



## DEDICATORIA

---

Quisiera dedicar mi Trabajo Especial de Grado a las personas han estado a mi lado durante todo este tiempo, no sólo mientras he estado realizándolo sino en los momentos más felices y más difíciles de mi vida.

Primero que nada a mi madre y padre, Sonia y John, quienes han visto conmigo momentos fantásticos y momentos muy rocosos. Por darme ánimo cuando lo he necesitado, por el apoyo incondicional y por el empujón que necesitaba para culminar mi carrera.

A mi hermana, Carolina, por las correcciones, ayuda y sobre todo por la paciencia. Sin ella no estaría escribiendo esto en febrero sino en julio.

A mis abuelos, John y Zelia por siempre interesarse en mi carrera, por el apoyo y por ayudarme a ampliar mi vida.

Finalmente, a mis amigos a quienes no me atrevo a nombrar para no obviar a ninguno y a uno en especial que se ha llevado lo mejor y lo peor de todo estos tiempos.

Alexandra.



## AGRADECIMIENTOS

---

Primero que nada, quiero agradecer a mi tutor, Ing. Gustavo Corredor M. por su orientación, ayuda y paciencia a lo largo de estos últimos meses.

A la Ing. María Eugenia Brito, también por su orientación y por su espíritu siempre colaborador y bien intencionado.

Al profesor Ricardo Rivas por, de la nada, ayudarme a armar mi Trabajo Especial de Grado con tanta paciencia.

A todos mis profesores, que a lo largo de estos años estuvieron presentes en mi formación como próxima profesional.

A aquellas personas que han estado ahí para apoyarme de una u otra manera.

Simplemente, muchísimas gracias.

Alexandra.



## INTRODUCCIÓN

---

### INTRODUCCIÓN

Como alumnos todos hemos enfrentado retos a la hora del estudio de cualquier asignatura a lo largo de nuestras carreras, de modo que en este Trabajo Especial de Grado se busca facilitar el estudio de la Cátedra de Pavimentos. Además de pertenecer al décimo semestre cuando ya el alumno está en la recta final antes de salir al campo laboral, o probablemente ya teniendo un empleo. Igualmente se persigue complementar las clases de un profesor de la cátedra. Es importante para el profesor hacerse entender de la mejor manera posible y actualizando los apuntes ayuda a que haga sus clases más didácticas y le sea posible obtener una mejor respuesta por parte de los alumnos.

En este Trabajo Especial de Grado se hizo una actualización de los apuntes para la cátedra de Pavimentos mediante la utilización del programa Microsoft PowerPoint y se evaluará la posibilidad de realizar un programa de Educación a Distancia para la materia. La base del mismo será los apuntes previos del Profesor Gustavo Corredor, así como sus presentaciones multimedia anteriores y por supuesto su experiencia.

#### **a. Objetivo General**

Realizar una propuesta de adecuación de los Apuntes para la Cátedra de Pavimentos del Ing. Gustavo Corredor a sistemas Audiovisuales.

#### **b. Objetivos Específicos**

1. Adecuar la teoría correspondiente al diseño de pavimentos a sistemas Audiovisuales.
2. Adecuar la teoría correspondiente a las mezclas asfálticas a Sistemas Audiovisuales.
3. Adecuar la teoría correspondiente al diseño de mezclas asfálticas a Sistemas Audiovisuales.
4. Realizar una propuesta de adecuación de las láminas.



## INTRODUCCIÓN

---

### c. Alcance

La propuesta de este TEG está fundamentada en el método AASHTO-93, AASHTO-2002 y regulaciones y Normas INVEAS y COVENIN que componen los volúmenes. Se debe mencionar que se compone de los volúmenes 1 y 2 de los Apuntes del Ing. Gustavo Corredor.



La Cátedra de Pavimentos se ha venido dictando desde la fundación de la Escuela de Ingeniería Civil en la Universidad Católica Andrés Bello. A través de los años, con el cambio de los métodos de diseño de pavimentos, se ha debido modificar el contenido en el pensum de la materia de modo de actualizar constantemente al alumno en éstos.

Con la introducción de los sistemas audiovisuales, el Ing. Corredor ha incorporado esta técnica de modo de hacer las clases más dinámicas y adaptándose a las nuevas tecnologías, buscando complementar, además, sus Apuntes de Pavimentos que fueron creados hace ya más de dos décadas.

Debido a que la materia Pavimentos es sumamente densa y comprende tanto el estudio del diseño de pavimentos en sí como el de las mezclas asfálticas, su diseño y propiedades químicas y físicas se decidió adecuar las presentaciones audiovisuales del Ing. Corredor con información que nace de la experiencia del docente y no siempre puede ser registrada al momento por el estudiante, añadiendo notas a cada lámina por individual – en el caso de este Trabajo Especial de Grado comprendiendo un total de novecientas diez láminas – con estos conceptos y vivencias personales del profesor de manera de dar una visión más global de los conocimientos que debieran ser adquiridos durante el semestre.

Se recomienda continuar con la actualización y adecuación de los Apuntes de Pavimentos realizados en este TEG y realizar el mismo procedimiento para el Tercer Volumen de dichos Apuntes cuando sean debidamente corregidos y actualizados por el mismo Ing. Corredor.



<b>INTRODUCCIÓN</b>	1
a.    Objetivo General	1
b.    Objetivos Específicos	1
c.    Alcance	2
<b>CAPÍTULO I - LA CÁTEDRA DE PAVIMENTOS</b>	
1.1    LA HISTORIA DE LA CÁTEDRA DE PAVIMENTOS EN LA UCAB	3
1.2    EL DESARROLLO DE LOS APUNTES	4
<b>CAPÍTULO II - MARCO METODOLÓGICO</b>	
2.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN	6
2.2 MÉTODO	6
2.3 PROPUESTA	8
<b>CAPÍTULO III - DESARROLLO</b>	
3.1 Introducción a pavimentos	9
3.2 Obtención y Manejo de la Información de tránsito	13
3. 3 El material de sub-rasante	18
3.4 Bases y Sub-Bases Granulares	22
3.5 Estabilización de suelos y mezclas de suelo-cemento	26
3.6 Aspectos generales, especificaciones y ensayos en asfaltos	31
3.7 Propiedades químicas y físicas de los asfaltos	36
3.8 Propiedades de ingeniería en los agregados para mezclas asfálticas	39
3.9 Propiedades de ingeniería de las mezclas asfálticas	43
3.10 El Método Marshall para el diseño de las mezclas asfálticas	46
<b>CAPÍTULO IV - CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	
CONCLUSIONES	50
RECOMENDACIONES	50
<b>CAPÍTULO V - REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51



Figura III.1 Definición de Pavimentos	11
Figura III.2 Características importantes del diseño de pavimentos	12
Figura III.3 Características importantes del diseño de pavimentos	12
Figura III.4 Tipos de Vehículos Pesados	16
Figura III.5 Períodos recomendados de diseño	16
Figura III.6 Conteo por métodos mecánicos	17
Figura III.7 Estaciones de conteo en la red vial venezolana	17
Figura III.8 Explicación de la ecuación de Módulo Resiliente	20
Figura III.9 Procedimiento (parte) del ensayo de Módulo Resiliente	20
Figura III.10 Ecuaciones de correlación CBR-Módulo Resiliente	21
Figura III.11 Tabla de estimación de valores de Módulo Resiliente	21
Figura III.12 Definición y descripción de la capa de sub-base	24
Figura III.13 Vista del “camellón” en procesos constructivos de sub-bases	24
Figura III.14 Muestra de variabilidad y segregación en sub-bases	25
Figura III.15 Efecto del tamaño del grano en la resistencia.	25
Figura III.16 Dosificación del Cemento (Método PCA)	29
Figura III.17 Dosificación del Cemento (Método AASHTO)	29
Figura III.18 Tipos de dosificación del cemento sobre la vía	30
Figura III.19 Grietas de reflexión en el suelo-cemento	30
Figura III.20 Esquema de refinación de los asfaltos	34
Figura III.21 Diagrama de flujo en el CRP	34
Figura III.22 Efectos de la viscosidad o temperatura en los asfaltos	35
Figura III.23 Niveles de consumo de cemento asfáltico en Venezuela	35
Figura III.24 Composición química de los aceites aromáticos y saturados	37
Figura III.26 Recta viscosidad-temperatura para dos asfaltos distintos	38
Figura III.27 Definición de la consistencia de un cemento asfáltico	38



## ÍNDICE FIGURAS

---

Figura III.28 Agregado de mezcla asfáltica recuperada o Roca Negra	41
Figura III.29 Descripción gráfica de la fracción fina en una granulometría	41
Figura III.30 Curvas granulométricas de máxima densidad	42
Figura III.31 Reporte NCHRP sobre la zona restringida en granulometrías	42
Figura III.32 Propiedades deseadas en una mezcla asfáltica	44
Figura III.33 Efecto de la viscosidad sobre la estabilidad de un asfalto	44
Figura III.34 Relación entre Vacíos de aire y ahuellamiento en una mezcla	45
Figura III.35 Efecto del contenido de asfalto sobre la resistencia a la fatiga	45
Figura III.36 Vista de la colocación de la mezcla asfáltica	48
Figura III.37 Características del agregado (caras fracturadas)	48
Figura III.38 Vista del proceso de compactación manual de briquetas	49
Figura III.39 Explicación gráfica de la Gravedad Específica Efectiva	49





## INTRODUCCIÓN

---

### INTRODUCCIÓN

Como alumnos todos hemos enfrentado retos a la hora del estudio de cualquier asignatura a lo largo de nuestras carreras, de modo que en este Trabajo Especial de Grado se busca facilitar el estudio de la Cátedra de Pavimentos. Además de pertenecer al décimo semestre cuando ya el alumno está en la recta final antes de salir al campo laboral, o probablemente ya teniendo un empleo. Igualmente se persigue complementar las clases de un profesor de la cátedra. Es importante para el profesor hacerse entender de la mejor manera posible y actualizando los apuntes ayuda a que haga sus clases más didácticas y le sea posible obtener una mejor respuesta por parte de los alumnos.

En este Trabajo Especial de Grado se hizo una actualización de los apuntes para la cátedra de Pavimentos mediante la utilización del programa Microsoft PowerPoint y se evaluará la posibilidad de realizar un programa de Educación a Distancia para la materia. La base del mismo será los apuntes previos del Profesor Gustavo Corredor, así como sus presentaciones multimedia anteriores y por supuesto su experiencia.

#### **a. Objetivo General**

Realizar una propuesta de adecuación de los Apuntes para la Cátedra de Pavimentos del Ing. Gustavo Corredor a sistemas Audiovisuales.

#### **b. Objetivos Específicos**

1. Adecuar la teoría correspondiente al diseño de pavimentos a sistemas Audiovisuales.
2. Adecuar la teoría correspondiente a las mezclas asfálticas y su diseño a Sistemas Audiovisuales.
3. Realizar una propuesta de adecuación de las láminas en Sistemas Audiovisuales.



## INTRODUCCIÓN

---

### c. Alcance

La propuesta de este TEG está fundamentada en el método AASHTO-93, AASHTO-2002 y regulaciones y Normas INVEAS y COVENIN que componen los volúmenes. Se debe mencionar que se compone de los volúmenes 1 y 2 de los Apuntes del Ing. Gustavo Corredor.

**CAPÍTULO I – LA CÁTEDRA DE PAVIMENTOS****1.1 LA HISTORIA DE LA CÁTEDRA DE PAVIMENTOS EN LA UCAB**

La enseñanza de los pavimentos ha estado presente en el Pensum de Ingeniería Civil desde el momento mismo de la fundación de la UCAB en el año 1953.

Los Profesores de Pavimentos en la UCAB, a lo largo de los 57 años de existencia de nuestra Alma Mater, han sido:

- Ing. Jaime de Elguezábal, entre los años 1957 y 1958
- Ing. Alonso Pérez Luciani, entre los años 1958 y 1960
- Ing. Roberto Centeno W., entre los años 1973-1976
- Ing. Gustavo Corredor M., entre los años 1975 y 1981
- Ing. Andrés Pinaud R., entre los años 1981 y 2002
- Ing. Guillermo Bonilla, entre los años 2002 y 2004
- Ing. Gustavo Corredor M., desde el año 2004 hasta el presente
- Ing. María Eugenia Brito, como Profesor de Prácticas de Pavimentos desde el año 2008

La enseñanza de Pavimentos en la UCAB ha cambiado con el tiempo. La información más antigua que pudo recaudarse data del momento en el que el Ingeniero Andrés Pinaud era Profesor de la Cátedra.

El Ingeniero Pinaud, quien colaboró en el diseño de pavimentos del MTC habría realizado sus propios Apuntes con los que dictaba la materia. Para ese momento la UCAB era la única Universidad en la cual se incluía en el plan de Pavimentos el estudio de los Metodos Shell, AASHTO y MTC.

Al salir el Ing. Pinaud del grupo de Profesores de la Universidad, fue sustituido por el Ing. Guillermo Bonilla, quien estuvo presente por corto tiempo y quien, basado en los Apuntes del Ing. Pinaud desarrolló su propia recopilación de material a ser utilizado por él para sus clases y que serviría de guía a sus alumnos.



## LA CÁTEDRA DE PAVIMENTOS

---

Por último y con la reincorporación del Ing. Gustavo Corredor a la Cátedra de Pavimentos de la UCAB se implementan los apuntes cuya concepción y desarrollo se describen seguidamente. Igualmente se retoma con él la idea de ofrecer “Laboratorio de Pavimentos” como materia, única en el país.

### 1.2 EL DESARROLLO DE LOS APUNTES

Los apuntes de la cátedra de pavimentos surgen de la necesidad de un material de apoyo para el docente y el estudiante, de modo de “*ser un aporte a la enseñanza de los pavimentos y un reconocimiento a los Profesores de esta materia en otras Universidades*” (Corredor, 2004).

En 1988, el Ing. Corredor, desde ese entonces Profesor de la Universidad Santa María, decidió, en avance con la tecnología, llevar a texto todo el material que tenía disponible, de manera de organizarlo y facilitar tanto para él mismo como para el estudiantado la gran cantidad de información que se tenía disponible para ese entonces.

Es así como en ese año aparece publicado el tomo “Diseño de Pavimentos. Volumen 1”, editado por la Universidad Santa María en octubre de 1988, “Diseño de Pavimentos. Volumen 2” editado por la Universidad Santa María en agosto de 1989 y finalmente el “Diseño de Pavimentos. Volumen 3” editado igualmente por la Universidad Santa María en noviembre de 1990. Los primeros dos volúmenes fueron editados en 2004 y 2005 respectivamente, fecha que coincide con el reingreso del Ing. Gustavo Corredor como Profesor de la materia “Pavimentos”.

Cada volumen de los Apuntes consta de una serie de capítulos donde se encapsula el contenido más importante relativo a cada tópico allí tratado.

Los volúmenes adecuados en la elaboración de este TEG comprenden los siguientes temas:

#### **Volumen 1:**

Capítulo 1: Introducción y conceptos básicos



## LA CÁTEDRA DE PAVIMENTOS

---

Capítulo 2: Obtención y manejo de la información de tránsito para el diseño de pavimentos

Capítulo 3: El material de sub-rasante. Ensayo de CBR y ecuaciones de correlación para Módulo Resiliente

Capítulo 4: Sub-bases y bases de materiales granulares no tratados

Capítulo 5: Estabilización de suelos. Diseño y construcción de capas de suelo-cemento

### **Volumen 2: Mezclas asfálticas. Materiales y diseño**

Capítulo 1: Aspectos generales, especificaciones y ensayos en asfaltos

Capítulo 2: Propiedades químicas y físicas de los materiales asfálticos.

Capítulo 3: Propiedades de ingeniería en los agregados para mezclas asfálticas

Capítulo 4: Los agregados para mezclas asfálticas

Capítulo 5: El Método Marshall de diseño de mezclas en caliente

Los capítulos 6: La Metodología RAMCODES® en el diseño de las mezclas asfálticas y 7: Asfaltos modificados fueron excluidos de este TEG por no ser parte de la materia que se dicta en la UCAB.



## **CAPÍTULO II - MARCO METODOLÓGICO**

### **2.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN**

En este trabajo especial de grado se consideraron investigaciones tanto recopilatoria como proyectiva, la primera por como dice su nombre, recopilar la mayor cantidad de información necesaria, incluyendo de otros libros, bibliotecas e incluso apuntes de otros docentes de la Cátedra de Pavimentos la información a ser utilizada dentro de este trabajo, y de Proyecto Factible o proyectiva ya que se estudia la realización y el efecto de un nuevo diseño o producto dentro de una población, que equivaldría a esta nueva propuesta de enseñanza, o más bien incorporación de esta técnica a las actuales de estudio y evaluación de la materia.

### **2.2 MÉTODO**

Para la elaboración de este Trabajo Especial de Grado se tomó principalmente como base los Apuntes de Pavimentos del Ing. Gustavo Corredor M. y un conjunto de láminas (aproximadamente 1000) en versión de Microsoft office PowerPoint, a través de los cuales ha venido dictando la materia “Pavimentos” en las Universidades Católica Andrés Bello y Santa María. Estas láminas contenían textos, figuras y/o fotografías, pero, en general, no estaban acompañadas por comentarios que permitiesen entender totalmente lo que cada una de ellas contenía. Para lograr su entendimiento era necesario, en consecuencia, asistir a las clases orales de Pavimentos. De igual manera, se recopiló información de otras fuentes como sitios web y otra literatura.

También se llevaron a cabo entrevistas con los Ingenieros Guillermo Bonilla y Roberto centeno, quienes esclarecieron el panorama de lo que ha sido la Cátedra de Pavimentos en los 57 años de vida docente de la Universidad Católica Andrés Bello.

Para la modificación, o bien, complementación de los apuntes, se realizaron una serie de entrevistas y consultas a la Ingeniero María Eugenia Brito, quien con su experiencia en el tema y Profesora de Prácticas de



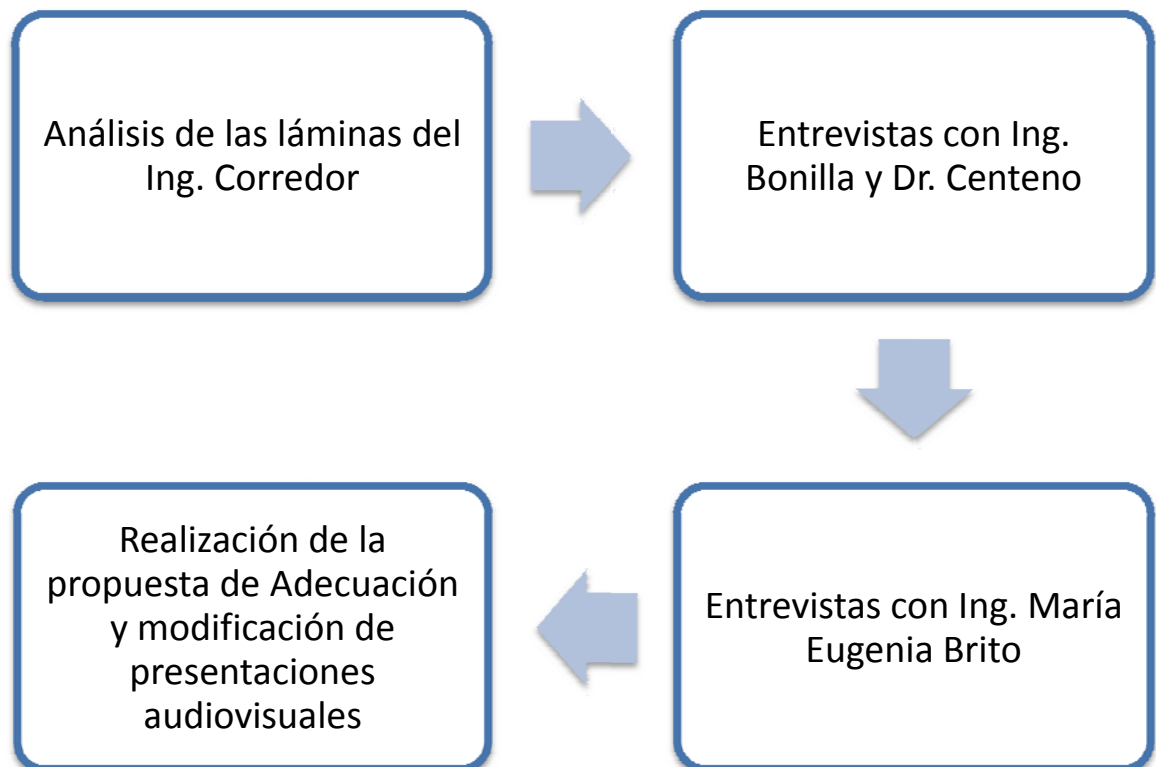
## MARCO METODOLÓGICO

---

Pavimentos, aportó conocimientos indispensables para la realización de este TEG.

A continuación se le hizo un análisis a cada una de las láminas de las presentaciones de modo de agregar, si se quiere, conceptos, reforzamiento de conceptos, experiencias personales e ideas principales que complementarían dichas láminas y pudieran profundizar los conocimientos expuestos en ellas.

A pesar de que los Apuntes de Pavimentos cuentan con tres (3) volúmenes, en este TEG sólo pudieron adecuarse y complementarse los dos primeros, ya que el último volumen en cuestión no ha sido todavía actualizado por el Ing. Corredor y éste consideró no prudente el adecuar su contenido a un formato digital.





### **2.3 PROPUESTA**

Como propuesta para este TEG se tomaron en cuenta las láminas en el programa Microsoft PowerPoint con las que el Ing. Corredor usualmente dictaba las clases, para a partir de ellas añadir información para que el estudiante tenga otras perspectivas y conocimientos profundizados sobre las presentaciones audiovisuales que se presentan en el curso, de manera de complementar, o presentar una alternativa de sustitución a la asistencia a clases en el caso de que el alumno presente algún inconveniente en este ámbito.

El trabajo final, entonces, comprendió la adecuación y complementación de novecientas diez (910) láminas que se prevé que sean utilizadas en futuros semestres para servir de material de entrega al principio del curso de manera de también alentar al estudiante a estudiar las clases de manera adelantada para que tenga una idea de los aspectos y temas que se tocarían en dichas clases.





## CAPÍTULO III - DESARROLLO

### 3.1 Introducción a pavimentos

Según la Organización de Estados Americanos, un pavimento se define como “La superestructura de una vía, construida sobre la sub-rasante y compuesta normalmente por la sub-base, la base y la capa de rodamiento cuya función principal es soportar las cargas rodantes y transmitir los esfuerzos al terreno, distribuyéndolos en tal forma que no se produzcan deformaciones perjudiciales, así como proveer una superficie lisa y resistente para los efectos del tránsito”.

De las características más importantes dentro del diseño de pavimentos se encuentra que el desarrollo viene dado relativamente recientemente, lo que resulta en que va evolucionando con el crecimiento poblacional. Es dinámico, es decir, su estudio y aplicación se encuentran en constante desarrollo y mejoramiento. Es atípico porque se diseña previendo su falla, pero con proyección a futuro. Igualmente se disponen de numerosos sistemas o métodos para el diseño, se atan a condiciones ambientales, abuso de tráfico y pobre mantenimiento. Asimismo, y en condiciones nacionales, los pavimentos son importantísimos para la vida diaria del venezolano ya que los conductores pasan buena parte del día sumidos en el tráfico.

Los pavimentos se subdividen en dos categorías:

- **Pavimentos flexibles:** son aquellos cuya *“superficie se construye en materiales bituminosos, de tal modo que permanezca con el material subyacente, aunque haya pequeñas irregularidades En general, los pavimentos flexibles consisten en una superficie bituminosa soportada por una capa de material granular, y una capa de una mezcla adecuada de materiales gruesos y finos”* (Garber y Hoel, 2005).
- **Pavimentos rígidos:** son aquellos que *“se construyen normalmente, con concreto de Cemento Portland, y pueden tener o no una capa de base entre la subrasante y la carpeta de concreto. Cuando se usa una capa de base en la construcción de un pavimento rígido, se le suele llamar capa de sub-base. Sin embargo, es común que sólo a la superficie de concreto se llame ‘pavimento rígido’, aunque haya una capa de base”* (Garber y Hoel, 2005)



## LA ACTUALIZACIÓN DE LOS APUNTES

---

La evaluación de los pavimentos se divide en dos grupos: evaluación funcional y evaluación estructural. En la evaluación funcional se estiman los distintos tipos de falla en los pavimentos (medición del PCI, IRI y deflexiones) y se clasifican según su severidad. En la estructural se estima, en cambio, la magnitud de las reparaciones que se deben realizar a una vía en estado de deterioro.

Para estas evaluaciones se utiliza una ecuación desarrollada por la AASHTO que depende de ciertas variables como el valor de las cargas, la serviceabilidad, módulo Resiliente, desviación estándar y el número estructural.

Actualmente para el diseño de pavimentos se utiliza un software desarrollado por la Asociación Americana de Pavimentos de Concreto (ACPA), que permite analizar el estado de un pavimento dado.

Una variable importantísima para el diseño de pavimentos es el tránsito, que analiza el número y cargas de los vehículos que transitarán una vía determinada. A su vez, para estudiar el tránsito se requiere de otras variables como cargas acumuladas – que depende de otras variables a su vez – y el factor de crecimiento.

Para la evaluación de las condiciones del terreno de fundación se utilizan diversos ensayos (Triaxial y CBR principalmente) para poder realizar una selección confiable del material de sub-rasante. En cuanto a las otras capas que componen un pavimento se utilizan otros ensayos para determinar el cumplimiento de las propiedades de ingeniería requeridas de los agregados como lo son la limpieza, granulometría, tamaño de grano, etc.

Finalmente, el diseño de pavimentos busca determinar los materiales y espesores óptimos tal que las cargas y deformaciones se encuentren dentro de un rango aceptable durante la vida útil del pavimento.

El trabajo realizado sobre este capítulo consistió en la modificación de setenta y seis (76) láminas.



## LA ACTUALIZACIÓN DE LOS APUNTES

---

### *¿Qué es un pavimento?*

*Según la Organización de Estados Americanos y a través de los Congresos Panamericanos de carreteras se define un pavimento como "La superestructura de una vía, construida sobre la sub-rasante, y compuesta normalmente por la sub-base, la base y la capa de rodamiento, cuya función principal es soportar las cargas rodantes y transmitir los esfuerzos al terreno, distribuyéndolos en tal forma que no se produzcan deformaciones perjudiciales, así como proveer una superficie lisa y resistente para los efectos del tránsito"*

*Ahora, su definición funcional, aplicada desde los años 60, empleando conceptos técnicos fundamentales estipula un pavimento como "La parte superior de una carretera, pista de aterrizaje, o estacionamiento y cuyo objetivo es servir al tráfico de una manera segura, cómoda, eficiente, permanente y económica".*

En esta lámina se presentan las dos definiciones principales de un pavimento, tanto desde el punto de vista de una organización internacional como la OEA como del punto de vista funcional. Cabe destacar que mientras la primera definición es más técnica, la segunda es menos complicada y más concisa

**Figura III.1 Definición de Pavimentos**



## LA ACTUALIZACIÓN DE LOS APUNTES

### **Características importantes del diseño de pavimentos:**

- **Es de desarrollo reciente:** Se inicia básicamente a partir de 1945, fecha muy cercana a la actual. Otras técnicas de la ingeniería, edificaciones, canales, etc., han ido prácticamente paralelas al desarrollo de las concentraciones humanas
- **es dinámico:** los métodos están cambiando continuamente al producirse nuevos datos, tanto de campo como de laboratorio. Como ejemplo de esta dinámica propia del diseño de pavimentos podemos citar al, quizás mejor de todos los métodos, que fue desarrollado por la AASHTO, que es introducido por primera vez en 1962 como una "Guía Provisional", se perfecciona en 1972 y en 1981, y nuevamente en el año 1986. Posteriormente, en el año 1993, se actualiza el procedimiento de diseño de rehabilitaciones, pero se mantiene igual al del año 1986 el procedimiento de diseño de nuevos pavimentos. El Método del 86(93), ha sido validado para las condiciones particulares de Venezuela por el Dr. Augusto Jugo, en el año 1997. Para el año 2002 se esperaba una nueva versión de este método, la cual sin embargo, solo ha sido hecha del conocimiento de los Ingenieros en el mes de marzo de 2004.
- **Es atípico entre todos los diseños:** es prácticamente la única estructura de uso definitivo que se diseña bajo la hipótesis de que fallará a un tiempo determinado.
- **Es un diseño a futuro:** toma en consideración la variable "tiempo", y el diseño se realiza desde el momento presente y a lo largo de un número de años determinado.

Se nota en el texto que una de las características más importantes es su dinamismo, es decir, que su método de diseño está en constante renovación

**Figura III.2 Características importantes del diseño de pavimentos**

### **Características importantes del diseño de pavimentos:**

- **No es uniforme, o único:** se dispone de numerosos métodos; existen diferencias sobre la aplicabilidad de un mismo método en diversos sitios, lo que ha generado modificaciones sobre los métodos básicos, o al desarrollo de métodos particulares a un material o región. Así se dispone de métodos para pavimentos contruidos con materiales asfálticos, con concreto, con mezclas de suelo y cemento, etc.
- **Es crítico:** los pavimentos están sujetos a las condiciones ambientales, las cuales son no controlables, al abuso del tráfico y al mal mantenimiento, y los métodos no contemplan ningún "factor de seguridad" de aplicación directa.
- **Tiene una alta incidencia en la economía:** pequeñas variaciones en valores de diseño (cms espesor) resultan en altos valores de inversión por los grandes volúmenes que significa su construcción.
- **Afecta la vida diaria del individuo:** un alto porcentaje del tiempo de un ciudadano es pasado sobre un vehículo; si es inseguro puede causar accidentes con resultados económicos adversos y de salud o muerte.
- **Requiere del uso de mucho criterio:** no existen dos pavimentos con condiciones idénticas, y en la optimización del proceso de diseño el ingeniero debe hacer participar, además de sus conocimientos técnicos en la materia, su experiencia e ingenio

Aquí se observa como las características más importantes podrían ser la alta incidencia en la economía, pues es un aspecto que el ingeniero siempre debe buscar y que un pavimento afecta la vida diaria del individuo, pues de su calidad podrían depender vidas humanas

**Figura III.3 Características importantes del diseño de pavimentos**



## LA ACTUALIZACIÓN DE LOS APUNTES

---

### 3.2 Obtención y Manejo de la Información de tránsito

El objetivo de este capítulo es el de exponer los métodos mediante los cuales usualmente se determinan los parámetros de tránsito requeridos para el diseño de cualquier arteria vial, destinada a recibir cantidades de vehículos en tránsito.

El parámetro fundamental a determinar es el efecto que estos vehículos y sus posibles cargas causarán con seguridad sobre el pavimento; la forma más efectiva de aproximarse a esta data es a través de una proyección de cantidad y tipo de vehículos que transitarán por una determinada vía, así como su carga y configuración física.

A fin de realizar esta aproximación es necesario familiarizarse con un número de conceptos clave para el proceso de diseño de cualquier pavimento, los cuales se presentarán a continuación como se pueden encontrar en la publicación “NORVIAL: Vocabulario Vial”, emitida por el Ministerio de Transporte y Comunicaciones en el año 1977: Tránsito o tráfico, Volumen de Tránsito, Promedio diario de tránsito, Volumen de tránsito actual, Tasa de crecimiento, Composición de tránsito, Vehículos livianos, Vehículos pesados, Período de análisis y Período de diseño

Una vez revisados estos conceptos, se hace obvia la necesidad de obtener la data a utilizar para realizar la proyección o aproximación a los daños a fin de realizar el proceso de diseño de pavimentos; usualmente el ingeniero proyectista recibiría los registros históricos de tránsito de las autoridades competentes en la materia o de especialistas consultores en el área.

El **volumen y tipo de vehículos** es el primero de estos datos a determinar; los mismos pueden ser obtenidos a través de las autoridades competentes en la materia o firmas consultoras especializadas, mediante estudios especialmente encargados de la vialidad nacional. La tarea en sí se lleva a cabo de distintas maneras y a través de diferentes sistemas, a saber: Sistema de Primera Generación, Sistemas de segunda generación y Conteos visuales

El **lapso de medición de volúmenes de tránsito** es otra variable de importancia a considerar a la hora de realizar el diseño de pavimentos; el lapso



## LA ACTUALIZACIÓN DE LOS APUNTES

---

ideal para realizar estas mediciones es de un año. En ocasiones, ciertos factores dificultan la realización del estudio en un tiempo tan prolongado, en cuyo caso lo ideal es reducir el tiempo de medición a seis meses, una semana, un día laboral y uno no laboral o 24 horas de un día laboral, preferiblemente. Incluso puede no contarse con este último lapso, viéndose el proyectista en la necesidad de evaluar el tránsito en períodos de 12, 8 y hasta una hora. En estos últimos casos el promedio diario de tránsito puede ser obtenido de otras maneras

El **peso total y peso por eje de los vehículos de carga** es otro dato determinante en el diseño de pavimentos; para obtener esta data es necesario contar con sistemas de pesaje, de los cuales existen las Balanzas con carga detenida y las Balanzas con carga en movimiento (WIM)

Son importantes para el proyectista de pavimentos los resultados obtenidos de estas mediciones de campo, así como los registros históricos y la tasa de crecimiento anual en los volúmenes de tránsito de las vías regionales y nacionales, ya que para poder realizar un apropiado diseño de pavimento es necesario que conozca la siguiente información: Volumen de tránsito, Composición del tránsito, Intensidad de la carga, configuración de los ejes que transmiten las cargas al pavimento y Canal de circulación que servirá como patrón de diseño

El siguiente paso, después de la determinación de todos estos factores y variables, es **precisar el efecto de las cargas transmitidas por los diferentes ejes sobre un pavimento flexible.**

De la misma manera surge la definición de los *Factores de equivalencia de carga*, valores numéricos que definen el daño que ocasiona un vehículo sobre una sección determinada de pavimento.

Todos estos valores sirven el propósito de calcular el daño total que las cargas que actuarán sobre un pavimento causarán sobre el mismo en su período de diseño, lo cual se conoce como **Número de cargas equivalentes**; el cálculo de esta variable se realiza a través de una ecuación específica que comprende todos los valores obtenidos.



## LA ACTUALIZACIÓN DE LOS APUNTES

---

Por otra parte, uno de los valores más importantes es el que corresponde al *Factor Camión*, que son las cargas equivalentes promedio por camión.

De igual manera el **factor de distribución por sentido** entra en juego al permitir la cuantificación de la fracción del total del tránsito que circulará en el sentido del diseño; este factor es un valor fijo.

El **factor de utilización de canal** permite asignar al canal de diseño la fracción del total de vehículos que circulará por este canal. Son valores fijos que varían de acuerdo a región y país.

El **factor de ajuste por tránsito desbalanceado** se refiere al hecho de que, normalmente, los canales en distintos sentidos difieren en cuanto a volumen de tránsito e intensidad de carga.

Asimismo es importante tomar en consideración a la hora de proyectar el hecho de que el tránsito vehicular varía de acuerdo al grupo de días en el cual se mida, a saber, laborales y no laborales.

Por último, es necesario incluir en el diseño el **factor de crecimiento** del volumen de tránsito en distintas vías, que se mide generalmente de forma interanual.

El trabajo realizado sobre este capítulo consistió en la modificación de ciento treinta y dos (132) láminas.



## LA ACTUALIZACIÓN DE LOS APUNTES

### *Tipos (Categorías) de vehículos pesados (camiones o de carga):*

- **Vehículos unitarios:** en el mismo chasis están ubicados el sistema de tracción y la carga. (Se denominan 2RD y O3E)
- **Vehículos semitrailers:** vehículo compuesto con dos chasis diferentes: El primero solo soporta el sistema de tracción y el segundo soporta solo la carga. Este segundo chasis tiene uno o mas ejes en su parte posterior. (Se denominan #S#)
- **Vehículos remolques:** vehículo compuesto con dos chasis diferentes: El primero es un "camión unitario" y el segundo soporta solo la carga. Este segundo chasis tiene uno o mas ejes en su parte delantera y uno o mas ejes en su parte posterior. (Se denominan #R#)

En las denominaciones tanto de los semitrailers como de los remolques, el símbolo # determina el numero de ejes, ejemplo: 2S1 (Dos ejes, semiremolque con un eje), 2S2, 2S3, 2R2, 2R3, 3R2, 3R3, etc.

### Figura III.4 Tipos de Vehículos Pesados

<i>Periodos recomendados de diseño</i>		
Tipo de vía según AASHTO	Según nomenclador vial venezolano	Periodo de diseño (años)
Principal	Autopista urbana o rural de alto volumen y vía troncal	15-20 (30 en autopistas urbanas)
Secundaria	Vía local	12-15
Terciaria	Vía ramal, sub-ramal o agrícola	8-12, con mínimo de 5 años

El periodo de diseño no debe ser confundido con la vida útil del pavimento ni con el periodo de análisis. Este ultimo puede comprender varios periodos de diseño como en el caso de la pavimentación por etapas

### Figura III.5 Períodos recomendados de diseño

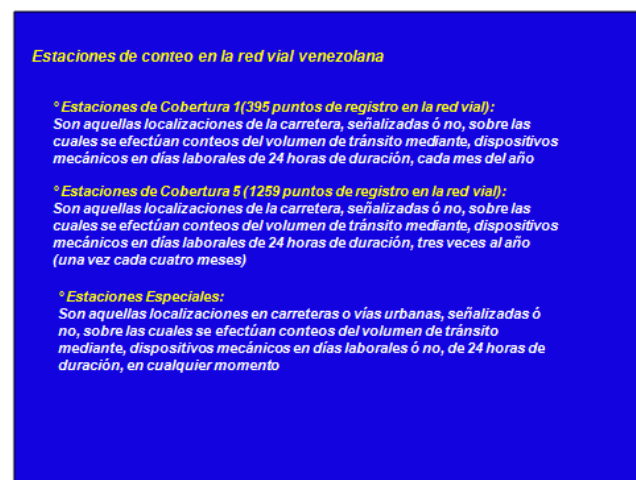


## LA ACTUALIZACIÓN DE LOS APUNTES



Con este método, los vehículos en general pasan por el dispositivo mostrado y se cuenta un vehículo por eje que detecte el dispositivo. De tal manera, si un camión de mas de un eje pasara sobre la banda neumática el contador haría el conteo de cuantos ejes posea dicho camión

**Figura III.6 Conteo por métodos mecánicos**



En esta lámina sigue la explicación de las características de los diferentes tipos de estación. Nuevamente se hace notar que la presencia de las anteriormente mencionadas estaciones es casi nula para esta fecha. Es conveniente observar que las cifras presentadas en todas las estadísticas de tránsito publicadas hasta la fecha incluyendo la última publicada en 1983 no han sido ajustadas mediante la aplicación de dichos coeficientes

**Figura III.7 Estaciones de conteo en la red vial venezolana**



## LA ACTUALIZACIÓN DE LOS APUNTES

---

### 3. 3 El material de sub-rasante

La sub-rasante es el suelo compactado y preparado que soporta al pavimento. La importancia de la sub-rasante radica en las propiedades mecánicas del suelo a ser utilizado. Las funciones principales de la sub-rasante son suministrar un soporte apropiado para las deflexiones que serán causadas por las cargas y que dicho soporte sea continuo para poder dar longevidad a la vía. De igual manera debe otorgarse importancia a la compactación y humedecimiento de la sub-rasante de modo de lograr los espesores requeridos para que dicha capa sea suficientemente resistente.

Las cualidades más importantes que debe poseer una sub-rasante son: alta y permanente resistencia, uniformidad, alta densidad, poca susceptibilidad al agua, poca variación volumétrica, facilidad y permanencia de compactación.

El ensayo mayormente utilizado para la evaluación de un terreno de sub-rasante es el CBR – California Bearing Ratio por sus siglas en inglés – que establece la relación entre la resistencia a la penetración del suelo y su calidad de soporte para un pavimento.

El CBR se define como la comparación entre la resistencia a corte de un suelo y la penetración bajo los mismos parámetros de una muestra de piedra picada. El resultado es función de su densidad, textura, humedad de compactación, humedad después de la saturación, su grado de alteración y su granulometría. La determinación del CBR de suelos perturbados y remoldeados es la más utilizada ya que deben simularse lo más precisamente las condiciones de compactación en campo.

El ensayo del CBR se realiza en varios pasos: la ejecución del ensayo de compactación (Proctor), la compactación de tres briquetas, la inmersión de las mismas y la colocación en prensas específicas que miden la carga que va penetrando la muestra. A continuación se grafican los resultados y se obtienen los valores del CBR para distintas penetraciones.

La sobrecarga – normalizada a un valor de diez (10) lbs – en este ensayo es particularmente importante porque simula las capas que se colocan sobre la sub-rasante



## LA ACTUALIZACIÓN DE LOS APUNTES

---

En cuanto a la necesidad de saturación, los ensayos realizados regularmente son el Método MTC, el ensayo AASHTO (de la Asociación Americana del Asfalto), el Método Shell y el Método AASHTO 93.

El módulo resiliente (MR) es un parámetro que se utiliza para comprobar el estado de una capa de sub-rasante. Da una idea de la durabilidad de la misma y representa la descripción del comportamiento de la capa de sub-rasante ante las cargas repetidas sobre un pavimento

El ensayo que se realiza para la determinación del MR es el ensayo Triaxial dinámico. Cabe acotar que este no es un ensayo que se realiza a rotura y que registra las deformaciones permanentes del material.

El trabajo realizado sobre este capítulo consistió en la modificación de sesenta y seis (66) láminas.



## LA ACTUALIZACIÓN DE LOS APUNTES

**El Módulo Resiliente**

*El módulo resiliente (MR) está definido como la magnitud del esfuerzo desviador repetido en compresión triaxial dividido entre la deformación axial recuperable, siendo éste equivalente al módulo de Young (módulo de elasticidad) y se representa como sigue:*

$$MR = (\sigma_1 - \sigma_3) / \epsilon_{axial} = \sigma_d / \epsilon_{axial}$$

**donde:**

- MR = Módulo de resiliencia**
- $\sigma_1$  = Esfuerzo principal mayor**
- $\sigma_3$  = Esfuerzo principal menor (confinamiento lateral)**
- $\sigma_d$  = Esfuerzo desviador**
- $\epsilon_{axial}$  = Deformación recuperable**

Durante pruebas de carga repetida se observa que después de un cierto número de ciclos de carga, el módulo llega aproximadamente a ser constante y la respuesta del suelo se puede asumir como elástica. Al módulo que permanece constante se le llama módulo de resiliencia. Este concepto aplica tanto para suelos finos como para suelos granulares

**Figura III.8 Explicación de la ecuación de Módulo Resiliente**

**El Ensayo de Módulo Resiliente**

*Las deformaciones verticales son medidas por 3 LVDT's (Linear Variable Differential Transformers), elementos que se encargan de transmitir la magnitud de dichas deformaciones a la unidad de registro y control.*

*Los LVDT's se encuentran localizados en la parte externa de la cámara triaxial. Los diferentes intervalos en los que se mide la deformación simulan la velocidad de circulación de un vehículo sobre la estructura de un pavimento. La carga que se aplica a la muestra de suelo compactado es medida por una celda de carga.*

*El sistema de carga es operado por un medio hidroneumático a través de una bomba con capacidad de hasta 3000 lb/plg<sup>2</sup> de presión.*

*La frecuencia de la carga es gobernada por un controlador de tiempo y es de 10 repeticiones por minuto con una duración de carga de 0.1 segundos.*

Este ensayo tiene actualmente muy poca difusión en Venezuela, ya que aun no existe ningún laboratorio que lo pueda ejecutar, pero se han desarrollado ecuaciones de correlación entre el valor de MR y el de CBR

**Figura III.9 Procedimiento (parte) del ensayo de Módulo Resiliente**



## LA ACTUALIZACIÓN DE LOS APUNTES

**Otras ecuaciones de correlación para materiales de fundación (1):**

(a)  $Mr = 1,500 * CBR$  (para  $CBR \leq 7.2\%$ )

(b)  $Mr = 3,000 * CBR^{0.65}$  (para  $7.2\% > CBR \leq 20\%$ )

(c)  $Mr = 4,326 * (\ln CBR) + 241$  (para  $CBR > 20\%$ )

(1) Corredor, G: Apuntes de Pavimentos, Volumen 1, Octubre 2006, Ediciones USM, Caracas

En nuestro país las ecuaciones de correlación más comúnmente empleadas para estimar el MR a partir de los resultados de ensayos de CBR en suelos finos, es decir, los que se utilizan en las capas de sub-rasante y sub-rasante mejorada son las presentadas en la lámina.

**Figura III.10 Ecuaciones de correlación CBR-Módulo Resiliente**

**Estimación de valores de MR**

TABLA 5  
Valores aproximados de Módulo Resiliente (MR)

Región Climática	Calidad Relativa del Material de Fundación				
	Muy pobre	Pobre	Regular	Buena	Muy buena
1 (muy lluviosa)	2.875	3.700	5.000	7.000	11.000
2 (lluviosa)	3.250	4.100	5.500	8.000	14.000
3 (semi lluviosa)	3.625	4.500	6.000	9.000	17.000
4 (semi seca)	3.940	4.830	6.420	9.830	19.500
5 (pluvio-nublosa)	3.250	4.100	5.500	8.000	14.000

Valor de MR en libras por pulgada cuadrada (psi)  
Nota: valores aplicables preferiblemente en vías rurales de bajo tráfico.  
Fuente: Ing. Luis Salomé R.: "Método de Diseño de Pavimentos Flexibles para Vías de Bajo Volumen de Tráfico", 1990.

Es necesario apuntar, sin embargo, que esta tabla es aplicable solo para el caso en que no sea posible la ejecución de ensayos de laboratorio

**Figura III.11 Tabla de estimación de valores de Módulo Resiliente**



### 3.4 Bases y Sub-Bases Granulares

Se define la capa base como aquella que está colocada directamente debajo de la capa de rodamiento. Esta capa tiene como función absorber los esfuerzos y transmitirlos uniformemente a las capas inferiores del pavimento. La capa de base debe poseer una alta resistencia a la deformación por estar tan cercana a la capa donde se producen los esfuerzos.

La capa base también debe tener una capacidad drenante y evitar la ascensión de aguas inferiores. Esta capa es construida con mezclas de fragmentos de piedras y gravas e incluso pueden contener suelos estabilizados con cal hidratada o cemento Portland.

La capa de sub-base es aquella capa que se coloca directamente sobre la sub-rasante. Aun cuando la sub-base debe también soportar los esfuerzos que vienen de la capa de rodamiento, no se requiere que sea tan resistente como las otras capas.

Normalmente la capa de sub-base se construye con materiales de tamaños más grandes que los utilizados para la capa de base. También pueden ser combinados con materiales estabilizados con cemento Portland o aceites sulfonados. Los materiales comúnmente utilizados como sub-base incluyen gravas de ríos y minas.

Para el proceso constructivo de la capa de sub base se vacía el material en pilas de agregados a unas distancias determinadas – que se calculan mediante un proceso específico – para luego ser extendido con motoniveladoras hasta alcanzar el espesor de proyecto. Cabe acotar que al momento del extendido se forma el “camellón”, que no es más que una pila continua de menor altura que se forma cuando la cuchilla corta la pila del material y la hace a un lado. Luego, de ser necesario, se hace un riego de agua para lograr la humedad óptima, se compacta hasta alcanzar la densidad de proyecto y se verifica el espesor de la capa.

Para la capa base se utilizan agregados obtenidos de minas, que serán utilizados o no de acuerdo a su resistencia y CBR. A medida que la capa se va acercando a la de rodamiento se necesita un material de mejor calidad, por lo que es posible procesar los agregados. Sus principales características de



## LA ACTUALIZACIÓN DE LOS APUNTES

---

ingeniería deben ser: distribución granulométrica, forma y textura de las partículas, tamaño máximo, limpieza y densidad. La resistencia a la disgregación, la resistencia mecánica y la permeabilidad también son importantes para la capa de sub-base. El proceso constructivo de la capa base es similar al de la capa de sub-base.

No muy común en Caracas, pero sí en ciudades siderúrgicas por excelencia, como Puerto Ordaz, se utiliza como bases y sub-bases granulares agregados siderúrgicos y la escoria proveniente de la producción del acero.

El trabajo realizado sobre este capítulo consistió en la modificación de ochenta y nueve (89) láminas.



## LA ACTUALIZACIÓN DE LOS APUNTES

### Capas de Sub-base

*La capa de sub-base se define como aquella capa que se coloca directamente sobre la superficie de la sub-rasante. También puede ser definida, en una estructura de pavimento multicapa, como aquella capa que se coloca directamente por debajo de la capa de base.*

*Aún cuando se emplean para absorber los esfuerzos generados por los vehículos, debido a que se encuentran algo alejadas de la superficie en donde se aplican las cargas, no se requieren materiales tan resistentes como los exigidos en las capas de base.*

*Sus espesores son, en general, mayores a los de capa base, y están en el rango entre los 20 y 35. No se recomienda construir espesores de capas mayores a los 45 cm, aun cuando el dimensionamiento estructural así lo exija; en este caso debe sustituirse el espesor por encima de los 45 cm por un espesor equivalente de otro material, tal como será comentado en el momento de diseñar la estructura de un pavimento.*

La sub-base es una capa de materiales pétreos, de buena gradación, construida sobre la sub-rasante. Esta capa, al igual que la anterior, deberá cumplir con los requisitos de compactación y de calidad a que se hace referencia para la capa sub-rasante. Normalmente, la sub-base se construye para lograr espesores menores de la capa Base.

**Figura III.12 Definición y descripción de la capa de sub-base**

Proceso constructivo de sub-bases granulares no tratadas:

(c) Formación del "camellón"



El camellón es una pila de menor altura y continua que se forma cuando la cuchilla corta la pila del material y la empuja a un lado

**Figura III.13 Vista del "camellón" en procesos constructivos de sub-bases**



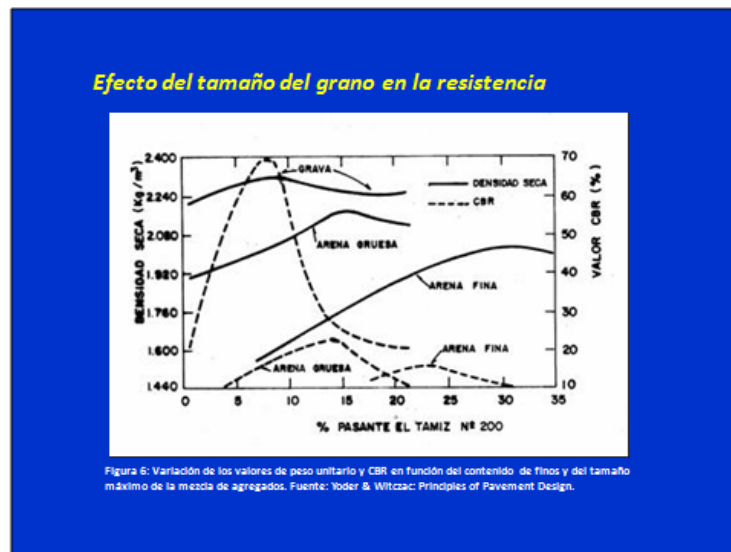


## LA ACTUALIZACIÓN DE LOS APUNTES



Como se observa en la fotografía, la gradación del granzón natural no es la que generalmente se persigue para la utilización del mismo como material para la sub-base. Aquí se observan fracturas en la capa de sub-base, lo que resulta indeseado para la durabilidad y confiabilidad de un pavimento

**Figura III.14 Muestra de variabilidad y segregación en sub-bases**



En esta figura se observa que tanto la densidad como la resistencia se incrementan con el aumento en el tamaño máximo de los granos de la mezcla de agregados

**Figura III.15 Efecto del tamaño del grano en la resistencia.**



### 3.5 Estabilización de suelos y mezclas de suelo-cemento

En el caso de que los suelos que se encuentran en el lugar de una obra vial no cumplan con las características físico mecánicas requeridas para soportar la carga que recibirán cuando estén en funcionamiento, es necesario recurrir a lo que se conoce como estabilizaciones, que son procesos llevados a cabo para aumentar la calidad de los materiales y reducir la posibilidad de deformaciones mediante un modificador o corrector.

Hay dos grandes tipos de estabilizaciones: la **química**, que se refiere al cambio de propiedades del suelo por medio de cementos, cal y aceites sulfonados añadidos y la **estabilización por tratamiento**, en la cual no se añaden productos al suelo sino que se emplean localizadamente sistemas térmicos, eléctricos o de impacto, entre otros, para mejorar las condiciones. Esta última es rara vez utilizada en obras de vialidad.

Dentro de la estabilización química, la más utilizada vendría siendo la **estabilización con cemento**, más específicamente las mezclas de *suelo cemento*; esta mezcla se compone de suelo pulverizado, cemento y agua en proporciones particulares, compactadas a alta densidad. Este tipo de estabilización se diseña mediante la aplicación de ensayos de la mezcla elaborada, para corroborar que la misma cumpla la función para la cual será utilizada.

Es importante, a la hora de diseñar estas mezclas, tomar en consideración la cantidad de cemento a ser agregado al suelo, la cantidad de agua y la densidad que se necesita alcanzar en la fase de compactación, ya que estas variables son críticas para lograr óptimos resultados finales. Estas cantidades son determinadas a través de distintos métodos de diseño de mezclas; cada método de diseño de mezclas está asociado con su correspondiente método de diseño de pavimentos. Existen dos métodos para diseño de mezclas, que se apegan a los criterios de la PCA y de la AASHTO, respectivamente.

La **construcción de mezclas de suelo-cemento** puede dividirse en dos etapas:

- a) Preparación previa: ésta varía de acuerdo al método de mezcla del suelo cemento, a saber, se será mezclado directamente sobre la vía o si será mezclado en planta y transportado posteriormente al sitio de la obra. En el primer caso será necesario chequear meticulosamente el



## LA ACTUALIZACIÓN DE LOS APUNTES

---

perfil de la vía, completando la rasante donde sea necesario, mientras que en el segundo caso la sub-rasante deberá estar compactada y nivelada de acuerdo a las especificaciones de la obra. Asimismo el suelo debe ser pulverizado previamente para lograr un buen mezclado con el cemento.

- b) Construcción en sí del suelo cemento: luego de la fase inicial se procede a la distribución del cemento, a granel o en sacos, para luego humedecer a través de camiones cisterna y, una vez transcurrido el tiempo establecido, compactar al 95% de la densidad del Proctor Modificado; seguidamente se comienza la fase de terminación, cuyos métodos varían de acuerdo a las necesidades y especificaciones de cada obra y por último se realiza el curado, cuyo propósito es evitar la pérdida por evaporación de la humedad requerida para la hidratación del cemento. Este curado puede llevarse a cabo mediante un riego de asfalto líquido o a través de métodos orgánicos como tierra húmeda o paja. Es recomendable evitar el tráfico durante los siete días posteriores al curado.

Una vez terminado el proceso es necesaria la formación de una junta vertical de construcción, que no es más que el cortado en sentido vertical del extremo libre del suelo cemento terminado. Éstas deben ser perfectamente perpendiculares para óptimos resultados.

El **control de calidad** es la fase final del proceso y representa un paso fundamental para garantizar que el producto final sea adecuado para el uso para el cual ha sido propuesto. Durante esta fase se verifican los siguientes factores:

- a) Nivelación de la vía y remoción de las zonas blandas que existan en la sub-rasante
- b) Clasificación de los suelos empleados para verificar que ellos coinciden con los del proyecto.
- c) Pulverización adecuada y granulometría del material
- d) Cantidad de cemento aplicado
- e) Humedad correcta de la mezcla
- f) Control de la uniformidad de la mezcla
- g) Determinación del grado de compactación



## LA ACTUALIZACIÓN DE LOS APUNTES

---

- h) Espesor de la mezcla compactada y tolerancias de acabado de superficie
- i) Curado

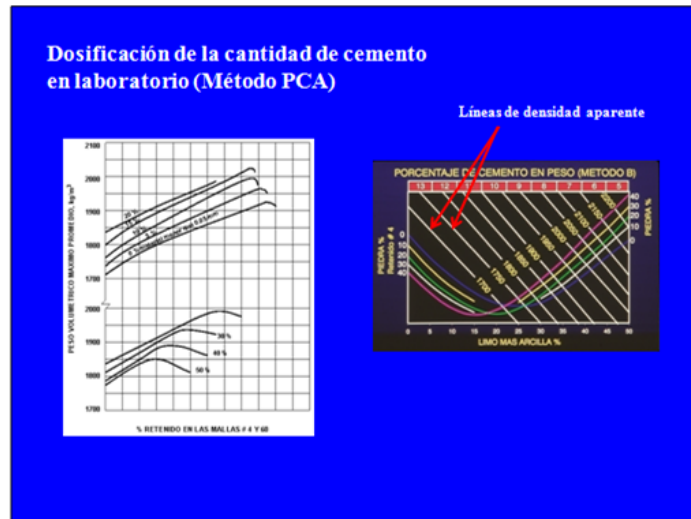
Existen otros materiales, además del cemento, que se utilizan igualmente para la estabilización de suelos y con los cuales se obtienen resultados favorables; es éste el caso de los **aceites sulfonados**, los cuales son derivados de la fracción nafténica del petróleo. Entre los efectos de los aceites sulfonados sobre los suelos se cuentan la disminución entre 30% y 90% de la humedad con respecto a la óptima y una resistencia al corte del suelo, permitiendo aplicar capas menos espesas de material sobre el terraplén estabilizado. Para utilizar aceites sulfonados como mejorador de las características del suelo simplemente se los agrega al agua a utilizar en el proceso de compactación de éste, que es el mismo que se llevaría a cabo con cualquier otro material.

Asimismo los suelos pueden ser estabilizados con **cal**, la cual reduce las características plásticas de los mismos, haciéndolos más friables, aumentando relativamente su valor soporte y reduciendo la susceptibilidad al agua de los suelos cohesivos. Es posible mezclar la cal con otros materiales dando como resultado sistemas mixtos de estabilización. De la misma manera la cal facilita la pulverización de los suelos, pudiendo así ser utilizada para asistir en esta fase de la estabilización de los suelos con cemento. La estabilización con cal se realiza siempre sobre la vía, empleando el procedimiento que se utiliza para la estabilización con cualquier otro material.

El trabajo realizado sobre este capítulo consistió en la modificación de cincuenta y un (51) láminas.

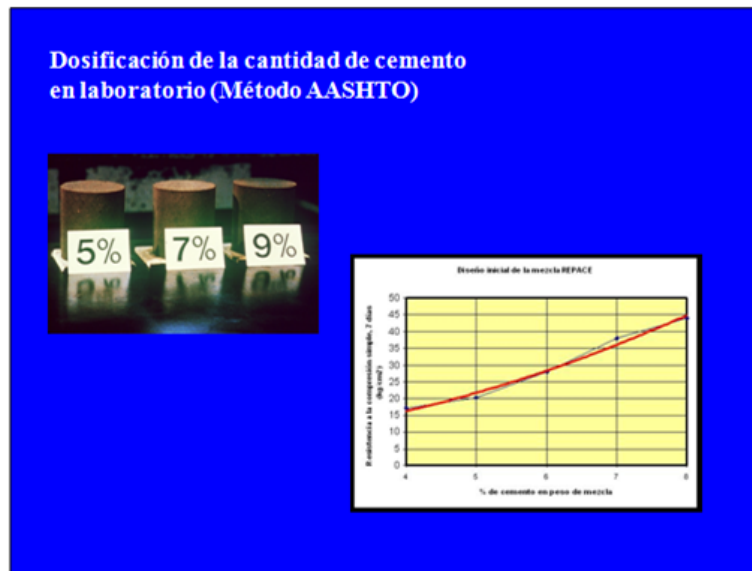


## LA ACTUALIZACIÓN DE LOS APUNTES



La figura de la izquierda es un gráfico de la densidad aparente máxima estimada (por el Método A) y la de la derecha representa el porcentaje de cemento en peso (Método B). Nótese que las líneas rectas oblicuas representan las líneas de densidad aparente

**Figura III.16 Dosificación del Cemento (Método PCA)**



La fotografía de la izquierda corresponde al Diseño REPACE con tres diferentes contenidos de cemento, mientras que la de la derecha es una Gráfica de resistencia a la compresión simple vs % de cemento en peso de mezcla

**Figura III.17 Dosificación del Cemento (Método AASHTO)**

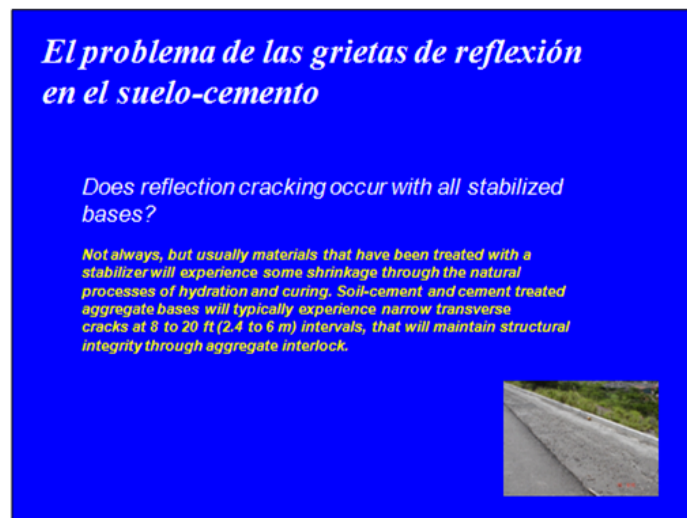


## LA ACTUALIZACIÓN DE LOS APUNTES



En las fotografías se observa la dosificación del cemento, que puede ser a granel o en sacos. Se debe tener en cuenta que los sacos no pueden ser colocados al azar, existe un método para la separación de los mismos que se vera a continuación

**Figura III.18 Tipos de dosificación del cemento sobre la vía**



En el texto se explica que si bien las grietas no ocurren en todas las bases estabilizadas, pero que debido al proceso de hidratación y curado se presenta contracción. Aunque típicamente se pueden encontrar grietas angostas, esto no afectara estructuralmente al pavimento

**Figura III.19 Grietas de reflexión en el suelo-cemento**



### 3.6 Aspectos generales, especificaciones y ensayos en asfaltos

La historia de la verdadera explotación del petróleo en Venezuela comienza en el estado Zulia, con un terremoto que sacudió el estado donde en una hacienda llamada “La Alquitrana” brota petróleo. Tres años más tarde, el Gobierno del Gran Estado de Los Andes otorga la concesión de las “Cien minas de asfalto”, donde nace la “Compañía Minera Petrolia del Táchira”. En el año 1883 llega a Táchira el taladro de perforación bautizado como “La Alquitrana”. Ese mismo año se descubre el primer pozo petrolero de Venezuela, “Eureka” que alcanzó una profundidad de 60 metros.

En esa época, la Petrolia se dedicó a realizar las operaciones que aún se realizan en una petrolera, como la exploración, refinación y mercadeo. Para ese entonces se refinaba el petróleo en un equipo rudimentario de 2.000 litros de capacidad. La concesión de La Petrolia no fue renovada por el Presidente de aquella época, Juan Vicente Gómez.

El cemento asfáltico es de suma importancia para el ingeniero vial, ya que posee propiedades cementantes, de adherencia, impermeabilidad y durabilidad. Este material otorga flexibilidad a la mezcla que se forma con los agregados, son resistentes a la acción de la mayoría de los ácidos, álcalis y sales. Son sólidos o semisólidos a temperatura ambiente, pero alcanzan su fluidez entre 135 °C y 170 °C, que es la temperatura a la que se maneja usualmente.

Hoy en día, los asfaltos son más y más empleados en la construcción de carreteras, ya que pueden ser refinados o naturales. Los refinados se procesan para obtener distintas fracciones y separar los asfaltos del resto de los derivados del petróleo. En casos específicos como en el “Lago Guanoco” en el estado Sucre el asfalto se encuentra libre y con pocos materiales extraños y casi no requieren de procesamiento para ser utilizados.

Las definiciones que deben conocerse a la hora de hablar de asfaltos son:

- Petróleo: material natural de consistencia viscosa, formado por una mezcla de hidrocarburos con contenidos variables de azufre, nitrógeno y oxígeno.



## LA ACTUALIZACIÓN DE LOS APUNTES

---

- Bitumen: mezcla de hidrocarburos de origen natural o volcánico o una combinación de ellos, frecuentemente acompañados de derivados no metálicos que pueden ser gaseosos, líquidos, semisólidos o sólidos y que son solubles en bisulfuro de carbono
- Asfaltos: son materiales cementantes de color marrón oscuro a negro, de consistencia sólida, semisólida o líquida en los cuales los principales componentes son los bitúmenes y que son obtenidos como residuos en la refinación del petróleo o en forma natural.

Existen tres procesos en la actualidad para separar los componentes del petróleo crudo: por destilación (vapor y vacío) en crudos de base asfáltica, por extracción por solvente (de-asfaltado por propano), utilizado para asfaltos con bases parafínicas y por Cracking, que no son utilizados para pavimentación.

En cuanto a la calidad de los materiales se refiere, las “Normas venezolanas para construcción de carreteras” o COVENIN 2000-87 están responsabilizadas en lo concerniente a la normalización de procesos a nivel nacional.

En ocasiones los asfaltos son mezclados con solventes extraídos del crudo y se obtienen los “asfaltos diluidos”, también llamados “asfaltos líquidos” o “asfaltos rebajados”. En la actualidad sólo se produce un tipo de asfalto clasificado como RC-250. También se pueden encontrar los asfaltos emulsificados que son mezcla de cemento asfáltico, agua y un agente emulsificante, aunque en Venezuela no suelen utilizarse masivamente.

Los ensayos normalizados y exigidos por las Normas COVENIN 1670-95 para su aplicación sobre cementos asfálticos son: ensayo de penetración, que determina la consistencia de los cementos asfálticos, ensayos de viscosidad para determinar la fluidez de un cemento asfáltico, de punto de inflamación, de Estufa de Película Delgada (TFOT), de ductilidad, solubilidad, punto de ablandamiento y peso específico.

En la actualidad se utilizan los ensayos Superpave®, que persiguen imitar el desempeño del cemento asfáltico en obra. A continuación se presenta una tabla resumen de los mismos:





## LA ACTUALIZACIÓN DE LOS APUNTES

**Tabla III.1**

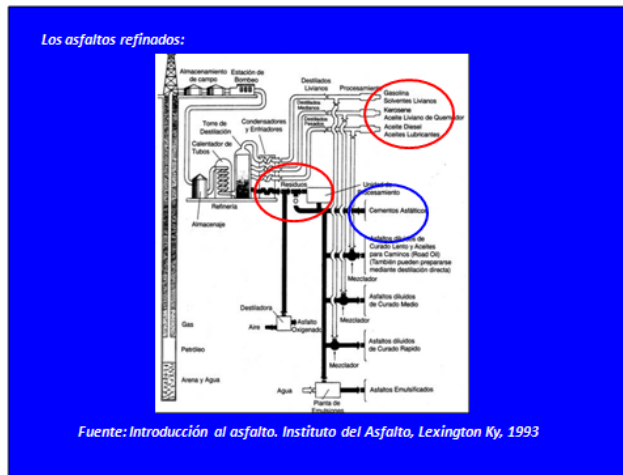
Ensayo	Propósito	Parámetro de comportamiento
Punto de Inflamación Copa Abierta Cleveland	Seguridad industrial durante la operación de la planta de asfalto	Ninguno
Viscosímetro rotacional (RV)	Medición de las propiedades del ligante a altas temperaturas durante la etapa de construcción	Temperaturas de bombeo y mezclado
Película delgada rodante en estufa (TFROT)	Simulación del envejecimiento del ligante durante las etapas iniciales de mezclado, transporte y colocación	Resistencia al envejecimiento durante la construcción de la capa asfáltica
Cámara de envejecimiento a presión (PAV)	Simulación del envejecimiento del ligante a lo largo de la vida de servicio, una vez que la capa asfáltica ha sido puesta en servicio	Resistencia al envejecimiento durante la vida de servicio de la capa asfáltica
Reómetro de corte directo (DSR)	Medición de las propiedades del ligante a temperaturas medias y altas durante la vida de servicio	Resistencia a la deformación permanente (ahuellamiento) y agrietamiento por fatiga
Reómetro de viga a flexión (BBR)	Medición de las propiedades del ligante a temperaturas bajas durante la vida de servicio	Resistencia al agrietamiento por fatiga térmica
Ensayo de tensión directa (DTT)	Medición de las propiedades del ligante a temperaturas bajas durante la vida de servicio	Resistencia al agrietamiento por fatiga térmica

Fuente: Apuntes de Pavimentos Volumen 2: Mezclas asfálticas, materiales y diseño.  
Ing. Gustavo Corredor M. Edición 2005, Revisión 2008

El trabajo realizado sobre este capítulo consistió en la modificación de ciento quince (115) láminas.

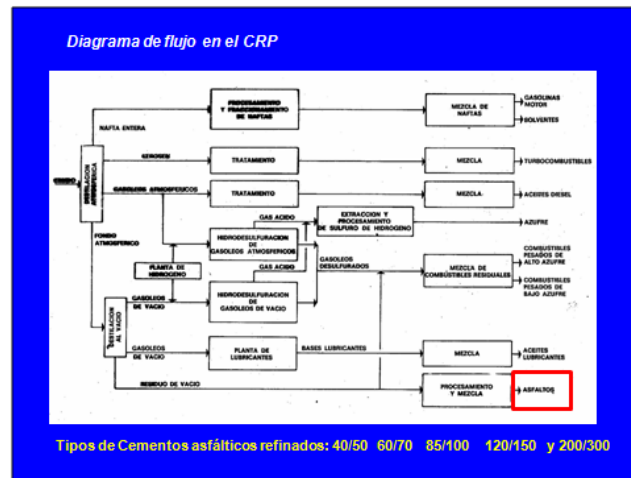


# LA ACTUALIZACIÓN DE LOS APUNTES



Asfaltos refinados y esquema básico de refinación. En este esquema se puede observar como los cementos asfálticos, marcados con el color azul, representan el producto final del proceso, de donde se le han removido inicialmente tanto residuos como derivados más livianos tal como Gasolina, Kerosene y Aceite Diesel. También se observa a partir de este esquema como la mezcla de los cementos asfálticos con estos derivados producen distintos tipos de asfaltos.

**Figura III.20 Esquema de refinación de los asfaltos**



En esta figura se observa que de las torres de destilación atmosféricas, mediante tratamientos y mezclas con otros compuestos se pueden obtener productos como gasolinas de motor, solventes, turbocombustibles, Aceites Diesel, Azufre y combustibles pesados de Alto y Bajo azufre, mientras que de las torres de destilación al vacío, mediante procesos de hidrosulfuraciones y adición de lubricantes, se obtienen aceites lubricantes y finalmente los asfaltos

**Figura III.21 Diagrama de flujo en el CRP**

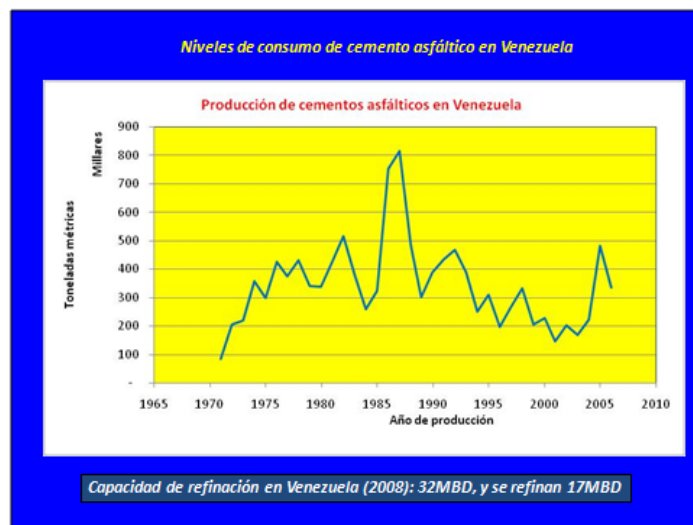


## LA ACTUALIZACIÓN DE LOS APUNTES



En esta fotografía se observan dos recipientes de los cuales se ha derramado un asfalto de distinta manera, sea porque es un mismo asfalto a diferentes temperaturas (recordemos que a mayor temperatura, menor es la viscosidad del asfalto) o porque son dos asfaltos distintos a la misma temperatura y sus componentes no son siempre iguales

**Figura III.22 Efectos de la viscosidad o temperatura en los asfaltos**



En esta figura se observa una gráfica que ilustra la producción de cementos asfálticos en Venezuela desde 1970 hasta aproximadamente 2007, notándose un pico obvio en el año 1987 y un valle considerable en el año 2000 al 2001

**Figura III.23 Niveles de consumo de cemento asfáltico en Venezuela**



## LA ACTUALIZACIÓN DE LOS APUNTES

---

### 3.7 Propiedades químicas y físicas de los asfaltos

El comportamiento de un ligante está relacionado tanto con sus propiedades químicas como físicas, las cuales afectarán su desempeño en obra. Los principales componentes en las moléculas de asfalto son el carbón y el hidrogeno, seguido por el azufre y otros en pequeñas cantidades.

La composición micelar de un cemento asfáltico consiste en asfaltenos y maltenos-resinas que están en un medio viscoso. Los asfaltenos no aportan ductilidad ni adherencia al cemento asfáltico, lo contrario de las resinas, por lo que se pueden considerar la parte activa de los bitúmenes.

Se observa que se hace poca referencia a las propiedades químicas de los asfaltos, mas las propiedades físicas son las que presentan el interés del ingeniero de pavimentos, como son:

- La consistencia, que se refiere a la plasticidad del ligante,
- La durabilidad, que se refiere a la capacidad de un ligante de mantener sus propiedades en el tiempo,
- La adherencia que se refiere a la interacción con los agregados,
- La cohesión, que da la firmeza en la unión entre las partículas de agregados,
- La pureza, que tiene relación con los materiales insolubles en bisulfuro de carbono y
- La gravedad específica.

En la industria petrolera se hace referencia a los volúmenes de los materiales a 15.5 °C aunque no sea esa temperatura a la cual se maneja el cemento asfáltico. Por ende para fines de cálculos se desarrollan fórmulas para obtener las densidades a las temperaturas de manejo con factores de corrección ya estipulados en la literatura.

El trabajo realizado sobre este capítulo consistió en la modificación de cuarenta y seis (46) láminas.




## LA ACTUALIZACIÓN DE LOS APUNTES

**Composición químico-física de los aceites (aromáticos y saturados) que son medio líquido en el que se dispersan los asfaltenos y resinas**

**Original, a la salida de la refinería**      **Después de años de servicio (envejecido)**

- **Peso molecular:** 300-2.000
- **Son líquidos de viscosidad media**
- **Color:** marrón claro
- **% del total:** 35 a 75%
- **No presentan ni ductilidad ni adherencia**
- **Son muy estables ante el oxígeno,, pero la fracción que se oxida se transforma en resinas y asfaltenos**
- **Le imparten la fluidez al asfalto**

- **Aún cuando son muy estables, al oxidarse se aumenta la proporción de aceites a un 38 a 50% del total del bitumen**



Como podemos seguir concluyendo, la fracción de los aceites aromáticos y saturados que se oxidan se transforma en resinas y asfaltenos, y las resinas, como vimos anteriormente, se transforman también en asfaltenos, de tal modo de que se pierda la ductilidad y aumente su viscosidad

**Figura III.24 Composición química de los aceites aromáticos y saturados**

**Composición química de los asfaltos venezolanos**

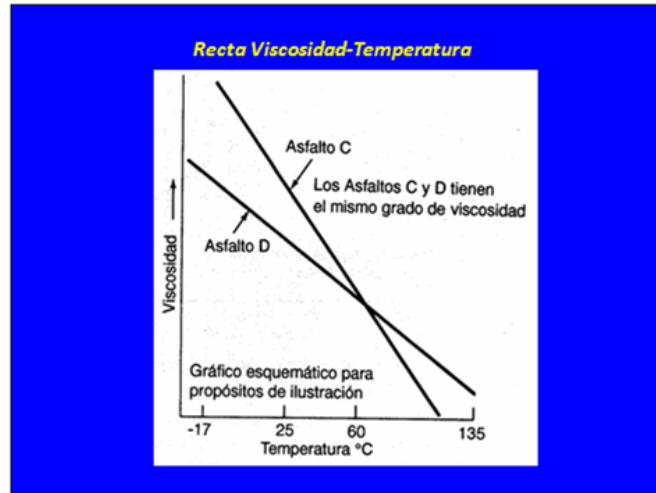
COMPOSICION (%)	TIA JUANA 26	TIA JUANA 102	AMUAY C.P.G.	LAGO TRECÓ	BOSCAN
ASFALTENOS	24.40	26.70	19.00	20.20	21.00
RESINAS	21.50	21.70	22.10	23.00	34.50
AROMATICOS	50.40	51.40	52.20	49.20	40.90
SATURADOS	6.70	6.30	6.20	6.70	3.10
VANADIO (P.P.M.)	628.00	667.00	675.00	683.00	1,250.00
NIGUEL (P.P.M.)	76.00	74.00	79.00	85.00	128.00
PARAFINAS	1.59	1.53	1.02	1.10	1.08
AZUFRE	3.00	3.00	3.00	3.10	5.20
<b>PROPIEDADES - FISICAS</b>					
PENETRACION $\frac{dmm}{mm}$	75.00	81.00	56.00	72.00	59.00
IND. PENETRAC.	(0.43)	(0.71)	(0.57)	(0.90)	(0.92)
FLASH POINT °C	340.00	340.00	332.00	312.00	304.00
INDICE E.C.	1.31	1.24	1.16	1.13	0.71

En esta tabla se presentan las distintas composiciones químicas de algunos asfaltos de acuerdo a las diferentes refinerías venezolanas. En este caso se estudia la fracción de resinas y aromáticos. Una vez más, el asfalto Boscan es el que tiene mayor contenido de resinas, pero menor contenido de aromáticos. El asfalto más rico en este último compuesto es el proveniente de Amuay

**Figura III.25 Composición química de los asfaltos venezolanos**



## LA ACTUALIZACIÓN DE LOS APUNTES



Aquí se ilustra una recta viscosidad-temperatura. Muestra que aunque dos asfaltos pueden tener la misma viscosidad para una temperatura dada, pero sus propiedades son distintas. Se muestra que el asfalto C es mucho más susceptible a la temperatura que el asfalto D, pues pierde sus propiedades viscosas con más rapidez que el anterior.

**Figura III.26 Recta viscosidad-temperatura para dos asfaltos distintos**

**Consistencia**

*Experimentalmente ha sido determinado que el rango de viscosidades que debe alcanzar un cemento asfáltico en el momento de ser mezclado con el agregado debe estar entre los 0.15 y 0.19 Pa-s, y la temperatura a la que la mezcla debe ser compactada en laboratorio, debe corresponder a aquella a la que el C.A. presente una viscosidad entre los 0.25 y 0.31 Pa-s. Con estas viscosidades el asfalto será suficientemente fluido como para ser bombeado y mezclado con el agregado para lograr un adecuado cubrimiento de las partículas del agregado, pero al mismo tiempo ser suficientemente viscoso como para no drenar libremente durante el tiempo en que este siendo mezclado*

La susceptibilidad a la temperatura varía entre asfaltos provenientes de crudos diferentes aun cuando tengan un mismo grado de consistencia y una misma temperatura. Mientras mayor sea la pendiente de la recta viscosidad-temperatura de un asfalto mayor será su susceptibilidad a la temperatura.

**Figura III.27 Definición de la consistencia de un cemento asfáltico**



## LA ACTUALIZACIÓN DE LOS APUNTES

---

### 3.8 Propiedades de ingeniería en los agregados para mezclas asfálticas

Los agregados son aquellos materiales minerales en forma de partículas, granos o fragmentos que, adecuadamente proporcionados en diferentes tamaños, conforman una mezcla asfáltica. Los agregados más comúnmente utilizados son las gravas de ríos y aquellos provenientes de canteras.

Los agregados minerales pueden clasificarse en:

**Rocas sedimentarias:** son aquellas que se forman por la acumulación de sedimentos a medida que se deposita el agua.

**Rocas ígneas:** son aquellas que provienen del magma de los volcanes que se ha enfriado o endurecido.

**Rocas metamórficas:** son rocas sedimentarias o ígneas que han sido transformados por procesos de calor y presión o por procesos químicos.

De acuerdo a cómo son producidos los agregados, éstos se clasifican en:

**Agregados naturales:** son aquellos que se emplean tal como han sido obtenidos de su fuente original.

**Agregados procesados:** son aquellos que han pasado por procesos de trituración de manera de modificar su distribución granulométrica.

**Agregados sintéticos o artificiales:** son aquellos agregados que no existen en la naturaleza y se obtienen como producto del procesamiento de otros materiales (como la escoria de la acería).

Las características físicas deseables en los agregados utilizados para las mezclas asfálticas son:

- **Tamaño y estructura granulométrica:** es la característica más importante de los agregados ya que afecta la estabilidad y trabajabilidad de la mezcla. Para ella se requiere un tamaño máximo (TM) tamaño nominal máximo (TNM), tamaño correspondiente al tamiz #8, filler y pasa #200.



## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

---

### CAPÍTULO IV – CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### CONCLUSIONES

Una vez culminado el proceso de adecuación de las presentaciones, se llega a distintas conclusiones:

- Con los nuevos Apuntes en Versión Digital, se espera que el alumno podrá profundizar en forma individual en los conocimientos impartidos en la materia “Pavimentos”, aun sin asistir presencialmente a las clases orales del Profesor.
- La ampliación de los apuntes permitirán al profesor darse mayor holgura al dictar las clases, ya que los alumnos tendrán acceso a las presentaciones y la posibilidad de prepararse con distintos puntos de vista a los del material original.

#### RECOMENDACIONES

En general, dadas las conclusiones a las que se llegó en este TEG, se recomienda lo siguiente:

- Actualizar en un futuro mediano los Apuntes de Pavimentos (versión digital) mediante la ampliación y/o corrección del producto de este TEG.
- Actualizar y llevar a versión digital el Volumen 3 de los Apuntes de Pavimentos (Diseño Estructural de Pavimentos), una vez que el Profesor haya concluido su actualización.





## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1) ARIAS, F. (2006). *El proyecto de investigación: introducción a la metodología científica*. Caracas: Editorial Episteme.
- 2) GARBER, N y HOEL, L (2005). *Ingeniería de Tránsito y Carreteras*. México: Thomson. Páginas 989, 1051
- 3) CORREDOR, G. (2008). *Apuntes de Pavimentos. Volumen 1*. Caracas: USM, UCAB.
- 4) CORREDOR, G. (2008). *Apuntes de Pavimentos. Volumen 2. Mezclas asfálticas. Materiales y diseño*. Caracas: USM, UCAB.
- 5) CORREDOR, G. (1990). *Apuntes de Pavimentos. Volumen 3*. Caracas: USM.
- 6) <http://www.biblioteca.uson.mx/digital/tesis/docs/4203/Capitulo5.pdf>
- 7) <http://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt246.pdf>
- 8) <http://www.amaac.org.mx/superpave.pdf>
- 9) [http://www.sovinciv.com/arch\\_pdf/COVENIN%20%202000-1-1987%20VIGENTE.PDF](http://www.sovinciv.com/arch_pdf/COVENIN%20%202000-1-1987%20VIGENTE.PDF)
- 10) [http://www.inveas.org.ve/data/documentos\\_inveas/boletines/Norma%201-70%28Repace%29.pdf](http://www.inveas.org.ve/data/documentos_inveas/boletines/Norma%201-70%28Repace%29.pdf)
- 11) [http://docs.google.com/View?id=dcds39h6\\_31hmj95pg3](http://docs.google.com/View?id=dcds39h6_31hmj95pg3)
- 12) [http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/nchrp/nchrp\\_rpt\\_464-a.pdf](http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/nchrp/nchrp_rpt_464-a.pdf)
- 13) <http://www.ncat.us/reports/rep97-06.pdf>
- 14) <http://ares.unimet.edu.ve/faces/fpag40/criterios.htm>