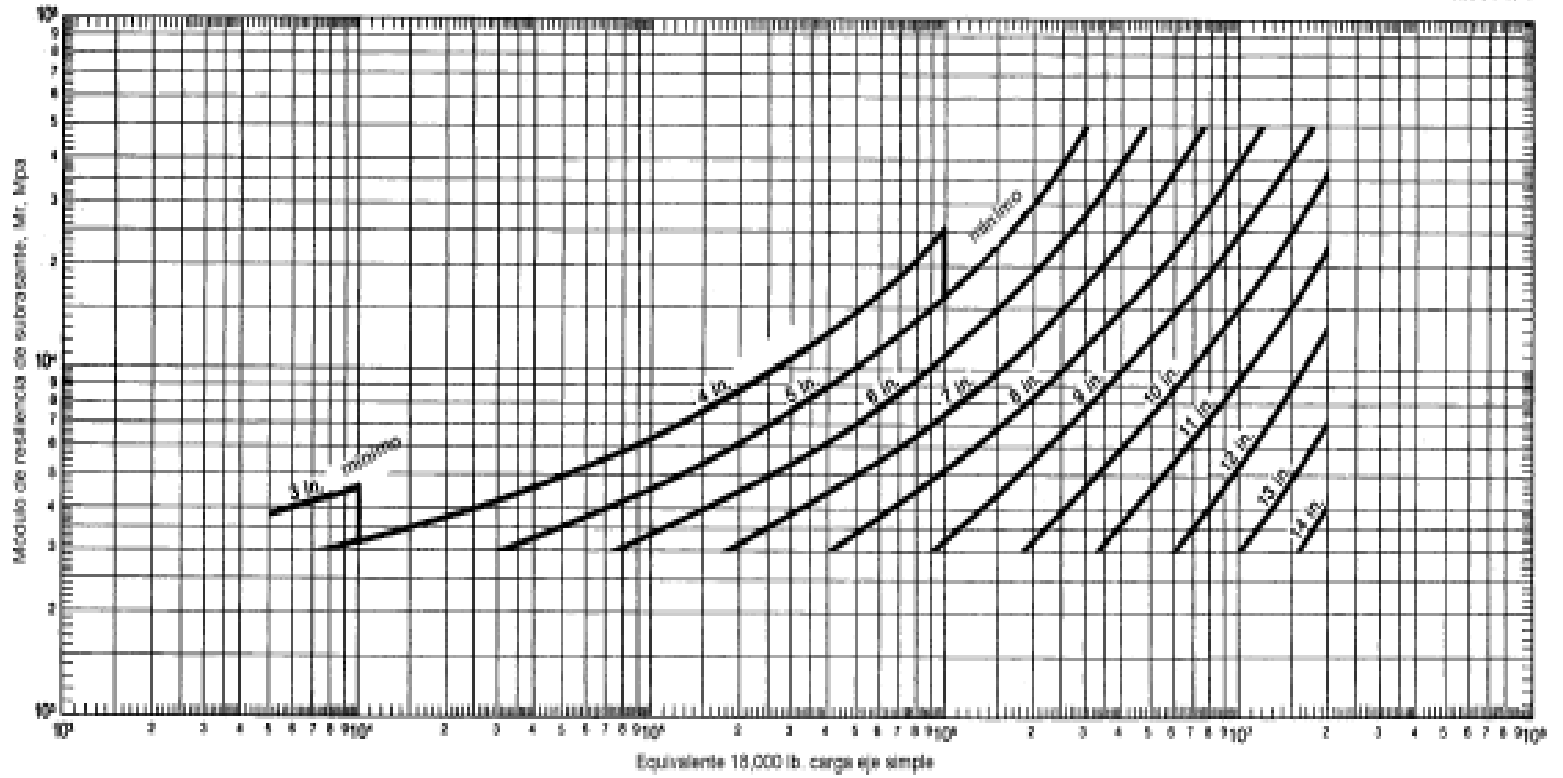


Figura 7-21
Agregado de base de 12 pulgadas de espesor

3.15 Aplicación de métodos no destructivos FWD, rugosímetros:

Los métodos no destructivos son una técnica mediante la cual se mantiene un control de calidad constante durante la construcción.

3.15.1 El Deflectómetro de Impacto (Falling Weight Deflectometer, **(FWD)**), fue introducido por primera vez en 1938 y su primera fase de desarrollo estuvo terminada en la década de 1950. Desde la década de 1980, se extendió la idea de desarrollar un método de ensayo no destructivo para evaluar la capacidad estructural del firme. De esa manera podría mejorarse el diseño de refuerzos.⁶

El objetivo es deducir las tensiones y deformaciones en cada punto, conociendo la carga impuesta, la respuesta del pavimento (por medio de sensores) y la estructura y naturaleza de este.

3.15.2 La regularidad superficial, es un parámetro que se puede medir a lo largo de la etapa de construcción de un proyecto de pavimento, para ello se utilizan equipos que van desde los mas simples como son las reglas móviles, siguiendo los perfilógrafos digitales que miden las irregularidades en el sentido del eje de la carretera, con la desventaja del poco rendimiento, los transversoperfilógrafos miden las irregularidades en el sentido transversal de la carretera.

Existen también los dispositivos de tipo dinámico, con ellos se puede medir tanto las irregularidades como la respuesta a las irregularidades.

En la década de los 80, se desarrollaron los perfilógrafos de alto rendimiento, basados en tecnología láser, obteniéndose el perfil longitudinal de la carretera en las dos roderas, con puntos de medida

⁶ Ingeniería de Carreteras, Vol. 2, página 77

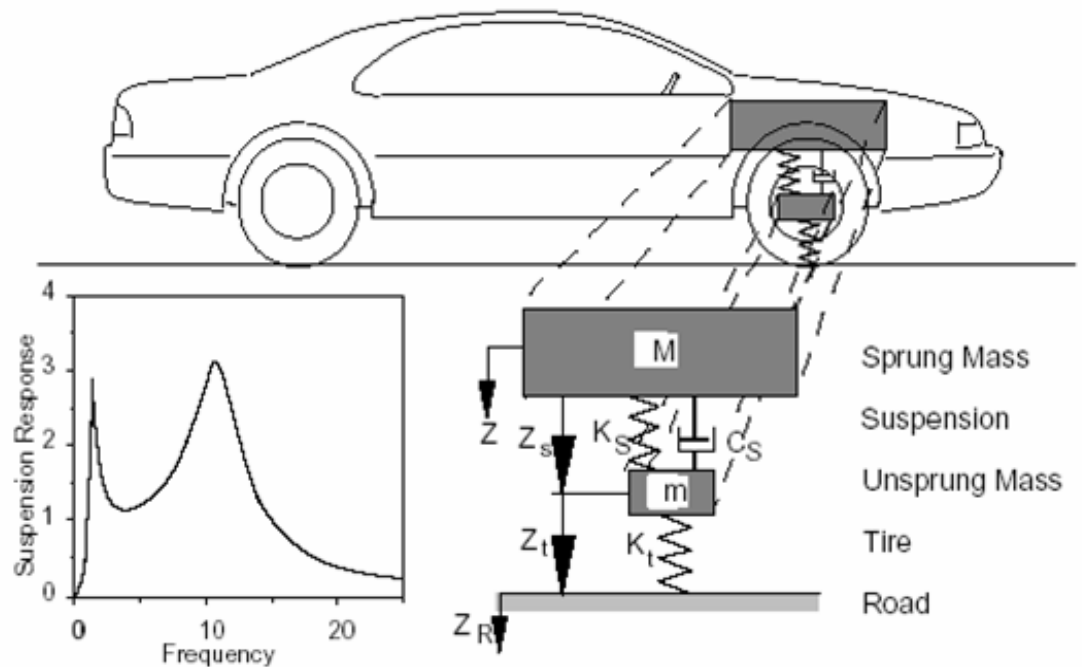
cada 2 cm y con velocidades de hasta 120 Km/h, este equipo puede medir también la irregularidad transversal.

Actualmente se ha impuesto la utilización del Indicador Internacional de Regularidad IRI, se emplea un modelo matemático que simula la suspensión y la masa de un vehículo tipo que circula a una velocidad de 80Km/h, debido a que el modelo representa la cuarta parte de un vehículo de cuatro ruedas o un remolque de una sola rueda a este modelo se le denomina QCR (Quarter Car Simulation). (ver dibujo)

El IRI se define como el cociente entre el desplazamiento relativo acumulado por la suspensión de un vehículo tipo y la distancia recorrida, su dimensional es mm/m o m/Km.

El valor aceptable de IRI para carreteras secundarias con velocidad de diseño de 60 Km/h es de 5 mm/m.

Valores inferiores de 2 mm/m representan una buena regularidad superficial.



Modelo de Cuarto de Carro.

3.16 Evaluación de resultados de operaciones, construcción, deflexión, rugosidad:

La evaluación de la capacidad estructural y funcional de las carreteras mediante uso de ensayos no destructivos, realizado en cada etapa de la construcción de una carretera, permite la evaluación de la estructura como un conjunto que refleja las propiedades de cada una de las capas y la forma como interactúan.

Una deflexión o deformación vertical elástica recuperable es producida por una carga en la superficie del pavimento, existen equipos que miden las deflexiones como parámetro evaluador de la capacidad resistente del pavimento, entre ellos citamos:

3.16.1 Viga Benkelman: Es una palanca multiplicadora que tiene en el extremo final un comparador con el que se mide la deflexión producida en el extremo inicial situado entre las dos ruedas gemelas de un eje tipo. La medición de la deflexión con este equipo es puntual y manual, debiendo cerrar al tráfico.

No es práctico realizar mediciones de deflexiones a menos de 25 metros con este equipo.

3.16.2 Deflectógrafo Lacroix: Utilizado en España, es un equipo de medida automática de deflexión, la medida se realiza según un principio análogo a la viga Benkelman. Se compone de dos vigas montadas en paralelo sobre un camión, una para cada rodada, las deflexiones se miden cada 3 a 5 metros. Una desventaja de este sistema es la velocidad del deflectómetro 4 Km/h, por lo que se interfiere el tráfico por un tiempo considerable.

3.16.3 Deflectómetros de Impacto: La determinación de las deflexiones con este equipo, se realiza por medio de una masa que cae guiada sobre unos resortes, colocados sobre una placa circular apoyada sobre el pavimento.

El equipo es móvil y permite realizar mediciones cada 25 a 50 metros, se puede modificar la carga, cambiando la masa que cae, tipo de resortes y altura de caída.

Estas mediciones pueden realizarse sobre cada una de las capas de la estructura del pavimento para tener control de su capacidad soporte.



Prueba de placa para determinar el modulo de elasticidad.

3.16.4 Curviámetro : Equipo utilizado en países europeos para medir las deflexiones a mayor velocidad y de forma continua.

Las mediciones se hacen por medio de sensores (geófonos), montados sobre una oruga. Este equipo también mide las características geométricas (amplitud y curvatura) del área de deformación que se produce bajo la carga que se aplica en la superficie del pavimento.

3.16.5 En la década de los 90 se inicio la utilización de equipos de radar denominados **Georradars o Radars de Penetración (ground penetration radar)**, que son montados sobre vehículos, y que determinan aspectos importantes del comportamiento estructural de los pavimentos como espesor de las capas, adherencia o despegue de ellas, presencia de agua o de vacíos.

La respuesta grafica de las deflexiones se plasma en un deflectograma, que es una grafica en donde estadísticamente se diferencian los tramos que requieren una consideración especial y se establece la deflexión característica en cada tramo homogéneo.

Rugosidad: Los usuarios evalúan una carretera en función de su calidad de viaje, aun cuando la velocidad, el tipo de vehículo y la carga que se transporte influyen en la comodidad, la rugosidad que presenta la vía es un índice que determina la eficacia del pavimento. Un índice de rugosidad alto, indica que la calidad de la carretera es baja, inversamente un índice de rugosidad bajo indica que la calidad de la carretera es alta.

3.17 Diseño de mezclas Asfálticas.

Una mezcla asfáltica es la combinación de un ligante, agregados incluyendo el polvo mineral y eventualmente aditivos, de manera que todas las partículas del agregado queden muy bien recubiertas por una película homogénea de ligante.

Las características principales sobre las que se fundamenta el diseño de mezclas asfálticas son:

1. Estabilidad
2. Durabilidad
3. Impermeabilidad
4. Trabajabilidad
5. Flexibilidad
6. Resistencia a la fatiga
7. Resistencia al deslizamiento

Existen varios métodos de diseño para mezclas asfálticas en caliente, los cuales han evolucionado con el tiempo, entre ellos se citan:

1. The Hubbard-Field (1920's).
2. Método Marshall (1930's).
3. Método Hveem (1930's).
4. Método de la Western Association of State Highway on Transportation Officials. WASHTO
5. Método de Asphalt Aggregate Mixture Analysis System. AAMAS (1987).Método SUPERPAVE (1993).

En este documentos trataremos de uno de los métodos más utilizados en Guatemala, el Método Marshall ASTM D-1559, el cual determina el contenido óptimo de asfalto para una combinación específica de agregados. El método también provee información sobre propiedades de la mezcla

asfáltica en caliente, y establece densidades y contenidos óptimos de vacío que deben ser cumplidos durante la construcción del pavimento.

Los dos datos más importantes del diseño de mezclas del Método Marshall son: Un análisis de la relación de vacíos-densidad y una prueba de estabilidad-flujo de las muestras compactadas.

Procedimiento:

- * El asfalto y los agregados se calientan y mezclan completamente hasta que todas las partículas de agregados estén revestidos.
- * Las mezclas se colocan en moldes precalentados.
- * Las briquetas son compactadas mediante golpes del martillo Marshall (75 golpes) en ambas caras.
- * Después de compactadas se dejan enfriar y son extraídas del Marshall.
- * Determinación del peso específico total.
- * Determinación de la estabilidad y fluencia Marshall
- * Análisis de densidad y vacíos
- * Análisis de peso unitario.
- * Análisis de V.M.A:
- * Análisis V.F.A.
- * Gráfico de resultados.

3.18 Procedimientos de Construcción y control de calidad:

Los Procedimientos de Construcción, Producción y Control de Calidad, deben de presentar secuencias lógicas, soluciones congruentes con procedimientos de construcción comprobados y hacer uso de la multiplicidad de opciones de equipo, materiales, métodos de trabajo, destreza del personal, para que la puesta en operación del proyecto sea óptimo.

Existe multiplicidad de factores que orientan a definir la Ingeniería de pavimentos como ciencia y la construcción como un arte. Poniendo la debida atención a los siguientes factores, los resultados esperados en el diseño se cumplirán.

3.18.1 Procedimientos de evaluación de pavimentos en servicio:

- a. Evaluación de las opciones de diseño
- b. Factibilidad Técnica
- c. Cálculo cantidades
- d. Costos de Construcción
- e. Políticas de Mantenimiento
- f. Costo de los Usuarios
- g. Evaluación Económica (Ciclo de Vida, VPN, TIR)

3.18.2 Procedimientos Mantenimiento y Rehabilitación

- a. Administración del Mantenimiento
- b. Administración de Pavimentos

3.18.3 Procedimientos de control de calidad:

- a. Especificaciones de Construcción
- b. Especificaciones Materiales
- c. Procedimientos de muestreo y ensayos de laboratorio

CONCLUSIONES

1. En Guatemala, no existe una bibliografía que compile toda la información de los temas tratados en el curso Tipología de Pavimentos, la elaboración de un documento de apoyo al curso permitirá abordar cada contenido de manera sencilla proporcionando los fundamentos teóricos para la correcta utilización de los mismos.
2. El país requiere de profesionales que tengan los conocimientos necesarios para desempeñarse en cualquier fase de los proyectos viales de manera precisa, aplicando juicios que se manejan a nivel del Continente Americano basados en especificaciones y manuales reconocidos internacionalmente.

RECOMENDACIONES

1. Debido a la diversidad de generaciones de la población estudiantil interesados en el área de la Ingeniería Vial, se recomienda la lectura del documento de apoyo del curso Tipología de Pavimentos, en su forma escrita o digitalizada, para que los alumnos conozcan o recuerden conceptos utilizados en esta área de la carrera de Postgrado.
2. Para los proyectos viales que se conciben o ejecutan en todas las regiones del país, la intervención de Ingenieros Viales es fundamental dado que ellos tienen la capacidad de proporcionar criterios, definir la aplicabilidad de los fundamentos teóricos de los diferentes métodos de diseño y comprender el efecto de practicas constructivas y de control de calidad en el cumplimiento de los resultados previstos en el diseño.

BIBLIOGRAFÍA

1. Apuntes y Presentaciones del curso Tipología de Pavimentos 2008. **Ing. Leonel Aguilar.**
2. Yoder, Eldon J., Witczak Matthew W. **Principles of Pavement Design.**
<http://www.trb.org/mepdg/>
3. Dirección General de Caminos. **Especificaciones Generales Para Construcción de Carreteras y Puentes.** 2001.
4. AASHTO. **Guide for Design of Pavement Structures**, Vol I 1993, Vol II 1986.
5. AASHTO. **Standard Specifications for Transportation Materials and Methods of Sampling and Testing.**
6. Asphalt Institute. **Thickness Design Asphalt Pavement for Highway & Streets.** Manual MS-1.
7. Asphalt Institute. **Mix Design Methods for Asphalt Concrete and Other Hot Mix Types.** Manual MS-2
8. Asphalt Institute **The Asphalt Handbook**, Manual MS-4
9. Asphalt Institute. **Construction of Hot Mix Asphalt Pavements.** Manual MS-22.