



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA
CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

**TEMA: GUÍA METODOLÓGICA PARA DISEÑO Y
CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS PARA EL ECUADOR**

AUTOR: PEREZ MIRANDA, VANESSA ESTEFANÍA

TUTOR: ING. MORALES BYRON

SANGOLQUÍ

2016

CERTIFICACIÓN



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, "GUÍA METOLÓGICA PARA DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS PARA EL ECUADOR", realizado por la Señorita **VANESSA ESTEFANÍA PEREZ MIRANDA**, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar a la Señorita **VANESSA ESTEFANÍA PEREZ MIRANDA** para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 6 de Junio del 2016

Ing. Byron Morales

DIRECTOR

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **VANESSA ESTEFANÍA PEREZ MIRANDA**, con cédula de identidad N° 1718328642, declaro que este trabajo de titulación "GUÍA METOLÓGICA PARA DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS PARA EL ECUADOR", ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaro que este trabajo es de mi autoría, en virtud de ello me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Sangolquí, 6 de Junio del 2016

VANESSA ESTEFANÍA PEREZ MIRANDA

C.C 1718328642

AUTORIZACIÓN



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

AUTORIZACIÓN

Yo, **VANESSA ESTEFANÍA PEREZ MIRANDA**, autorizo a las Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación "GUÍA METOLÓGICA PARA DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS PARA EL ECUADOR" cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

Sangolquí, 6 de Junio del 2016



VANESSA ESTEFANÍA PEREZ MIRANDA

C.C 1718328642

DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo a mis padres Washington Salvador y Betty Janneth por brindarme su amor y apoyo incondicional, a mi hermano Washington Enrique que ha sido mi amigo, mi confidente, mi norte y un gran ejemplo para mí. Gracias familia por su paciencia, apoyo y consejos que me han guiado en éste camino para alcanzar mi objetivo.

A mi esposo Francisco, porque en ésta nueva etapa de vida me ha tomado de la mano y no me ha dejado caer, desvelándose y madrugando conmigo para ir cada día en busca de mi sueño, que al casarnos pasó hacer nuestro sueño... Te amo.

Vanessa Estefanía Perez Miranda

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por todo lo que me ha dado en la vida, que me han ayudado a crecer a nivel personal y seguir adelante con mis proyectos de vida.

A mis padres y hermano quiénes han estado siempre conmigo dándome esas palabras de aliento, enseñándome cada día que nada es fácil en la vida, pero si lo deseas y luchas por lo que quieres, alcanzarás cada uno de tus objetivos.

A mi esposo Francisco Morales porqué desde el primer día que nos conocimos, me ha llenado de retos para crecer y me ha impulsado a cumplir mis sueños, convirtiéndose éste en el primero de muchos.

A mis abuelitas, tíos, primos, suegros, cuñados y sobrinos quiénes me han enseñado que no hay tesoro más grande para un ser humano que su familia... Ustedes son mi más grande tesoro.

A mis amigos Criss A., Eve D., Patricio Ch. y Juan H., gracias por cada momento compartido, unos de risas y otros de llanto, pero siempre han estado conmigo a cada paso. Gracias por brindarme su amistad.

A la Escuela Politécnica del Ejército, especialmente a la Carrera de Ingeniería Civil, a todos mis profesores por los conocimientos brindados a lo largo de la carrera, en especial a mi Director el Ing. Byron Morales por su apoyo incondicional en el desarrollo de mi proyecto de titulación.

Gracias a todos....

Vanessa Estefanía Perez Miranda

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	ii
AUTORIZACIÓN	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTOS	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vi
LISTADO DE TABLAS	xv
LISTADO DE FIGURAS	xix
RESUMEN	xxiii
ABSTRACT	xxiv
CAPITULO 1	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1 ANTECEDENTES	1
1.2 ÁREA DE INFLUENCIA	3
1.3 OBJETIVOS	4
1.3.1 Objetivo general	4
1.3.2 Objetivo específico	4
1.4 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA	5
CAPITULO 2	7
NORMAS Y DOCUMENTOS DE CONSULTA	7
2.1. ESPECIFICACIÓN DEL MATERIAL	7
2.2. ESPECIFICACIONES DE SERVICIOS	8
2.3. INSTRUCCIONES DE ENSAYO	11

2.4. MÉTODOS DE ENSAYO	12
CAPITULO 3.....	20
MATERIALES INCORPORADOS A OBRAS DE PAVIMENTACIÓN	20
3.1. M ATERIALES TERROSOS.....	20
3.1.1. Introducción.....	20
3.1.2. Origen de los suelos.....	21
3.1.2.1. Suelos Residuales.....	21
3.1.2.2. Suelos Transportados.....	22
3.1.2.2.1. Suelos Aluviales	24
3.1.2.2.2. Suelos Orgánicos	25
3.1.2.2.3. Suelos Coluviales	26
3.1.2.2.4. Suelos Eólicos	27
3.1.3. Descripción de los Suelos	28
3.1.4. Identificación de los Suelos	30
3.1.5. Propiedades Generales de los Suelos	31
3.1.5.1. Forma de las partículas	31
3.1.5.2. Índices Físicos.....	32
3.1.5.3. Propiedades Físicas y Mecánicas	34
3.1.6. Características de los Suelos.....	39
3.1.6.1. Granulometría.....	39
3.1.6.2. Límites de Consistencia.....	41
3.1.6.3. Índice de grupo.....	42
3.1.6.4. Equivalente de arena.....	43
3.1.6.5. Relación de Rodamiento de California	44

3.1.7. Compactación de los Suelos	45
3.1.8. Resiliencia de los Suelos	47
3.1.8.1. Módulo Resiliente de Suelos Granulares.....	48
3.1.8.2. Módulo Resiliente de Suelos Cohesivos.....	49
3.1.9. Clasificación de los Suelos.....	51
3.2. MATERIALES PÉTREOS.....	56
3.2.1. Definición	56
3.2.2. Clasificación	56
3.2.3. Características Tecnológicas	57
3.2.3.1. Conceptualización	57
3.2.3.2. Determinación de Características Fundamentales	58
3.2.3.2.1. Agregado Grueso	58
3.2.3.2.2. Agregado Fino.....	62
3.2.3.2.3. Material de Relleno.....	64
3.3. MATERIALES BITUMINOSOS.....	66
3.3.1. Generalidades.....	66
3.3.2. Cemento Asfáltico	66
3.3.3. Asfalto Diluido	67
3.3.4. Emulsión Asfáltica	67
3.3.5. Brea.....	68
3.3.6. Ensayos y Especificaciones	69
3.3.6.1. Cemento Asfáltico	69
3.3.6.1.1. Penetración	69
3.3.6.1.2. Espuma- Agua.....	70

3.3.6.1.3. Densidad Relativa	71
3.3.6.1.4. Solubilidad- Contenido Bituminoso.....	71
3.3.6.1.5. Punto de Inflamación.....	71
3.3.6.1.6. Ductilidad.....	72
3.3.6.1.7. Punto de Reblandecimiento	75
3.3.6.1.8. Contenido de Parafina.....	75
3.3.6.1.9. Viscosidad	76
3.3.6.2. Asfalto Diluido.....	79
3.3.6.2.1. Agua.....	79
3.3.6.2.2. Densidad Relativa	79
3.3.6.2.3. Destilación.....	79
3.3.6.2.4. Punto de Inflamación.....	82
3.3.6.2.5. Viscosidad	84
3.3.6.3. Emulsión Asfáltica	87
3.3.6.3.1. Carga de las partículas.....	87
3.3.6.3.2. Ensayo de pH.....	87
3.3.6.3.3. Tamizado.....	88
3.3.6.3.4. Sedimentación.....	89
3.3.6.3.5. Viscosidad	90
3.3.6.3.6. Mezclado con rellenos de Silicio – Ruptura.....	90
3.3.6.3.7. Destilación.....	92
3.3.6.3.8. Mezclado con cemento – Ruptura	93
3.3.6.3.9. Resistencia al agua	94
3.3.6.3.10. Desemulsificación.....	94

3.3.6.4. Brea	95
3.3.6.4.1. Fluctuación	95
3.3.6.4.2. Índice de Sulfonación	95
3.3.6.4.3. Viscosidad Engler.....	96
3.3.6.4.4. Ensayo de Agua	97
3.3.6.4.5. Destilación.....	97
3.3.6.4.6. Punto de Reblandecimiento	98
3.3.6.4.7. Solubilidad.....	98
3.3.6.4.8. Densidad Relativa	99
3.3.6.5. Utilización de Materiales Bituminosos en Servicios de Pavimentación.....	99
3.4. MATERIALES DIVERSOS	100
3.4.1. Aglomerantes Hidráulicos	101
3.4.1.1. Cal Hidráulica	101
3.4.1.1.1. Definición.....	101
3.4.1.1.2. Materias Primas y Fabricación	101
3.4.1.1.3. Especificaciones.....	102
3.4.1.2. Cemento Portland.....	102
3.4.1.2.1. Definición.....	102
3.4.1.2.2. Especificaciones.....	103
3.4.2. Aditivos para Concretos	104
3.4.2.1. Generalidades	104
3.4.2.2. Definición.....	104
3.4.2.3. Clasificación y Finalidades	104
3.4.2.3.1. Acelerantes	105

3.4.2.3.2. Incorporadores de aire	105
3.4.2.3.3. Material Puzolánicos	105
3.4.2.3.4. Retardantes	106
3.4.2.3.5. Plastificantes y Superplastificantes	106
CAPITULO 4.....	107
GENERALIDADES DE PAVIMENTOS	107
4.1. GENERALIDADES	107
4.2. CLASIFICACIÓN DE LOS PAVIMENTOS	107
4.2.1. Pavimento Flexible	108
4.2.2. Pavimento Rígido	109
4.3. BASES Y SUB-BASES FLEXIBLES Y SEMI-RÍGIDOS	110
4.3.1. Bases y Sub-bases Granulares.....	110
4.3.1.1. Estabilización Granulométrica	111
4.3.1.2. Macadames Hidráulico y Seco	112
4.3.2. Bases y Sub-bases estabilizadas (con aditivos)	112
4.3.2.1. Suelo – Cemento.....	112
4.3.2.2. Suelo mejorado con Cal	113
4.3.2.3. Suelo – Betún	114
4.3.2.4. Bases Bituminosas Diversas	115
4.4. BASES Y SUB-BASES RÍGIDAS.....	116
4.5. REVESTIMIENTOS.....	117
4.5.1. Revestimientos Flexibles Bituminosos	118
4.5.1.1. Revestimientos por Penetración	118
4.5.1.1.1. Revestimientos Bituminosos por Penetración Invertida....	118

4.5.1.1.2. Revestimientos Bituminosos por Penetración Directa	119
4.5.1.2. Revestimientos por Mezcla.....	119
4.5.2. Revestimientos Flexibles de Pavimentación	120
4.5.3. Pavimentos Fotocatalizadores	120
4.5.4. Revestimientos Rígidos.....	121
CAPITULO 5.....	122
PROYECTO EJECUTIVO.....	122
5.1. CONSIDERACIONES GENERALES	122
5.2. PROYECTO GEOMÉTRICO	123
5.2.1. Introducción.....	123
5.2.2. Elementos Geométricos	124
5.2.3. Sección Transversal del Pavimento	126
5.2.4. Replanteo del Eje	128
5.2.5. Sobreechancho	130
5.2.6. Peralte.....	132
5.3. PROYECTO DE PAVIMENTACIÓN.....	133
5.3.1. Estudio Geotécnico	134
5.3.1.1. Generalidades	134
5.3.1.2. Subrasante de Estudio	135
5.3.1.3. Estudio de materiales de Pavimentación.....	136
5.3.2. Dimensionamiento de Pavimentos	143
5.3.2.1. Pavimento Flexible – Método AASHTO 1993.....	147
5.3.2.2. Pavimento Flexible – Método Racional.....	149
5.3.2.3. Pavimentos Rígidos.....	150

5.4. PROYECTO DE DRENAJE.....	151
5.4.1. Generalidades.....	151
5.4.2. Condiciones de Drenaje	152
5.4.3. Cálculos de contribución de descargas para proyecto de Drenaje para Pavimentos.....	153
5.4.3.1. Elementos del Proyecto.....	153
5.4.3.2. Cálculos de contribución de descargas y capacidades de flujo para dispositivos de drenaje y su ubicación respectiva	156
5.4.3.2.1. Cálculo de Cunetas	156
5.4.3.2.2. Drenaje Subsuperficial	162
5.4.4. Dispositivos de Drenaje Estandarizado.....	164
CAPITULO 6.....	166
FUENTES DE MATERIALES, EQUIPOS E INSTALACIONES INDUSTRIALES.....	166
6.1. FUENTE DE MATERIALES	166
6.1.1. Fuente Central	166
6.1.2. Laboratorio	167
6.1.3. Almacenamiento.....	168
6.2. PLANTAS DE TRITURACIÓN.....	169
6.2.1. Introducción.....	169
6.2.2. Dimensionamiento.....	169
6.2.2.1. Producción Horaria Efectiva	169
6.2.2.2. Producción Horaria Nominal.....	170
6.2.2.3. Balance de Masas	171
6.2.2.4. Trituración Primaria	172

6.2.2.5. Trituración Secundaria.....	173
6.3. EXPLORACIÓN DE FUENTES DE MATERIALES	174
6.3.1. Investigación	174
6.3.2. Plan Ataque.....	175
6.3.3. Exploración	176
6.4. PLANTAS DE ASFALTO.....	177
6.5. EQUIPOS	178
6.5.1. Generalidades.....	178
6.5.2. Mantenimiento de Equipos.....	179
6.5.3. Constitución de Equipos.....	180
CAPITULO 7.....	186
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	186
CAPITULO 8.....	187
BIBLIOGRAFIA.....	187

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Estado Actual de las carreteras del Ecuador	2
Tabla 2. Textura y otras características del Suelo	29
Tabla 3. Tamices ASTM	40
Tabla 4. Clasificación del suelo de acuerdo al CBR	45
Tabla 5. Clasificación de materiales para subrasantes de carreteras..	53
Tabla 6. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S.)	55
Tabla 7. Especificaciones para cementos asfálticos. Clasificados por su viscosidad a 60°C.....	74
Tabla 8. Requisitos de cementos asfálticos, para los tipos comprendidos de 200 dmm a 20 dmm de penetración	74
Tabla 9. Requisitos de cementos asfálticos, para los tipos comprendidos de 220 dmm a 40 dmm de penetración	74
Tabla 10. Clasificación para los tipos comprendidos de 200 dmm a 20 dmm de penetración	76
Tabla 11. Clasificación para los tipos comprendidos de 220 dmm a 40 dmm de penetración	77
Tabla 12. Clasificación basada en el residuo del ensayo de película fina en horno rotatorio	77
Tabla 13. Requisitos de cementos asfálticos, para los tipos comprendidos de 200 dmm a 20 dmm de penetración	77

Tabla 14. Requisitos de cementos asfálticos, para los tipos comprendidos de 220 dmm a 40 dmm de penetración	78
Tabla 15. Requisitos para cemento asfáltico de viscosidad a 60 °C	78
Tabla 16. Normas para la determinación de viscosidad en cementos asfáltico	78
Tabla 17. Destilación de asfaltos diluidos de curado rápido	80
Tabla 18. Destilación de asfaltos diluidos de curado medio.....	81
Tabla 19. Destilación de asfaltos diluidos de curado lento.....	81
Tabla 20. Temperatura corregida para fracciones de destilado a distintas altitudes	82
Tabla 21. Especificaciones de Asfaltos diluidos-Curado Rápido.....	83
Tabla 22. Especificaciones de Asfaltos diluidos-Curado Medio.....	83
Tabla 23. Especificaciones de Asfaltos diluidos-Curado Lento	84
Tabla 24. Viscosidad más frecuente exigida a los asfaltos cortados de fraguado medio para ser usados en estabilizaciones.....	84
Tabla 25. Viscosidad más frecuente exigida a los asfaltos cortados de fraguado medio para ser usados en estabilizaciones.....	85
Tabla 26. Aceptabilidad de resultados para viscosidad cinemática	85
Tabla 27. Viscosidad de asfaltos diluidos de curado rápido	86
Tabla 28. Viscosidad de asfaltos diluidos de curado rápido	86
Tabla 29. Viscosidad de asfaltos diluidos de curado rápido	86
Tabla 30. Tamaños mínimos de muestras recomendados.....	89

Tabla 31. Nomenclatura de una Emulsión a partir de su Polaridad y Velocidad de Rotura	91
Tabla 32. Clasificación de una Emulsión a partir del Tipo de Rotura ..	91
Tabla 33. Especificaciones de Emulsión Asfáltica Catiónica-Destilación	93
Tabla 34. Especificaciones de Emulsión Asfáltica Aniónica-Destilación	93
Tabla 35. Aplicaciones de los productos bituminosos.....	100
Tabla 36. Límites granulométricos para agregados estabilizados con Cemento Portland.....	113
Tabla 37. Límites granulométricos para agregados estabilizados con Cal.....	114
Tabla 38. Valores de diseño recomendados para carreteras de Clase I- II- III	126
Tabla 39. Valores de diseño recomendados para carreteras de Clase IV - V	126
Tabla 40. Gradiente Longitudinal (i) necesaria para el desarrollo del peralte.....	133
Tabla 41. Granulometría para Superficie de Grava - Arcilla	137
Tabla 42. Granulometría para Agregados no tratados	137
Tabla 43. Granulometría para Sub-base de Agregados.....	139
Tabla 44. Granulometría para Base de Agregados estabilizados con Cemento Portland.....	141

Tabla 45. Granulometría para Base de Agregados estabilizados con Cal.....	141
Tabla 46. Granulometría para Base de Suelo - Cemento.....	142
Tabla 47. Clasificación de Maquinaria Pesada	178
Tabla 48. Rubros de la Estructura del Pavimento.....	180

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Material Terroso	20
Figura 2. Esquema general de una ladera en un suelo residual de granito	21
Figura 3. Tipos de deslizamiento en suelos residuales	22
Figura 4. Procesos diagenéticos	24
Figura 5. Suelos Aluviales.....	25
Figura 6. Suelos Coluviales	27
Figura 7. Suelos Eólicos	28
Figura 8. Formas típicas de partículas granulares	32
Figura 9. (a) Elemento de suelo en estado natural; (b) tres fases del elemento de suelo	33
Figura 10. Resistencia al corte	37
Figura 11. Curvas granulométricas típicas.....	39
Figura 12. Límites de Atterbeg.....	42
Figura 13. Efecto de la compactación en la estructura del suelo.....	47
Figura 14. Módulos de resiliencia obtenidos en seis tipos de agregados	49
Figura 15. Criterios de Clasificación de los áridos	57
Figura 16. Esquema de Ensayo de Penetración.....	70
Figura 17. Datos de precisión	73

Figura 18. Ensayo de Carga de Partículas	87
Figura 19. Muestra de Emulsión sometida al PHmetro	88
Figura 20. Medición del Índice de Rotura	92
Figura 21. Ensayo anillo y bola	98
Figura 22. Aparato de filtración	99
Figura 23. Estructura típica de un pavimento flexible	108
Figura 24. Estructura típica de un pavimento rígido	110
Figura 25. Sección típica estándar para autopistas de cuatro carriles con parterre central	128
Figura 26. Elementos de la Curva Circular Simple	129
Figura 27. Esquema para determinar el sobrecancho de un carril de tránsito en una curva	131
Figura 28. Actividades pertenecientes a un proyecto	134
Figura 29. Actividades de un sistema administrativo de pavimento ...	143
Figura 30. Diagrama esquemático de diseño	144
Figura 31. Proceso de diseño de pavimentos flexibles	145
Figura 32. Proceso de diseño de pavimentos rígidos	146
Figura 33. Diseño de pavimento flexible – Método AASHTO-93	147
Figura 34. Proceso de diseño de pavimentos nuevos y su refuerzo ..	148
Figura 35. Diseño de pavimento flexible – Método Racional	149
Figura 36. Diseño de pavimento rígido – Método AASHTO 93	150

Figura 37. Drenaje de Pavimento.....	152
Figura 38. Condiciones de drenaje.....	153
Figura 39. Secciones típicas de cunetas	157
Figura 40. Dimensiones típicas de cunetas triangulares	157
Figura 41. Reducción de la pendiente de la cuneta mediante caídas .	160
Figura 42. Disposición más conveniente de la cuneta respecto al pavimento.....	161
Figura 43. Calificación del drenaje interno de un pavimento.....	164
Figura 44. Elementos del Sistema de Drenaje Interno.....	165
Figura 45. Fuente Central	166
Figura 46. Laboratorio	167
Figura 47. Almacenamiento de Agregados.....	168
Figura 48. Introducción a las Plantas de Trituración.....	169
Figura 49. Balance de Masas	171
Figura 50. Trituración Primaria	172
Figura 51. Trituración Secundaria	173
Figura 52. Exploración de la Mina	174
Figura 53. Plan de Ataque	175
Figura 54. Exploración de la Mina	176
Figura 55. Plantas de Asfalto	177

Figura 56. Mantenimiento de Equipos 179

RESUMEN

Ecuador no cuenta con un Manual para el diseño y construcción de pavimentos que permita a los profesionales llevar el proceso de manera eficaz, razón por la cual se presenta el proyecto “Guía Metodológica de diseño y construcción de pavimentos para el Ecuador”. Donde se encontrará: la normativa que se requiere seguir para la caracterización de los materiales usados para la estructura del pavimento, conocer el tipo y características de suelo que tenemos cómo subrasante; las especificaciones y técnicas de construcción relacionados con la pavimentación de carreteras, el establecimiento de conceptos y la definición de criterios que se establezcan para las distintas fases de la estructura. Tener presente el método de diseño de pavimentos más usado en el país y la nueva tendencia de diseño que es el Método Racional dónde se considera los módulos resilientes y dinámicos de los materiales de la estructura del pavimento; también contando con la importancia del diseño geométrico, tanto del sobreebanco y peralte; el drenaje para carreteras va de la mano para ayudar que nuestro diseño cumpla con su vida útil; proporcionando al usuario de nuestra vía una mayor seguridad y confiabilidad al manejar su vehículo dentro de una calzada que cuenta con un buen diseño geométrico, diseño de pavimento y drenaje.

Palabras clave:

- **GUÍA METODOLÓGICA**
- **PAVIMENTOS**
- **DRENAJE DE PAVIMENTOS**

ABSTRACT

Ecuador does not have a manual for the design and construction of pavements that allow professionals to take the process effectively, which is why the project "Methodological Guide design and construction of pavements for Ecuador" is presented. Where you will find: the rules required to follow for the characterization of the materials used for the pavement structure, determine the type and characteristics of how we subgrade soil; specifications and construction techniques related to road paving, establishing concepts and defining criteria established for the various phases of the structure. Keep in mind the pavement design method most used in the country and the new design trend that is where the Rational Method is considered resilient and dynamic modulus of the materials of the pavement structure; also counting on the importance of geometric design, widening and camber; drainage for roads goes hand in hand to help our design meets life; providing the user via our greater security and reliability in handling your vehicle in a roadway that has a good geometric design, pavement and drainage.

Key words:

- **METHODOLOGICAL GUIDE**
- **PAVEMENT**
- **PAVEMENT DRAINAGE**

CAPITULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

De acuerdo al artículo de la revista Arkiplus Construcción (Agosto, 2013): Se estima que fue en el 3000 a.C. que el Imperio Hilita (en la península de Antonia) construyó los primeros caminos a suelo firme. Otro antecedente destacado son los caminos que realizaron los esclavos egipcios alrededor de las pirámides.

Durante el siglo XIX, Inglaterra fue pionera en implementar leyes de pavimentación, con la creación del Comisionado de Pavimentación, dependiente del Parlamento del Reino Unido. Su tarea se remitía al cuidado y mejora de la red vial.

El uso de los pavimentos rígidos se dio en Estados Unidos, debido a la necesidad del país del Norte de caminos y rutas transitables para el transporte masivo. El crecimiento demográfico experimentado durante el siglo XIX procuraba nuevas vías de transporte.

El experimento de Carreteras de la AASHTO fue realizado para estudiar el rendimiento de las estructuras pavimentadas de espesor conocido bajo cargas móviles de magnitudes y frecuencias conocidas. Este estudio, llevado a cabo desde los años 1950 en Ottawa (Illinois) es frecuentemente la primera fuente de información de datos experimentales relativos al daño que producen los vehículos en las carreteras, para el propósito de diseñar la carretera, evaluar el coste y la rentabilidad de una vía.

Los resultados de los experimentos se usaron para desarrollar la guía de diseño de pavimentos, cuya primera edición salió en 1961, con reediciones

mejores en 1972 y 1993. Una nueva guía, lanzada en 2002, es la primera guía de diseño que no se basaría en los resultados del AASHTO Road Test.

A partir del siglo XX, la aviación se desarrolla a gran velocidad, por lo que es necesaria la construcción de pistas que soporten el peso de las aeronaves. El primer aeropuerto se construye en Ámsterdam (Holanda) en 1912. Se encuentran nuevas técnicas en el desarrollo de nuevas carreteras, que mejoran la adherencia y la capacidad de drenaje ante situaciones climáticas adversas.

De acuerdo al Ministerio de Transporte y Obras Públicas se tiene el siguiente estado en las carreteras del Ecuador:

Tabla 1.
Estado Actual de las carreteras del Ecuador

SUBSECRETARIA DE INFRAESTRUCTURA DEL TRANSPORTE DIRECCION DE CONSERVACION DEL TRANSPORTE FECHA: 31-agosto-2015					
PROVINCIA	LONGITUD (Km)	ESTADO (Km)			
		BUENO	REGULAR	MALO	TOTAL
REGION 1					
Esmeraldas	512,64	285,72	226,92	-	512,64
Carchi	329,86	142,44	157,42	30,00	329,86
Imbabura	159,59	159,59	-	-	159,59
Sucumbios	637,01	139,23	411,17	86,61	637,01
REGION 2					
Pichincha	553,12	308,86	244,26	-	553,12
Napo	322,25	133,71	118,23	70,31	322,25
Orellana	234,64	107,51	107,13	20,00	234,64
REGION 3					
Cotopaxi	238,34	222,09	16,25	-	238,34
Tungurahua	218,71	212,30	-	6,42	218,71
Chimborazo	456,58	431,21	12,36	13,01	456,58
Pastaza	139,27	137,27	2,00	-	139,27
REGION 4					
Santo Domingo	242,09	214,09	24,00	4,00	242,09
Manabí	141,77	1008,78	79,41	53,58	1141,77
REGION 5					
Guayas	822,13	777,86	44,27	-	822,13
Los Ríos	321,15	321,15	-	-	321,15

CONTINÚA 

SUBSECRETARIA DE INFRAESTRUCTURA DEL TRANSPORTE					
DIRECCION DE CONSERVACION DEL TRANSPORTE					
FECHA: 31-agosto-2015					
PROVINCIA	LONGITUD (Km)	ESTADO (Km)			
		BUENO	REGULAR	MALO	TOTAL
REGION 5					
Santa Elena	161,65	161,65	-	-	161,65
Bolívar	311,93	274,40	37,53	-	311,93
Galápagos	38,00	-	38,00	-	38,00
REGION 6					
Cañar	299,73	287,23	12,50	-	299,73
Azuay	558,11	453,65	104,46	-	558,11
Morona Santiago	603,05	262,08	272,47	68,50	603,05
REGION 7					
Loja	757,97	536,74	70,62	150,61	757,97
El Oro	400,94	320,09	80,85	-	400,94
Zamora Chinchipe	276,38	152,64	123,74	-	276,38
TOTAL NACIONAL	<u>9736,90</u>				
	TOTAL PARCIAL	<u>7050,28</u>	<u>2183,58</u>	<u>503,04</u>	<u>9736,90</u>
	PORCENTAJE	<u>72,41%</u>	<u>22,43%</u>	<u>5,17%</u>	<u>100,00%</u>

1.2 ÁREA DE INFLUENCIA

De acuerdo al Plan Maestro de Vialidad del Ministerio de Transporte y Obras Públicas (Octubre, 2002) dónde nos dice que la Red Vial Nacional está integrada por la Red Vial Estatal (vías primarias y vías secundarias), la Red Vial Provincial (vías terciarias), y la Red Vial Cantonal (caminos vecinales).

La Red Vial Estatal está integrada por las vías primarias y secundarias. El conjunto de vías primarias y secundarias son los caminos principales que registran el mayor tráfico vehicular, intercomunican a las capitales de provincia, cabeceras de cantón, los puertos de frontera internacional con o sin aduana y los grandes y medianos centros de actividad económica. La longitud total de la Red Vial Estatal es de aproximadamente 9660 km de carretera.

Las vías primarias, o corredores arteriales, comprenden rutas que conectan cruces de frontera, puertos, y capitales de provincia formando una malla estratégica. Su tráfico proviene de las vías secundarias, debe poseer una alta movilidad, accesibilidad controlada, y estándares geométricos adecuados. En total existen 12 vías primarias en Ecuador con aproximadamente un 66% de la longitud total de la Red Vial Estatal.

Las vías secundarias, o vías colectoras incluyen rutas que tienen como función recolectar el tráfico de una zona rural o urbana para conducirlo a las vías primarias. En total existen 43 vías secundarias en Ecuador con aproximadamente un 33% de la longitud total de la Red Vial Estatal.

Lo que comprende a la Red que encontramos en las cuatro regiones del país, que son: Costa, Sierra, Oriente e Insular.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general

Realizar una guía metodológica para el diseño y construcción de pavimentos, basándose en normativas aplicables, y en las experiencias de constructoras y consultoras para que sea aplicado a la realidad del Ecuador.

1.3.2 Objetivo específico

- Recopilar información referente a los materiales a usarse en el diseño de pavimentos que son de suma importancia para el perfecto funcionamiento del pavimento.
- Recopilar información acerca de generalidades de los pavimentos para tener claro los tipos, clasificación y las diversas capas que conforman la estructura del pavimento.
- Estructurar los pasos de un proyecto ejecutivo desde la parte del diseño vial que influye para el diseño del pavimento hasta un diseño de drenajes.

1.4 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

Debido a la variedad de bibliografía existente para el diseño y construcción de pavimentos, es necesario realizar una recopilación de información, estructurarla de tal manera que se pueda diferenciar los cambios que existe para el diseño de pavimentos entre la AASHTO 93 y AASHTO 2002, la cual usa los métodos mecanistas; la caracterización del material de acuerdo a lo que se tiene en el medio, ensayos de laboratorio que se realizan en obra, y su proceso constructivo de acuerdo a la realidad del país.

Con el Plan Estratégico de Movilidad 2013-2037 se quiere tener 13 500 Km de Red Vial Estatal total constituida por:

- 2.300 km de Red (interurbana) de Alta Capacidad
- 550 km de Red (urbana y periurbana) de Alta Capacidad
- 6.000 km de Red de Mediana Capacidad (2.250 + 3.750)
- 3.100 km de Conectores Regionales Complementarios
- 1.550 km de Caminos Básicos de Integración Territorial

Por lo tanto es necesario incrementar el porcentaje de vías construidas con la nueva metodología, una nueva red comprendida entre:

- Un sistema **vial** completo (estatal, provincial, ...) mallado y jerarquizado
- Un sistema **portuario** reordenado y con capacidad suficiente
- Un sistema **aeroportuario** especializado
- Una red estatal de equipamientos **logísticos**
- Un **ferrocarril** del siglo XXI para el siglo XXI

De acuerdo al Plan Estratégico de Movilidad 2013-2037 existe cuestiones pendientes cómo: la modificación de los métodos de trabajo donde todavía existen muchas debilidades en todos los modos (la definición técnica; la información de base; la priorización).

Según la Ing. Paola Carvajal Ayala Ministra de Transporte y Obras Públicas “La transformación de vías, puertos y aeropuertos se ha convertido en una importantísima carta de presentación Nacional”

CAPITULO 2

NORMAS Y DOCUMENTOS DE CONSULTA

2.1. ESPECIFICACIÓN DEL MATERIAL

Asfaltos diluidos

- ASTM D 2026
- AASHTO M 81 y M 82
- MOP-001-F-2002. Cap. 800. Sección 810-3
- NTE INEN 917

Brea para pavimentación

- ASTM D 1665, D 139, D 70, D 95
- MOP-001-F-2002. Cap. 800. Sección 810
- NTE INEN 2064

Emulsiones asfálticas

- ASTM D 977
- AASHTO M 208-01 y M 140-13
- MOP-001-F-2002. Cap. 800. Sección 810-4

Agregado grueso para concreto de cemento

- ASTM C 33
- NTE INEN 872, 857
- MOP-001-F-2002. Cap. 800. Sección 803-2

Agregado fino para concreto de cemento

- ASTM C 33
- NTE INEN 872
- MOP-001-F-2002. Cap. 800. Sección 803-3

Emulsiones asfálticas catiónicas

- ASTM D 2397
- AASHTO M 208
- MOP-001-F-2002. Cap. 800. Sección 810-4
- NTE INEN 2062

Cementos asfálticos de petróleo

- ASTM 0-946
- ASTM D 445
- MOP-001-F-2002. Cap. 800. Sección 810-2
- NTE INEN 237

2.2. ESPECIFICACIONES DE SERVICIOS

Sub-base estabilizada granulométricamente

- AASHTO T 11 y T 27
- MOP-001-F-2002. Cap. 800. Sección 816
- MOP-001-F-2002. Cap. 400. Sección 403
- NTE INEN 697

Base estabilizada granulométricamente

- AASHTO T 11 y T 27
- MOP-001-F-2002. Cap. 800. Sección 814
- MOP-001-F-2002. Cap. 400. Sección 404-1

- NTE INEN 697 y 697

Base de suelo mejorado con cemento

- ASTM C 595
- NTE INEN 2060
- MOP-001-F-2002. Cap. 400. Sección 404-2
- MOP-001-F-2002. Cap. 800. Sección 815

Base de suelo – cemento

- AASHTO T 304
- MOP-001-F-2002. Cap. 400. Sección 404-6
- MOP-001-F-2002. Cap. 800. Sección 815-2

Imprimación

- ASTM D 2027
- MOP-001-F-2002. Cap. 400. Sección 405-1

Pintura de ligación

- AASHTO M 81 y M 82
- ASTM D 2026
- AASHTO M 140 y M 208
- MOP-001-F-2002. Cap. 400. Sección 405-2

Tratamiento superficial

- AASHTO T 308
- MOP-001-F-2002. Cap. 400. Sección 405-3

Arena - asfalto en caliente

- ASTM D 2419
- AASHTO T 176

- MOP-001-F-2002. Cap. 800. Sección 811

Concreto asfáltico en caliente

- AASHTO T 209
- ASTM D 2872
- MOP-001-F-2002. Cap. 800. Sección 810-2

Lechada asfáltica

- ASTM D 2172
- MOP-001-F-2002. Cap. 400. Sección 405-7

Pavimento de concreto con cemento portland

- AASHTO T 119
- MOP-001-F-2002. Cap. 400. Sección 405-8

Base de Hormigón asfáltico mezclado en sitio

- MOP-001-F-2002. Cap. 400. Sección 404-4
- NTE INEN 917
- AASHTO M 81 y M 82
- ASTM D 2026

Base de Hormigón asfáltico mezclado en planta

- MOP-001-F-2002. Cap. 400. Sección 404-5

Premezclado con emulsión asfáltica en frío

- ASTM-D 244
- AASHTO T 59
- MOP-001-F-2002. Cap. 800. Sección 810-4
- MOP-001-F-2002. Cap. 400. Sección 405-7

Levantamiento de testigos de las condiciones de la superficie de la carretera de pavimentos rígidos y semi-rígidos a nivel de red

- ASTM C 42
- AASHTO T 24

Recuperación de pavimento en sitio

- MOP-001-F-2002. Cap. 400. Sección 406-2

Recuperación de Pavimentos con asfáltico expandido en sitio

- MOP-001-F-2002. Cap. 400. Sección 406-6
- NTE INEN 860, 691, 692 y 696
- AASHTO T 180

Concreto asfáltico reciclado en planta fija

- AASHTO M 140 y M 208
- NTE INEN 860, 691 Y 692
- MOP-001-F-2002. Cap. 400. Sección 406-3

2.3. INSTRUCCIONES DE ENSAYO

Tomado de muestras de mezclas bituminosas

- AASHTO T 168
- ASTM D 979

Suelos cohesivos – determinación de compresión simple de muestras inalteradas

- AASHTO T 208
- ASTM D 2166

Suelos – consolidación

- ASTM D 4186
- ASTM D 2435
- AASHTO T 216

2.4. MÉTODOS DE ENSAYO

Material asfáltico – determinación del efecto de calor y el método de película delgada

- ASTM D 2872
- AASHTO T 240

Emulsión asfáltica – Carga de partículas

- AASHTO T 59
- NTE INEN 908
- MOP-001-F-2002. Cap. 800. Sección 810-4.03

Materiales bituminosos – Determinación de la penetración

- AASHTO T 49
- NTE INEN 917
- MOP-001-F-2002. Cap. 800. Sección 810-4.03

Materiales bituminosos – Determinación de la viscosidad

- AASHTO T 201 y T 202
- AASHTO T 72
- MOP-001-F-2002. Cap. 800. Sección 810-4.03

Emulsión asfáltica - Determinación de tamizado

- AASHTO T 59

- ASTM D 244
- NTE INEN 906
- MOP-001-F-2002. Cap. 800. Sección 810-4.03

Emulsión asfáltica - Determinación de la sedimentación

- AASHTO T 59
- NTE INEN 910
- MOP-001-F-2002. Cap. 800. Sección 810-4.03

Emulsión asfáltica - Determinación de ruptura – método de mezcla con cemento

- AASHTO T 59
- NTE INEN 904
- MOP-001-F-2002. Cap. 800. Sección 810-4.03

Asfalto diluido – destilación

- AASHTO T 78
- NTE INEN 921
- MOP-001-F-2002. Cap. 800. Sección 810-4.03

Pavimento - Determinación de deflexiones por viga Benkelman

- AASHTO T 256

Agregados - Determinación de abrasión “Los Ángeles”

- ASTM C 131
- NTE INEN 860
- AASHTO T-96

Suelos – Preparación de muestras para las pruebas de caracterización

- AASHTO T 87

- NTE INEN 688

Ensayo Marshall para mezclas bituminosas

- AASHTO T 245
- ASTM D 1559

Exploración geofísica mediante el método de sísmica de refracción

- ASTM D 5777

Concreto – Conformación y curado cuerpos de la probeta prismática - cilíndrica

- NTE INEN 1576
- ASTM C 31

Suelos - Determinación del Índice de Apoyo de California utilizando muestras no trabajadas

- ASTM D 4429
- ASTM D 1883

Suelos – Análisis de granulometría

- ASTM D 422

Mezclas bituminosas - porcentaje de betún

- ASTM 2172
- AASHTO T 164A

Equivalente de arena

- ASTM D 2419
- AASHTO T 176

Emulsiones asfálticas – Determinación de la resistencia al agua (adhesividad)

- ASTM D 244
- NTE INEN 903

Agregado grueso – Adherencia al ligante bituminoso

- ASTM D 1664

Agregado grueso – Determinación de la densidad

- NTE INEN 857
- ASTM C 127

Suelos – Determinación del límite plástico

- NTE INEN 692
- ASTM D 424
- AASHTO T 90

Agregados - determinación de índice de forma

- ASTM D 4791
- ASTM D 5821

Suelos – Determinación de factores de contracción

- ASTM D 427

Suelos – Determinación de la humedad

- ASTM D 2216
- NTE INEN 690

Agregados – Evaluación de la durabilidad mediante el uso de solución de sodio o sulfato de magnesio

- ASTM C88
- NTE INEN 863

Concreto – Conformación y curado de cuerpos de probeta cilíndricos

- ASTM C 31
- NTE INEN 1576

Suelos – Densidad de campo – Método de Cono y Arena

- ASTM D 1556

Mezcla bituminosa a frío con emulsión asfáltica – Ensayo Marshall

- AASHTO T 245

Mezcla bituminosa – Determinación de la densidad aparente

- ASTM D 2041
- AASHTO T 209

Suelos – Determinación del límite líquido – Método de Casa Grande

- ASTM D 4318
- AASHTO T 89
- NTE INEN 691

Suelos – Compactación – Método Proctor

- ASTM D 1557 y D 698
- AASHTO T 99 y T 180

Suelos – Determinación del módulo resiliente

- AASHTO T 274 y T 307

Mezcla bituminosa – Determinación del módulo resiliente

- ASTM D 7369
- AASHTO TP 31

Mezcla bituminosa – Determinación de la resistencia a la tracción por compresión diametral

- ASTM D 4123

Mezcla bituminosa- Determinación de los puntos de inflamación y combustión (vaso abierto de Cleveland)

- AASHTO T 48
- ASTM D 92

Emulsiones asfálticas - Determinación del pH

- ASTM E 70

Petróleo y otros materiales bituminosos – Determinación de agua (método de destilación)

- ASTM D 95

Asfalto – Determinación de la viscosidad cinemática

- ASTM D 445 y D 2170

Agregado en estado suelto – Determinación de densidad aparente

- NTE INEN 856 y 857
- ASTM C 127 y C 128

- AASHTO T 85 y T 84

Agregado en estado compactado seco – Determinación de la unidad de masa

- NTE INEN 858
- ASTM C 138
- AASHTO T 19

Materiales bituminosos – Determinación de la ductilidad

- ASTM D 113
- AASHTO T 51

Suelo estabilizado con cenizas volantes y cal hidratada – Determinación de la resistencia a la compresión simple

- ASTM D 5102

Suelo estabilizado con ceniza volante y cal hidratada – Determinación de la resistencia a la compresión – tracción diametral

- ASTM C 496

Agregados – Determinación de hinchazón del agregado fino

- AASHTO T 258

Productos bituminosos líquidos y semi-sólidos – Determinación de la densidad

- ASTM D 70
- AASHTO T 228

Agregados – Determinación del contenido total de humedad por secado en agregado grueso

- AASHTO T 255
- ASTM C 566
- NTE INEN 862

Suelo – cementos – Cuerpo de compresión axial de la probeta cilíndrica

- ASTM D 1633

Suelo – cemento – Determinación de la vida útil a través de la pérdida de masa por humectación y secado

- ASTM D 559

Suelo – cemento – Determinación de la relación entre el contenido de humedad y densidad aparente

- ASTM D 558

CAPITULO 3

MATERIALES INCORPORADOS A OBRAS DE PAVIMENTACIÓN

3.1. MATERIALES TERROSOS

3.1.1. Introducción

Roca y Material de suelo se forman por la deposición originada por uno o más procesos geológicos ocurridos en la superficie de la tierra.

En planetas como la Tierra y Marte la roca madre se desintegra debido a efectos combinados del intemperismo por cambios de temperatura incluyendo evaporación, congelación y al movimiento del agua y a los vientos. El intemperismo actúa sobre los materiales cercanos a la superficie de forma física y química ocasionando desintegración de las partículas de roca en tamaños más pequeños. La desintegración física ocurre por la congelación y fusión del agua, cambios de temperatura, erosión, y la actividad de las plantas y animales incluyendo al hombre. (Covo, 2003)



Figura 1. Material Terroso

Fuente: (García, 2015)

3.1.2. Origen de los suelos

Según Covo (2003), los suelos naturales se clasifican de una manera amplia como suelos residuales o suelos transportados.

3.1.2.1. Suelos Residuales

Son formados por meteorización in situ y permanecen en el sitio de deposición. Esto ocurre principalmente en zonas tropicales que no han sido sometidas a glaciaciones. Un ejemplo común son las lateritas, depósitos ricos en aluminio y hierro que se encuentran en América del Sur, partes de África, India y Australia. (Covo, 2003)

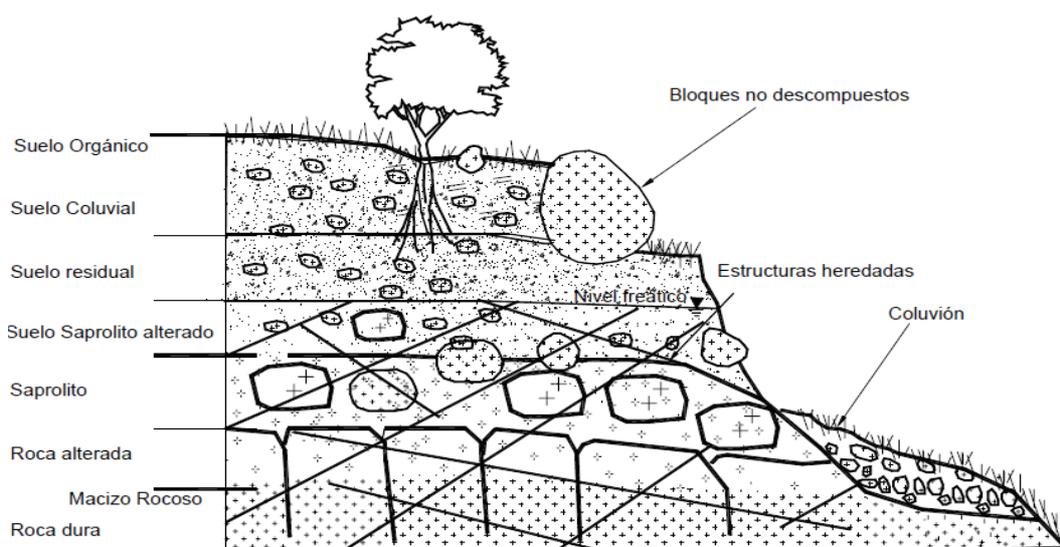


Figura 2. Esquema general de una ladera en un suelo residual de granito

Fuente: (Suárez, 2012)

Como características de los suelos residuales de acuerdo a Suárez (2012) pueden mencionarse las siguientes:

- No pueden considerarse aislados del perfil de meteorización, del cual son solamente una parte componente. Para definir su comportamiento

y la posibilidad de ocurrencia de deslizamientos, pueden ser más importantes las características del perfil que las propiedades del material en sí.

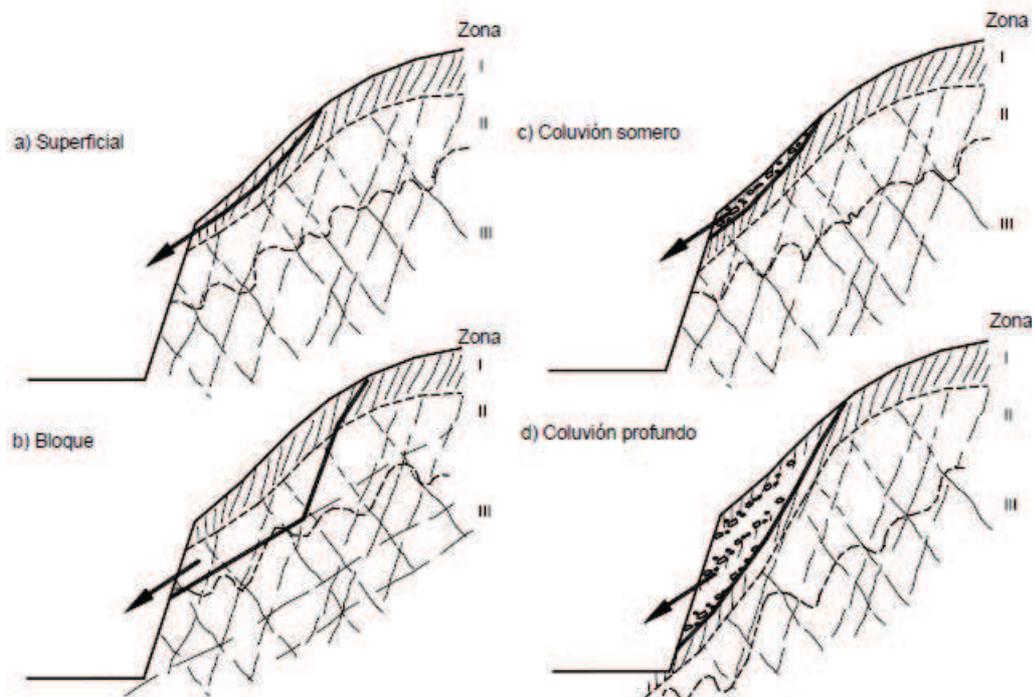


Figura 3. Tipos de deslizamiento en suelos residuales

Fuente: (Suárez, 2012)

- Son generalmente muy heterogéneos y difíciles de muestrear y ensayar.
- Comúnmente, se encuentran en estado húmedo no saturado, lo cual representa una dificultad para evaluar su resistencia al corte.
- Generalmente, poseen zonas de alta permeabilidad, lo que los hace muy susceptibles a cambios rápidos de humedad y saturación.

3.1.2.2. Suelos Transportados

Son desplazados desde su lugar de deposición y colocados en otros sitios. Los principales agentes de transporte son el agua, el hielo y el viento. El tamaño y forma de las partículas de un depósito de suelo transportado

con frecuencia están determinados por el agente de transporte y el modo como se forman los depósitos. (Covo, 2003)

Según Alda (2014) la transformación de los materiales transportados en rocas consolidadas incluye dos conjuntos de procesos:

- La **sedimentogénesis** consiste en la transformación de los materiales transportados en un sedimento. Incluye procesos físicos (existencia de corrientes, radiación solar), químicos (disolución, precipitación) y biológicos.
- La **diagénesis** es el conjunto de procesos físicos, químicos y biológicos que transforman los sedimentos en rocas propiamente dichas. La diagénesis se extiende desde el momento en que se produce el depósito de los materiales hasta que se inicia su metamorfismo o vuelven a quedar expuestos a la erosión.

Procesos diagenéticos

Los cambios que sufren los materiales durante la diagénesis son complejos, y pueden producirse independientemente o combinados entre sí, lo que da lugar a rocas con una gran variabilidad en sus características. Los fenómenos más importantes que tienen lugar según Alda (2014) son los siguientes:

- **Compactación mecánica:** es la pérdida de volumen de los sedimentos como resultado de su enterramiento bajo otros sedimentos, que expulsa el agua contenida en los poros del sedimento. Su intensidad depende del tamaño de grano del sedimento, de su contenido en arcillas o materia orgánica o de la orientación preferente de sus cristales.
- **Cementación:** los poros del sedimento se rellenan de una solución acuosa que precipita dejando un material fino, el cemento, que consolida sus fragmentos y aumenta la dureza de la roca. Se conocen

aproximadamente unos veinte tipos de cementos diferentes que condicionan las propiedades de las rocas en las que aparecen.

- **Disolución:** algunos de los minerales que forman la roca se disuelven, dejando espacios en su interior (porosidad secundaria). La relación entre la porosidad primaria (la que existía originalmente en el sedimento) y la secundaria da una idea de la madurez de la diagénesis.
- **Reemplazamiento:** un mineral es sustituido por otro mediante disolución y precipitación, pero sin que el sedimento cambie de volumen.
- **Recristalización:** se produce la formación de nuevos cristales de la misma composición que los iniciales, pero de distinta forma y tamaño.

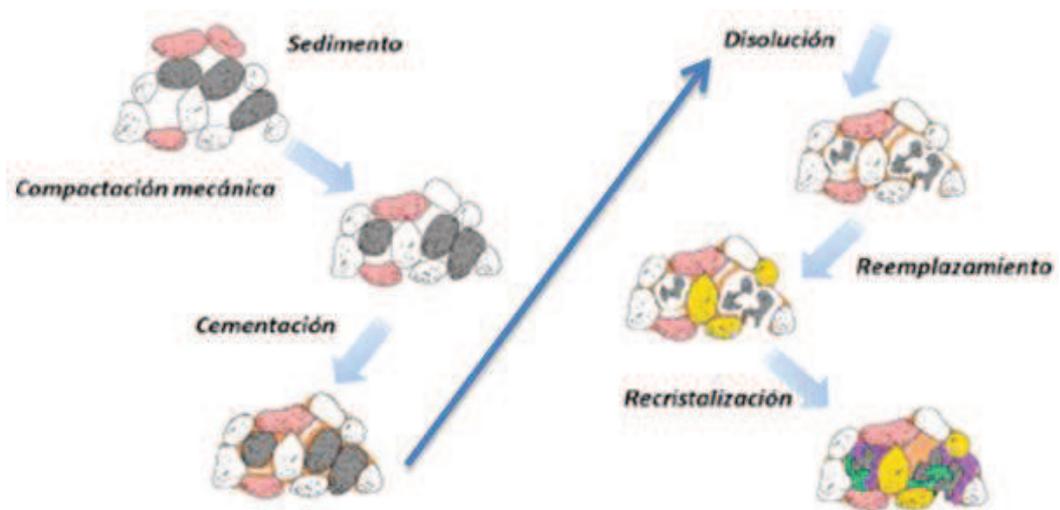


Figura 4. Procesos diagenéticos

Fuente: (Alda, 2014)

3.1.2.2.1. Suelos Aluviales

Los suelos aluviales son suelos de origen fluvial, poco evolucionados aunque profundos. De acuerdo con Covo (2003) la formación del depósito comienza en el curso medio del río ya que la velocidad del flujo y la capacidad de transporte disminuyen. Primero se forman los depósitos de grava de río, seguidos aguas abajo por las arenas de río y luego, en el curso

bajo del río, donde el movimiento es lento por arenas finas aluviales y limos aluviales. Los suelos depositados por ríos y corrientes de agua se denominan en general aluviales.

De acuerdo con Crespo (2004) el agua en movimiento es un importante elemento de erosión, al arrastrar fragmentos angulosos de las rocas y provocar la fricción de unos con otros, haciéndolos redondeados como los cantos rodados de los ríos. El agua también deja sentir sus efectos cuando, en forma de lluvia, cae en las superficies pétreas, llena sus cavidades, abre grietas y tiende a llenar los espacios huecos de las rocas; si entonces se congela, ejerce fuerte poder de fracturación en la roca que la encierra, y se produce la desintegración en un corto periodo de tiempo. El impacto directo del agua sobre las rocas, como el que provoca el oleaje, también es causa de erosión de las mismas.

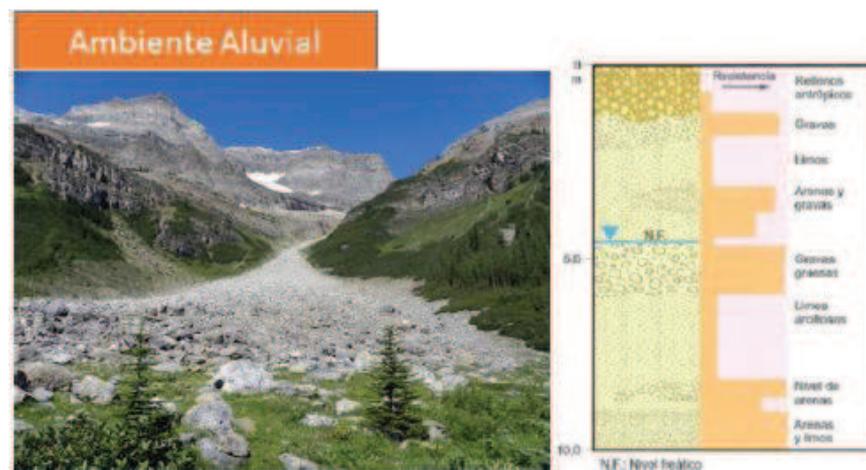


Figura 5. Suelos Aluviales

Fuente: (Alda, 2014)

3.1.2.2.2. Suelos Orgánicos

Se forman casi siempre *in situ*. Muchas veces la cantidad de materia orgánica, ya sea forma de humus o de materia no descompuesta, o en su estado de descomposición, es tan alta con relación a la cantidad de suelo inorgánico que las propiedades que pudieran derivar de la porción mineral

quedan eliminadas. Esto es muy común en las zonas pantanosas, en las cuales los restos de vegetación acuática llegan a formar verdaderos depósitos de gran espesor, conocidos con el nombre genérico de *turbas*. Se caracterizan por su color negro o café oscuro, por su poco peso cuando están secos y su gran compresibilidad y porosidad. La turba es el primer paso de la conversión de la materia vegetal en carbón. (Crespo, Mecánica de Suelos y Cimentaciones, 2004)

Según Berry (2000) los depósitos de arcilla y limo derivados de la sedimentación en lagos, estuarios o en zonas de inundación de ríos, pueden contener cantidades apreciables de materia orgánica debido a cadáveres de animales o materia vegetal en descomposición. Esta materia orgánica pudo ser arrastrada por el río o por el viento a esas zonas. Además, pudo derivarse del desarrollo de la vegetación en dichas áreas durante los ciclos periódicos en que no se llevó a efecto. Cuando el contenido de materia orgánica es importante, estos depósitos pueden describirse como *arcillas y limos orgánicos*.

3.1.2.2.3. Suelos Coluviales

Según Berry (2000) son acumulaciones constituidas por materiales de diverso tamaño pero de litología homogénea, englobados en una matriz arenosa que se distribuye irregularmente en las vertientes del territorio montañoso, habiéndose formado por alteración y desintegración in situ de las rocas ubicadas en las laderas superiores adyacentes y la acción de la gravedad.

Los depósitos coluviales se pueden originar por:

- Formaciones en la base de laderas
- Transportados por la gravedad:
 - Movimiento de material suelto
 - Erosión

- Transporte por agua no canalizada

Los tipos de depósitos coluviales según clasificación dependen de:

- **Tipo de movimiento:**
 - Desprendimientos
 - Vuelcos
 - Deslizamientos
 - Expansiones o corrimientos laterales
 - Flujos
 - Movimientos complejos
- **Tipo de material:**
 - Substrato
 - Derrubios
 - Tierra



Figura 6. Suelos Coluviales

Fuente: (Alda, 2014)

3.1.2.2.4. Suelos Eólicos

Según Covo (2003) existen depósitos de arenas transportada por el viento que cubren grandes extensiones de tierras en zonas desérticas, en

cuya superficie se aprecian dunas formadas por la acción del viento que transporta partículas de arena a lo largo del terreno. Debido al limitado poder de transporte del viento, las dunas tienden a estar formadas por partículas del mismo tamaño y de forma redondeada por acción de la intensa abrasión.

Un tipo importante de suelo transportado por el viento es el loess, el cual está constituido por limos que son depositados en estado suelto y se van densificando por la acción de la presión efectiva aplicada sobre ellos. Su formación es producto de los procesos de glaciación cuando el hielo se derrite y deposita el suelo disuelto, el cual a su vez es transportado por el viento y depositado. Un indicativo de la estabilidad de este tipo de suelos es la densidad. Cuando el loess se encuentra por encima del nivel freático y no ha sido expuesto a la acción del agua y tiene baja densidad, menor que 80 libras por pie cúbico, la presencia de agua debido a alteraciones asociadas con el desarrollo de la tierra puede originar un colapso brusco de la estructura del suelo. Este tipo de suelos se conoce como colapsable. A diferencia de los suelos depositados por el agua, el loess tiene una estructura irregular.

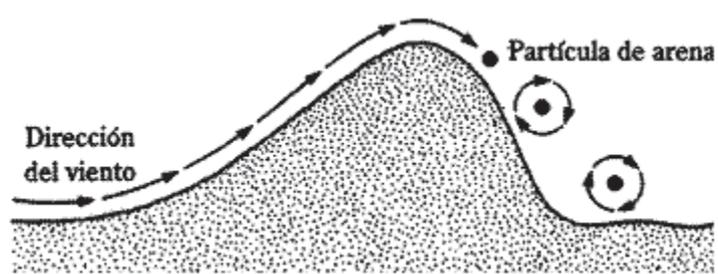


Figura 7. Suelos Eólicos

Fuente: (Suárez, 2012)

3.1.3. Descripción de los Suelos

Según Braja (1999) en el sentido general de la ingeniería, *suelo* se define como el agregado no cementado de granos minerales y materia

orgánica descompuesta (partículas sólidas) junto con el líquido y gas que ocupan los espacios vacíos entre las partículas sólidas.

Los suelos son, quizá, el material de construcción más utilizado, dado que aparece en todas las estructuras, al menos como su material de fundación. En el caso de los pavimentos además de servir como soporte, es parte integral de su estructura y de la calidad del suelo depende en buena parte el espesor final de los pavimentos. (Londoño, 2002)

Según Covo (2003) los suelos de grano grueso tienen un comportamiento sencillo de describir utilizando conceptos tales como densidad y ángulo de fricción interna. El comportamiento de las partículas de grano fino se complica debido al desbalance iónico que existe en su estructura lo que origina que los suelos de grano fino sean afectados por los cambios de humedad lo cual provee el medio para que operen los iones desbalanceados en la estructura interna de la arcilla produciéndose cambios volumétricos y/o presiones de expansión asociados con los cambios de humedad.

Tabla 2.
Textura y otras características del Suelo

Nombre Suelo	Gravas y Arenas	Limos	Arcillas
Tamaño Grano	Grano Grueso, se puede distinguir los granos individuales con el ojo	Grano fino, no se puede identificar los granos con el ojo	Grano fino, no se puede identificar los granos con el ojo
Características	Granular, sin cohesión	Poca Cohesión, Poco Plásticos	Cohesivos, Plásticos
Efecto del agua	Poco importante	Importante	Muy importante
Efecto de distribución de tamaño	Importante	No es importante	No es importante

Fuente: (Covo, 2003)

De acuerdo a Braja (1999) los suelos en general son llamados:

- **Gravas:** son fragmentos de rocas ocasionalmente con partículas de cuarzo, feldespato y otros minerales.
- **Partículas de arena:** están formadas principalmente de cuarzo y feldespatos, aunque también están presentes, a veces, otros granos minerales.
- **Limos:** son fracciones microscópicas de suelo que consisten en granos muy finos de cuarzo y algunas partículas en forma de escamas (hojuelas) que son fragmentos de minerales micáceos.

El tamaño de las partículas de suelo tiene marcado efecto en el comportamiento del suelo; por lo que desde el punto de vista de la clasificación de los suelos es importante hacerlo con base en la distribución de tamaños. La relación en el rango de variación de tamaño de partículas de suelo varía en orden de magnitud, en el orden de 10; por lo que la distribución de tamaños de suelo se hace en escala logarítmica. (Covo, 2003)

3.1.4. Identificación de los Suelos

La identificación de los suelos permite conocer las propiedades mecánicas e hidráulicas del suelo, atribuyéndole las del grupo en que se sitúe, naturalmente la experiencia juega un papel importante en la utilidad que se le pueda sacar de la clasificación. (Berry, 2000)

En el sistema unificado (AASHTO y SUCS) hay criterios para la identificación de suelos en el laboratorio; estos son del tipo granulométrico y de características de plasticidad. (Duque, 2002)

Además, y esta es la ventaja del sistema, se ofrecen criterios para identificación en el campo, es decir, en aquellos casos en los que no se disponga de equipos de laboratorio para efectuar las pruebas necesarias para una identificación estricta. Estos criterios se detallan a continuación. (Covo, 2003)

- Los materiales constituidos por partículas gruesas se identifican prácticamente en forma visual. Extendiendo una muestra seca del suelo sobre una superficie plana puede juzgarse, en forma aproximada, de su graduación, tamaño de partículas, forma y composición mineralógica.
- Para distinguir las gravas de las arenas puede utilizarse un tamaño de $\frac{1}{2}$ cm equivalente a la malla 4, y para la estimación del contenido de finos basta considerar que las partículas de tamaño correspondiente a la malla 200 son las más pequeñas y pueden distinguirse a simple vista.
- En lo referente a la graduación del material de tenerse bastante experiencia en el examen visual, pues se comparan los materiales mal graduados de los bien graduados, obtenidos en laboratorio
- En algunos casos es importante determinar la integridad de las partículas constituyentes del suelo, en cuyo caso se realiza un examen cuidadoso. Las partículas de origen ígneo se identifican fácilmente, las partículas intemperizadas se reconocen por las decoloraciones y la relativa facilidad en que se desintegran.

3.1.5. Propiedades Generales de los Suelos

3.1.5.1. Forma de las partículas

Según Asphalt Institute (2001) la forma de la partícula afecta la trabajabilidad de la mezcla de pavimentación durante su colocación, así como la cantidad de fuerza necesaria para compactar la mezcla a la densidad requerida, también afecta la resistencia de la estructura del pavimento durante su vida.

Las partículas irregulares y angulares generalmente resisten el desplazamiento en el pavimento, debido a que tienden a entrelazarse cuando son compactadas. Las partículas finas de agregado suministran la

trabajabilidad necesaria en la mezcla y provienen generalmente de arenas naturales.

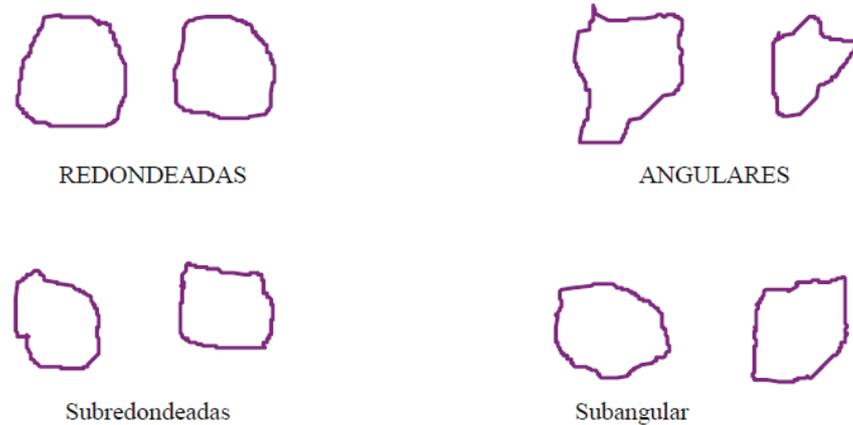


Figura 8. Formas típicas de partículas granulares

Fuente: (Covo, 2003)

3.1.5.2. Índices Físicos

Según Duque (2002) en un suelo se distinguen tres fases constituyentes: la sólida, la líquida y la gaseosa. La fase sólida está formada por las partículas minerales del suelo (incluyendo la capa sólida adsorbida); la líquida por el agua (libre, específicamente), aunque en el suelo pueden existir otros líquidos de menor significación; la fase gaseosa comprende sobre todo el aire, pero pueden estar presentes otros gases (vapores sulfurosos, anhídrido carbónico, etc).

Las fases líquida y gaseosa del suelo suelen comprenderse en el volumen de vacíos (**Vv**), mientras que la fase sólida constituye el volumen de sólidos (**Vs**).

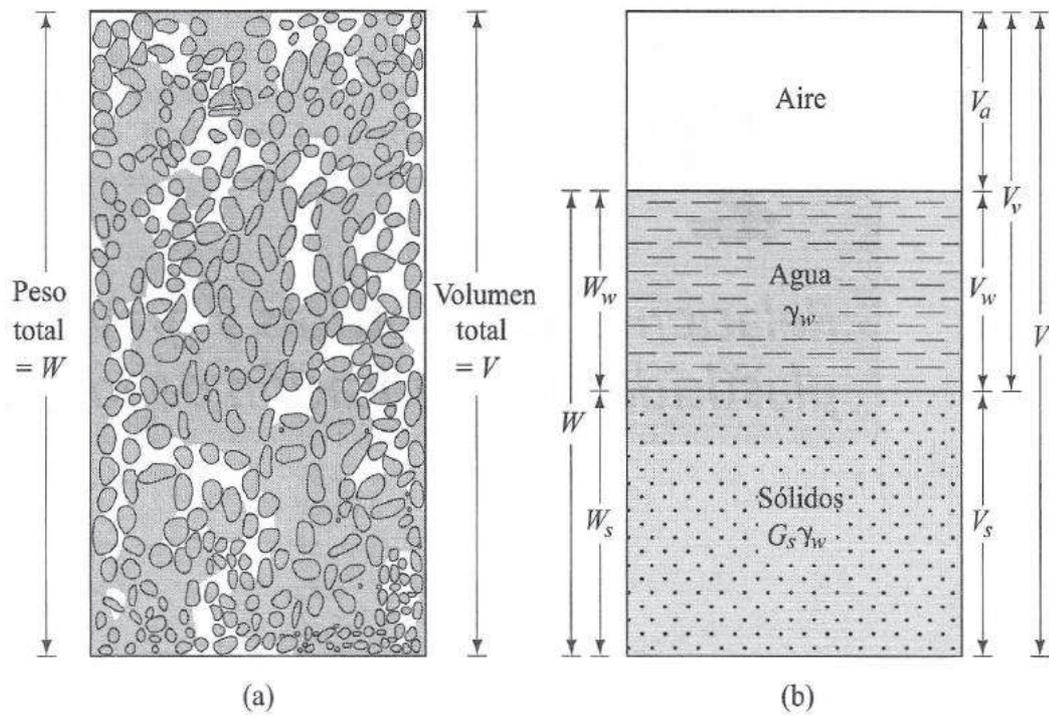


Figura 9. (a) Elemento de suelo en estado natural; (b) tres fases del elemento de suelo

Fuente: (Braja, 1999)

a) Índice de vacíos

$$e = \frac{V_v}{V_s}$$

b) Porosidad

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

c) Relación entre índice de vacíos y porosidad

$$e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{V_v}{V - V_v} = \frac{\frac{V_v}{V}}{\frac{V}{V} - \frac{V_v}{V}} = \frac{n}{1 - n}$$

$$n = \frac{V_v}{V} = \frac{V_v}{V_s + V_v} = \frac{\frac{V_v}{V_s}}{\frac{V_s}{V_s} + \frac{V_v}{V_s}} = \frac{e}{1 + e}$$

d) Grado de saturación

$$S = \frac{V_w}{V_v}$$

e) Contenido de humedad

$$W = \frac{W_w}{W_s}$$

f) Peso específico

$$\gamma = \frac{W}{V}$$

g) Peso específico seco

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V}$$

h) Peso específico del agua

$$\gamma_w = \frac{W_w}{V_w}$$

i) Peso específico de las partículas sólidas

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

3.1.5.3. Propiedades Físicas y Mecánicas

Entre las propiedades físicas y mecánicas de mayor interés en el campo, podemos destacar las siguientes: permeabilidad, capilaridad, compresión, elasticidad, la contractibilidad y capacidad de expansión, y resistencia al corte.

a) *Permeabilidad*

Según Polanco (2012) es la facilidad con que pasa el agua a través del suelo, lo cual dependerá de los huecos o vacíos que tenga un suelo y si estos están intercomunicados; un suelo grueso tendrá más huecos que un suelo fino, por lo que tendrá mayor permeabilidad.

El coeficiente de permeabilidad es k , que dimensionalmente resulta equivalente a una velocidad. El coeficiente k toma en cuenta no sólo las características físicas y granulométricas del medio poroso, sino

también las características del fluido (peso específico y viscosidad). (Badillo, 2005)

b) Capilaridad

Es un fenómeno debido a la tensión superficial, en virtud del cual un líquido asciende por tubos de pequeño diámetro y por entre láminas muy próximas. Pero no siempre ocurre así debido a que la atracción entre moléculas iguales (cohesión) y moléculas diferentes (adhesión) son fuerzas que dependen de las sustancias. (Badillo, 2005)

La tensión capilar en un líquido no sólo puede producirse por la ascensión del líquido en un tubo capilar, sino también por otros varios métodos. Por ejemplo, si un tubo capilar se llena con agua y se coloca en posición horizontal, se formarán gradualmente en sus extremos menisco en cada extremo aumentará hasta la máxima, que corresponde a la forma semi-esférica entre vidrio húmedo y agua; al mismo tiempo el esfuerzo aumentará hasta su valor máximo para el diámetro de tubo que se trate. (Badillo, 2005)

c) Compresibilidad

Las presiones adicionales aplicadas a los suelos generan disminución de volumen de los poros. Cuando esta condición es inducida en suelos saturados de grano fino la disminución de volumen toman un cierto tiempo debido a que el agua es expulsada muy lentamente como consecuencia de la baja permeabilidad en este tipo de suelos. Ensayos efectuados sobre muestras de suelo indican que existe una relación de vacíos asociada con un esfuerzo efectivo. (Covo, 2003)

Cuando un depósito de suelo se somete a un incremento de esfuerzos totales, por ejemplo, como resultado de la carga aplicada, se produce en el suelo un exceso de presión intersticial; durante la

disipación de ésta presión, el esfuerzo efectivo en la masa de suelo aumenta y por tanto se incrementa su resistencia al cortante. (Berry, 2000)

d) Elasticidad

El grado de deformación producido por un esfuerzo dependerá de la composición, relación de vacíos, historia de esfuerzos y forma en que se aplique el esfuerzo.

Suele ser muy útil recurrir a conceptos y fórmulas de la teoría de la elasticidad. Esto significa que las curvas reales no lineales de esfuerzo-deformación de un suelo deben “linealizarse”, es decir, substituir por líneas rectas. Entonces se habla del módulo de elasticidad y del coeficiente de Poisson del suelo; siendo éstos magnitudes que describen aproximadamente el comportamiento de un suelo para una combinación particular de esfuerzos. (Lambe, 2012)

e) Contractibilidad y capacidad de expansión

Son propiedades características de la arcilla y por lo tanto mayor capacidad de respuesta en los suelos arcillosos. Contractibilidad es la propiedad de los suelos cuando se reduce su volumen por la disminución de humedad. Capacidad de expansión es la propiedad de magnificar el volumen por el aumento de humedad. (Ministerio de Transportes. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, 1996)

f) Resistencia al corte

Al modificar el estado tensional del suelo se producen deformaciones que pueden originar su rotura. Aunque los suelos con cohesión rompen a veces por tracción, como puede ser el caso de las grietas verticales que a veces se observan en la coronación de un

talud deslizado, la forma de rotura más habitual en los suelos es por esfuerzo cortante (tensión tangencial). (Muelas, 2015)

La resistencia cortante de una masa de suelo es la resistencia interna por área unitaria que la masa de suelo ofrece para resistir la falla y el deslizamiento a lo largo de cualquier plano dentro de él. (Braja, 1999)

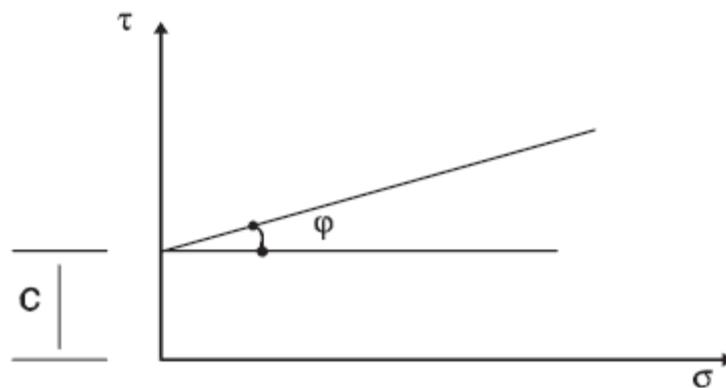


Figura 10. Resistencia al corte

Fuente: (Ministerio de Transportes. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, 1996)

La resistencia al corte se rige por la ley de Coulomb cuya expresión es: $\tau = \sigma_e \tan \varphi + c$

Dónde:

τ = Resistencia al corte

φ = Ángulo de fricción interna

σ_e = Presión normal efectiva al plano de corte

c = Cohesión (resistencia al corte cuando σ_e presión efectiva es igual a cero)

Entre los factores extrínsecos que influyen en el valor de τ , son la velocidad de aplicación del esfuerzo y la mayor o menor facilidad de flujo del fluido contenido en los poros. Tal influencia afecta a los tipos clásicos de ensayos de corte: Rápido, rápido-densos y lentos, realizados en laboratorios de suelos, en los dispositivos de compresión simples y triaxial y de corte directo. (Braja, 1999)

Los factores intrínsecos se dividen en: físicos y físico – químicos.

Factores físicos dependen de la presión efectiva normal en el plano de ruptura, y son significativas en las partículas de arena. Comprenden la fricción o la fricción entre las partículas y el engrane de las partículas. (Braja, 1999) Los factores físicos y químicos de la resistencia al corte se manifiestan en cohesión; son importantes en el caso de la arcilla, la fracción coloidal es porque las fuerzas entre partículas son significativas en relación con las masas de las partículas. El agua absorbida, a pesar de su alta viscosidad no aumenta cohesión, sin embargo, tiende a reducir la misma. (Braja, 1999)

Un aspecto importante a considerar, en proyectos de pavimentos, es el comportamiento de los suelos compactados. Tenga en cuenta que el suelo utilizado en las sub-bases o en las capas de pavimento se extraen generalmente de depósitos, transportados, incluso mezclados con otros suelos o rocas, húmedas o secas. La resistencia al cizallamiento de estos suelos depende fundamentalmente en la estructura supuesta por ellos, dependiendo del tipo de compresión empleada. (Braja, 1999)

3.1.6. Características de los Suelos

3.1.6.1. Granulometría

La granulometría se define como la distribución de los diferentes tamaños de las partículas de un suelo, expresado como un porcentaje en relación con el peso total de la muestra seca. Aprenderemos a utilizarla como un instrumento en la clasificación de los materiales, ya que la descripción por tamaño tiene especial interés en la selección de materiales para rellenos de carreteras y presas, los cuales requieren materiales con graduaciones determinadas.

La relación en el rango de variación de tamaño de partículas de suelo varía en orden de magnitud en el orden de 10; por lo que la distribución de tamaños de suelo se hace en escala, donde en la abscisa se muestra el tamaño de la partícula y en la ordenada el porcentaje de la muestra por peso que tiene un tamaño menor que el tamaño considerado. (Covo, 2003)

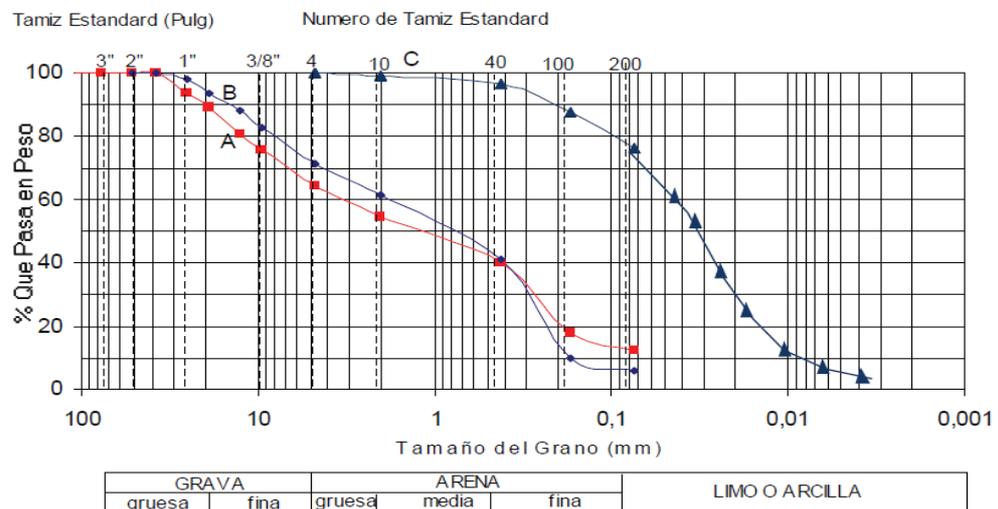


Figura 11. Curvas granulométricas típicas

Fuente: (Covo, 2003)

El Tamiz 3/8" marca la diferencia entre gravas finas y gruesas, el tamiz No 4 representa la frontera entre gravas y arenas, el tamiz No 10 separa las

arenas gruesas de las medias, el tamiz No 40 las arenas medias de las finas y el tamiz No 200 divide las arenas finas de los limos y arcillas.

Tabla 3.
Tamices ASTM

Tamiz Estándar	Abertura Tamiz (mm)
3/8"	9,525
4	4,750
10	2,000
20	0,850
40	0,425
60	0,250
100	0,150
140	0,106
200	0,074

Como una medida simple de la uniformidad de un suelo, Allen Hazen propuso el coeficiente de uniformidad. (Braja, 1999)

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

En donde:

D₆₀: Tamaño tal que el 60%, en peso del suelo, sea igual o menor.

D₁₀: Llamado por Hazen diámetro efectivo; es el tamaño tal que sea igual o mayor que el 10%, en peso, del suelo.

Los suelos con **C_u<3** se consideran muy uniformes; aún las arenas naturales muy uniformes rara vez presentan **C_u<2**. (Badillo, 2005)

Como dato complementario, necesario para definir la graduación, es el coeficiente de curvatura del suelo con la expresión:

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{60} \times D_{10}}$$

En donde:

D₃₀: Diámetro correspondiente al 30% de finos.

Tamaño nominal máximo del árido. En las especificaciones o la descripción del árido, la abertura más pequeña de tamiz a través de la cual se permite que pase la totalidad del árido.

Comentario. Las especificaciones sobre los áridos generalmente estipulan una abertura de tamiz a través de la cual todo el árido puede pasar, pero no necesariamente, de tal manera que se puede retener en ese tamiz una porción máxima definida de árido. Se designa como el tamaño nominal máximo del árido a una abertura de tamiz. (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2010)

3.1.6.2. Límites de Consistencia

Cuando existen minerales de arcilla en un suelo de grano fino, éste puede ser remodelado en presencia de alguna humedad sin desmoronarse. Esta naturaleza cohesiva es debida al agua adsorbida que rodea a las partículas de arcilla. A principios de 1900, un científico sueco, Albert Mauritz Atterberg, desarrolló un método para describir la consistencia de los suelos de grano fino con contenidos de agua variables. A muy bajo contenido de agua, el suelo se comporta más como un sólido frágil. Cuando el contenido de agua es muy alto, el suelo y el agua fluyen como un líquido. Por tanto, dependiendo del contenido de agua, la naturaleza del comportamiento del suelo se clasifica arbitrariamente en cuatro estados básicos, denominados sólido, semisólido, plástico y líquido. (Braja, 1999)

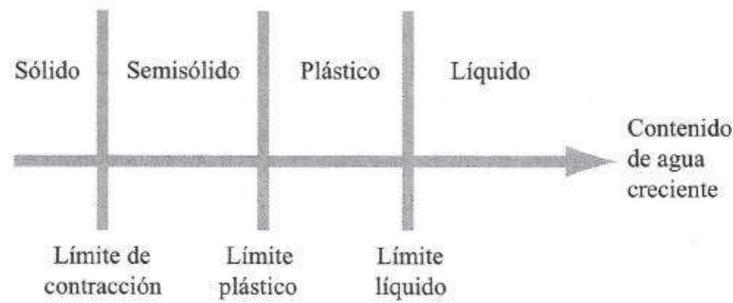


Figura 12. Límites de Atterbeg

Fuente: (Braja, 1999)

El índice de plasticidad (*IP*) se define como la diferencia de humedad entre el límite líquido y el límite plástico, o sea:

$$IP = LL - LP$$

El índice de plasticidad mide el potencial expansivo del suelo, ya que la expansividad potencial del suelo ocurre en la medida en que ocurren cambios de humedad que aumentan o disminuyen el volumen del suelo, los cuales se dan sobre mayormente sobre el rango del índice de plasticidad. (Covo, 2003)

El límite de contracción, el cual se define como el contenido de humedad bajo el cual cesan los cambios volumétricos de la arcilla.

3.1.6.3. Índice de grupo

Para la evaluación de la calidad de un suelo como material para subrasante de carreteras, se incorpora también un número llamado índice de grupo (GI) junto con los grupos y subgrupos del suelo. Este número se escribe en paréntesis después de la designación de grupos y subgrupos. (Braja, 1999)

El índice de grupo se utiliza para describir y clasificar el suelo en el sistema AASHTO. (Covo, 2003)

El índice de grupo está dado por la ecuación:

$$GI = \underbrace{(F - 35) [0.2 + 0.005(LL - 40)]}_{\text{Primer término}} + \underbrace{0.01 (F - 15)(PI - 10)}_{\text{Segundo término}}$$

Dónde:

F: por ciento que pasa la malla No. 200

LL: límite líquido

P: índice de plasticidad

El primer término de la ecuación es el índice de grupo parcial determinado a partir del límite líquido. El segundo término es el índice de grupo parcial determinado a partir del índice de plasticidad. A continuación se dan algunas reglas para determinar el índice de grupo, (Braja, 1999):

- Si la ecuación da un valor negativo para GI, éste se toma igual a 0.
- El índice de grupo calculado se redondea al número entero más cercano.
- No hay un límite superior para el índice de grupo.

3.1.6.4. Equivalente de arena

Es una prueba que se emplea para determinar en forma cualitativa la calidad de los suelos o de los productos de trituración procedentes de bancos. Evalúa la cantidad y actividad de finos presentes en la mezcla.

La prueba consiste en introducir una cantidad prefijada de la fracción del suelo pasante del tamiz N° 4 en una probeta estándar, misma que debe estar parcialmente llena de una solución que permita el sedimento de finos. Tras un período de agitación para hacerla homogénea, se deja la probeta en reposo en su posición natural durante 20 minutos viéndose el perfil de sedimentación en el fondo constituyéndose dos capas perfectamente distinguibles; la inferior formada por arena y la superior de arcilla acumulada. El estudio del perfil sedimentario permite establecer el índice volumétrico de las proporciones de los materiales, además de tener una idea cualitativa de la actividad que se le puede atribuir a la fracción arcillosa.

Una vez obtenido el perfil de sedimentación y anotado el nivel superior de la capa de arcilla se introduce un pistón de peso estándar mismo que se apoya sobre la arcilla y se hunde en ella hasta llegar a la capa de arena, esta altura también se mide. (Rico Rodríguez, 2005).

Se define como equivalente de arena a la relación:

$$E. A. = 100 \frac{\textit{Lectura del nivel superior de arena}}{\textit{Lectura nivel superior de arcilla}}$$

3.1.6.5. Relación de Rodamiento de California

Este método se utiliza para evaluar la capacidad de soporte de suelos de subrasante, como también de materiales empleados en la construcción de terraplenes, sub-bases, bases y capas de rodadura granulares. Originalmente el método fue diseñado para evaluar el soporte de suelos de tamaño máximo 3/4" (19 mm), el ensayo es aplicable a todos aquellos suelos que contengan una cantidad limitada de material que pasa por el tamiz de 50 mm (2") y es retenido en el tamiz de 19 mm (3/4"). (Administradora Boliviana de Carreteras, 2009)

El índice CBR (Razón de Soporte de California) es la relación, expresada en porcentaje, entre la presión necesaria para hacer penetrar un pistón de

50 mm de diámetro en una masa de suelo compactada en un molde cilíndrico de acero, a una velocidad de 1,27 mm/min, para producir deformaciones de hasta 12,7 mm (1/2") y la que se requiere para producir las mismas deformaciones en un material chancado normalizado, al cual se le asigna un valor de 100%.

$$CBR = \frac{\text{carga unitaria del ensayo}}{\text{carga unitaria patrón}} * 100$$

Con el resultado del CBR se puede clasificar el suelo:

Tabla 4.

Clasificación del suelo de acuerdo al CBR

CBR	CLASIFICACIÓN
0 - 5	Subrasante muy mala
5 - 10	Subrasante mala
10 - 20	Subrasante regular a buena
20 - 30	Subrasante muy buena
30 - 50	Sub-base buena
50 - 80	Base buena
80 - 100	Base muy buena

Fuente: (Universidad Católica del Norte, s.f.)

3.1.7. Compactación de los Suelos

Es una operación mecanizada para reducir el índice de huecos de un suelo y alcanzar con ello la densidad deseada. (Administradora Boliviana de Carreteras, 2009)

El proceso de compactación consiste en densificar un suelo mediante la aplicación de energía mecánica. Los equipos vibratorios son los más eficientes para compactar suelos granulares. Los equipos con llantas neumáticas también son eficientes en la compactación de arenas y gravas. Grandes pesos dejados caer con ayuda de grúas también son utilizados para compactar rellenos granulares sueltos; este último proceso se conoce como compactación dinámica. (Covo, 2003)

Ventajas de compactar un suelo:

- Contacto más firme entre partículas.
- Las partículas de menor tamaño pasan a ocupar los vacíos formados por las de mayor dimensión.
- Capacidad soporte y estabilidad.
- N° de vacíos reducido al mínimo → la capacidad de absorber agua quedará reducida.

La clasificación del suelo ayuda en la selección del equipo de compactación y a la definición de la cantidad de drenaje que se podrá esperar.

Cuando se llevan a cabo movimientos de tierras para la construcción de carreteras, se construyen bases, sub-bases y se preparan explanaciones, es necesario compactar mecánicamente el material para conferirle un elevado grado de densidad. (Rico Rodríguez & Castillo Mejía , 2014)

La estructura y las propiedades ingenieriles de suelos cohesivos compactados dependerán en gran parte del tipo y esfuerzo de compactación y del contenido de humedad utilizado para el moldeo. Generalmente el contenido de humedad de compactación del suelo es referido a l contenido óptimo de humedad del tipo de compactación utilizado. Dependiendo de la humedad de compactación los suelos se denominan en la rama seca, húmeda o cerca al óptimo. Investigaciones efectuadas en suelos compactados en la rama seca de curva de compactación indican que la estructura del suelo es independiente del tipo de compactación utilizado. La estructura de los suelos compactados en la rama húmeda depende del tipo de equipo utilizado. (Covo, 2003)

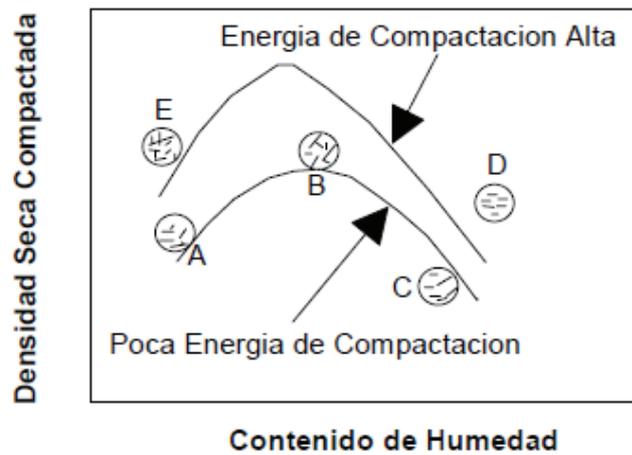


Figura 13. Efecto de la compactación en la estructura del suelo

Fuente: (Covo, 2003)

3.1.8. Resiliencia de los Suelos

El paso continuo de los vehículos sobre un pavimento somete a esta estructura a un gran número de ciclos de carga y descarga que induce a los diferentes materiales que la componen a un estado de esfuerzos y deformaciones variables, en función de la magnitud de la carga que actúa sobre ella y del tiempo de duración de la misma. (Leal Noriega, 2010)

El módulo dinámico de elasticidad para subrasantes es un parámetro de gran importancia para entender el agrietamiento (por fatiga) de las superficies de asfalto y que la carga monotónica podría no ser la adecuada para su determinación.

Este término fue cambiado más tarde por el de módulo resiliente, el cual fue definido como la magnitud del esfuerzo desviador repetido en compresión triaxial dividido entre la deformación axial recuperable y se representa como sigue:

$$M_r = \frac{(\sigma_1 - \sigma_3)}{\varepsilon_{axial}} = \frac{\sigma_d}{\varepsilon_{axial}}$$

Dónde:

σ_1 : Esfuerzo principal mayor

σ_3 : Esfuerzo principal menor

σ_d : Esfuerzo desviador

ε_{axial} : Deformación recuperable

3.1.8.1. Módulo Resiliente de Suelos Granulares

Estos materiales también denominados gruesos, incluyen todos aquellos materiales no tratados que cumplen con el siguiente criterio: menos del 70% de material debe pasar el tamiz No 10 y un máximo del 20% puede pasar el tamiz No 200. (Leal Noriega, 2010)

Varios son los factores que afectan el módulo de resiliencia de un material granular, los cuales pueden clasificarse en dos grupos: en uno se pueden considerar los factores inherentes al tipo de material y sus características y, en el otro, el nivel de esfuerzos aplicado, duración del pulso de carga y el procedimiento de prueba general. (Garnica, Pérez, & Gómez, 2001)

Tipo de Material

En relación con el tipo de material y sus características, influyen la naturaleza de la roca, el grado de sanidad (índice de solidez de los granos) y tamaño máximo de las partículas, su angulosidad y rugosidad, composición granulométrica. (Instituto Mexicano de Transporte, 2001)

Es importante notar que contrariamente a lo observado en suelos finos, el módulo de resiliencia aumenta con el nivel de esfuerzos en materiales granulares.

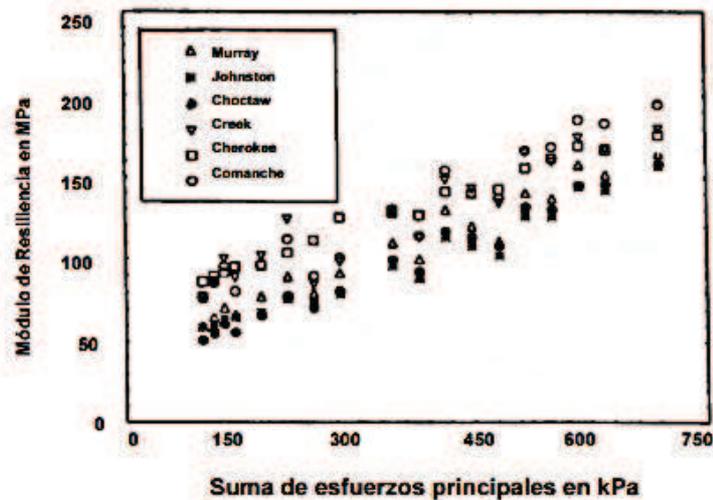


Figura 14. Módulos de resiliencia obtenidos en seis tipos de agregados

Fuente: (Garnica, Pérez, & Gómez, 2001)

Una grava arcillosa puede tener módulos de resiliencia del orden de 375 MPa, en tanto que una grava arenosa alcanza valores de 650 MPa.

Magnitud del esfuerzo aplicado

El módulo de resiliencia que alcanza un material granular una vez que la deformación recuperable llega a un valor estable, aumenta en razón directa al nivel del esfuerzo aplicado. (Garnica, Pérez, & Gómez, 2001)

3.1.8.2. Módulo Resiliente de Suelos Cohesivos

En esta clasificación se encuentran aquellos materiales limo arcillosos encontrados como suelos de subrasante con una clasificación AASHTO iguales a A-4, A-5, A-6 y A-7. (Leal Noriega, 2010). Los factores de mayor influencia en el valor del módulo son:

Condición de carga o el estado de esfuerzos

El estado de esfuerzos en los suelos finos está afectado por la acción conjunta de algunos factores como la aplicación del esfuerzo desviador, la presión de confinamiento y el número de ciclos de carga.

Tipo de suelo y su estructura

Algunos estudios realizados han demostrado que la estructura de los suelos se ve afectada por factores como el método de compactación, el esfuerzo de compactación y el contenido de agua, los cuales influyen directamente en la magnitud del módulo resiliente para muestras compactados en laboratorio. (Leal Noriega, 2010)

Tixotropía

El efecto de la tixotropía en el módulo resiliente varía con el número de repeticiones. A menos de 10,000 aplicaciones, un incremento en el tiempo de almacenamiento previo a la prueba causa un aumento en el módulo resiliente; pero para mayor número de repeticiones los valores ya no son afectados significativamente por el periodo de almacenamiento. (Garnica, Pérez, & Gómez, 2001)

Magnitud del esfuerzo desviador

Los valores del módulo de resiliencia decrecen rápidamente con el incremento del esfuerzo desviador. Sin embargo, la variación ya no se aprecia tanto a niveles de esfuerzo desviador mayores a 40 kPa. Generalmente para valorar el módulo de resiliencia se utiliza un esfuerzo desviador de 69 kPa (10 psi). Sin embargo, el esfuerzo desviador debe evaluarse de acuerdo con el estado de esfuerzos que ocurre en la subrasante. (Instituto Mexicano de Transporte, 2001)

Estado Físico del Suelo

El estado físico del suelo generalmente está representado por su contenido de humedad y su peso unitario seco, fundamentado en que estos dos factores permiten obtener las condiciones óptimas de la curva de compactación para un suelo dado. (Leal Noriega, 2010)

3.1.9. Clasificación de los Suelos

Los suelos con propiedades similares se clasifican en grupos y subgrupos basados en su comportamiento ingenieril. Los sistemas de clasificación proporcionan un lenguaje común para expresar en forma concisa las características generales de los suelos, que son infinitamente variadas sin una descripción detallada. Actualmente, dos sistemas de clasificación que usan la distribución por tamaño del grano y plasticidad de los suelos son usados comúnmente por los ingenieros de suelos. Éstos son el Sistema de Clasificación AASHTO y el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos. El Sistema AASHTO lo usan principalmente los departamentos de caminos estatales y de condados, mientras que los ingenieros geotécnicos usualmente prefieren el Sistema Unificado. (Braja, 1999)

Sistema AASHTO

Se basa en determinaciones de laboratorio de granulometría, límite líquido e índice de plasticidad. Es un método realizado principalmente para Obras Viales. Existe una restricción si en el % malla N° 200 es mayor que el 35%, se le considera como finos; y su evaluación se complementa mediante el Índice de grupo (IG). (Escuela de Ingeniería en Construcción, 2016)

El suelo se clasifica en siete grupos mayores: A-1 al A-7. Los suelos clasificados en los grupos A-1, A-2 y A-3 son materiales granulares, donde 35% o menos de las partículas pasan por la criba No. 200. Los suelos de los que más del 35% pasan por la criba No. 200 son clasificados en los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7. (Braja, 1999)

Consideraciones, (Escuela de Ingeniería en Construcción, 2016):

- El IG se informa en números enteros y si es negativo se hace igual a 0
- Permite determinar la calidad relativa de suelos de terraplenes, subrasantes, sub-bases y bases.
- Se clasifica el primer suelo que cumpla las condiciones de izquierda a derecha en la tabla.
- El valor del IG debe ir siempre en paréntesis después del símbolo del grupo.
- El índice de grupo de suelos que pertenecen a los grupos A-1-a, A-1-b, A-2-4, A-2-5, y A-3 siempre es 0.
- Al calcular el índice de grupo para suelos que pertenecen a los grupos A-2-6 y A-2-7, use el índice de grupo parcial para PI o,

$$GI = 0.01(F - 15)(PI - 10)$$

Tabla 5.
Clasificación de materiales para subrasantes de carreteras

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos de la muestra que pasa la malla No. 200)						
	A-1			A-2			
Clasificación de grupo	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Análisis por cribado (porcentaje que pasa las mallas)							
No. 10	50 máx.						
No. 40	30 máx.	50 máx.	51 mín.				
No. 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.
Características de la fracción que pasa la malla No. 40							
Límite líquido				40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de plasticidad	6 máx.		NP	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Tipos usuales de materiales componentes significativos							
	Fragmentos de piedra grava y arena		Arena fina	Grava y arena limosa o arcillosa			
Tasa general de los subrasantes			De excelente a bueno				
Clasificación general	Materiales limo-arcilla (más del 35% de la muestra que pasa la malla No. 200)						
	A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5* A-7-6†			
Análisis por cribado (porcentaje que pasa por las mallas)							
No. 10							
No. 40							
No. 200	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.			
Características de la fracción que pasa por la malla No. 40							
Límite líquido	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.			
Índice de plasticidad	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.			
Tipos usuales de materiales componentes significativos							
	Suelos limosos		Suelos arcillosos				
Tasa general de los sobrantes			De mediano a pobre				
*Para A-7-5, $PI \leq LL - 30$							
†Para A-7-6, $PI > LL - 30$							

Fuente: (Braja, 1999)

Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S.)

Los suelos de partículas gruesas y los suelos de partículas finas se distinguen mediante el cribado del material por la malla No. 200. Los suelos gruesos corresponden a los retenidos en dicha malla y los finos a los que la pasan, y así un suelo se considera grueso si más del 50 % de las partículas del mismo son retenidas en la malla No. 200, y fino si más del 50% de sus partículas son menores que dicha malla. El símbolo de cada grupo consta de un prefijo y un sufijo. Los prefijos son las iniciales de los nombres ingleses de los seis principales tipo de suelo (grava, arena, limo, arcilla, suelo orgánico de grano fino y turba), mientras que los sufijos indican subdivisiones en dichos grupos. (Crespo, Mecanica de suelos y Cimentaciones, 2004)

Según Braja (1999) el Sistema Unificado clasifica los suelos en dos grandes categorías:

- Los suelos de grano grueso comienzan con un prefijo G que significa grava o suelo gravoso y S significa arena o suelo arenoso.
- Los suelos de grano fino comienzan con un prefijo M, que significa limo inorgánico, C para arcilla inorgánica u O para limos y arcillas orgánicos. El símbolo Pt se usa para turbas, lodos y otros suelos altamente orgánicos.

Otros símbolos son también usados para la clasificación:

W: bien graduado

P: mal graduado

L: baja plasticidad (límite líquido menor que 50)

H: alta plasticidad (límite líquido mayor a 50)

3.2. MATERIALES PÉTREOS

3.2.1. Definición

Los materiales pétreos o áridos se definen como un conjunto de partículas minerales de distintos tamaños y formas y que proceden de la fragmentación natural o artificial de las rocas. Un aspecto importante a la hora de seleccionar áridos para su uso en carreteras es procurar que éstos procedan de zonas cercanas a la obra ya que, dado el gran volumen que suele emplearse, una distancia de transporte relativamente grande puede disparar notablemente su precio. (Blásquez & Beviá García, 2000).

El término agregado se refiere a partículas minerales granulares que se usan ampliamente para bases, sub-bases y relleno de carreteras. Los agregados también se usan en combinación con un material cementante para formar concretos para bases, sub-bases, superficies de desgaste y estructuras de drenaje. Las fuentes de agregados incluyen los depósitos naturales de arena y grava, los pavimentos pulverizados de concreto y asfalto, el material pétreo resquebrajado y la escoria de altos hornos. (Universidad Mayor de San Simón, 2004)

3.2.2. Clasificación

De acuerdo a Blásquez (2000) pueden establecerse diferentes criterios de clasificación de los materiales pétreos atendiendo a distintos aspectos, como son su composición mineralógica, su procedencia o el tamaño de sus partículas. El siguiente esquema resume dichos criterios:

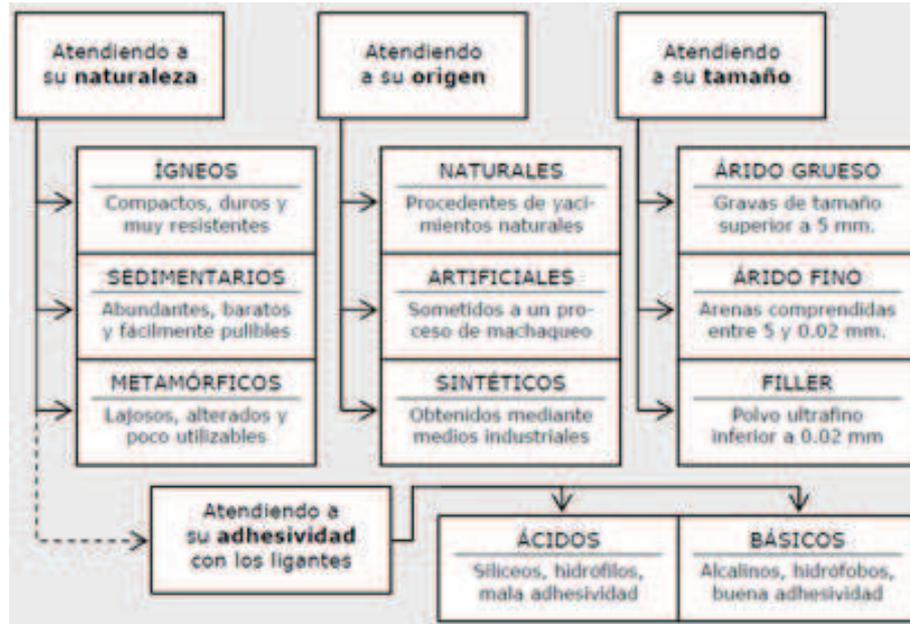


Figura 15. Criterios de Clasificación de los áridos

Fuente: (Blásquez & Beviá García, 2000)

3.2.3. Características Tecnológicas

3.2.3.1. Conceptualización

Las características tecnológicas de un agregado sirven para garantizar una distinción fácil de los materiales con el fin de ser capaz de demostrar su uniformidad, y la elección de un material que pueda soportar adecuadamente las cargas.

Según Padilla (2009) Cuando se pretende hacer uso de los agregados pétreos para la construcción de pavimentos se deben considerar algunos aspectos fundamentales para su buen desempeño a la hora de formar parte en alguna de las capas del firme y principalmente en la elaboración de las mezclas asfálticas.

- **Naturaleza e identificación:** Evaluación de la naturaleza petrográfica de los agregados, grado de alteración de los componentes minerales, porosidad y propiedades químicas.
- **Propiedades geométricas:** Principal y básicamente la forma y angulosidad de las partículas; con relación al conjunto del esqueleto mineral se estudia la distribución granulométrica.
- **Propiedades mecánicas:** Engloban los parámetros básicos de resistencia al desgaste y al pulimento.
- **Ausencia de impurezas:** Es fundamental que los agregados a emplear en la construcción de pavimentos estén libres de impurezas capaces de afectar el buen comportamiento de las capas. El empleo de agregados sucios en la construcción de un pavimento, puede ser una causa suficiente para provocar su degradación.
- **Inalterabilidad:** Es imprescindible la evaluación de las posibles degradaciones que puedan sufrir los agregados pétreos que se van a utilizar en una obra; así, los materiales evolutivos han de ser empleados con especiales precauciones para evitar comportamientos anómalos que puedan afectar la vida útil de las capas.
- **Adhesividad:** Los agregados pétreos han de ser afines con los ligantes asfálticos que vayan a ser empleados en la construcción del pavimento, y en caso de problemas de afinidad, será necesario el uso de activantes, para garantizar el buen comportamiento de las mezclas asfálticas.

3.2.3.2. Determinación de Características Fundamentales

3.2.3.2.1. Agregado Grueso

Según el Sistema de Clasificación de Suelos SUCS, se define como agregado grueso, a la parte del agregado pétreo total que queda retenido en el tamiz #4.

- **Granulometría**

La granulometría es la característica física principal y fundamental de todo conjunto de partículas porque influye de forma muy importante en la resistencia mecánica del conjunto (esqueleto mineral). Normalmente se utilizan granulometrías sensiblemente continuas, a fin de conseguir la máxima compacidad del conjunto, aunque también se emplean granulometrías discontinuas en el caso de algunas mezclas asfálticas. Para encajar una granulometría dentro de algún Huso normalizado se parte de fracciones uniformes que se mezclan en las proporciones adecuadas. Los análisis granulométricos se realizan por tamizado; el procedimiento es análogo al que se emplea para suelos.

El tamaño máximo de los agregados viene normalmente limitado por consideraciones relativas al espesor de la capa extendida, trabajabilidad, segregación, etc. Por otra parte la influencia de las partículas finas obliga normalmente a limitar su porcentaje y su plasticidad. En las mezclas asfálticas tiene una especial importancia la fracción de tamaño inferior a $63\mu\text{m}$, llamada, como se ha indicado, polvo mineral o filler, pues algunas características relevantes de la mezcla dependen del mástico formado por la unión del polvo mineral y del ligante asfáltico.

- **Rozamiento interno**

La resistencia a la deformación o capacidad de soporte de una capa de firme depende esencialmente del rozamiento interno del esqueleto mineral y, en su caso, de la cohesión que proporciona el eventual ligante o conglomerante. El rozamiento interno aumenta con partículas angulosas y de textura superficial áspera como por ejemplo los agregados triturados. También influye de forma importante la granulometría del agregado y el porcentaje de huecos del material compactado. A mayores densidades corresponden generalmente

mayores resistencias mecánicas, por lo que la compactación es un factor de primer orden.

La cohesión debe confiarse exclusivamente al ligante asfáltico o conglomerante. La cohesión entre las partículas suele ser despreciable, y cuando existe se debe únicamente a la plasticidad de la fracción fina, y en general es más nociva que útil. Sólo interesa una cierta plasticidad de los finos y muy reducida de todas formas, cuando se trata de capas granulares no revestidas en caminos de baja intensidad de tráfico.

- ***Angulosidad del agregado grueso***

La angulosidad del agregado grueso beneficia al esqueleto mineral debido al rozamiento interno que se genera entre las partículas, esto contribuye a que las partículas gruesas permanezcan en su lugar cuando el pavimento entre en funcionamiento y no se produzcan desplazamientos. El empleo de agregados triturados trae consigo el aumento de la angulosidad de las partículas. La mayoría de las normativas establecen un mínimo de angulosidad del agregado grueso, dependiendo de las condiciones de tráfico al que va a estar expuesto el pavimento.

- ***Forma del agregado grueso***

Las exigencias de forma para el agregado grueso varían ligeramente, con un mismo tráfico, para las mezclas asfálticas. Lo ideal es que las partículas presenten formas cuboides, evitando o restringiendo las formas planas, alargadas y en forma de lajas, ya que como lo hemos dicho antes, este tipo de forma es muy susceptible a quebrarse bajo condiciones de carga de tráfico, lo que modifica las granulometrías y las propiedades iniciales de las mezclas.

Existen restricciones en las normativas de materiales para pavimentos en donde se restringe el uso de partículas con estas formas no deseadas, por medio de los índices de lajas y de agujas de las distintas fracciones del árido grueso.

- ***Resistencia a la fragmentación de los agregados gruesos***

Los agregados pétreos deben de cumplir con un cierto mínimo de resistencia a la fragmentación o al desgaste, lo que da una orientación del comportamiento que tendrá dicho agregado dentro de la mezcla asfáltica al entrar en servicio el pavimento.

- ***Resistencia al pulimento del agregado grueso para capas de rodadura***

En el ensayo de Pulimento Acelerado, determina el grado de pulimento del agregado o coeficiente de pulido acelerado con el mismo péndulo de fricción con el que se mide el coeficiente de rozamiento en una superficie de rodadura. El coeficiente de pulido acelerado depende fundamentalmente de la naturaleza petrográfica de la roca origen, fue diseñado como un medio para predecir la susceptibilidad de una piedra al pulido cuando se utiliza como ya lo hemos dicho en la capa de rodadura de un pavimento flexible.

- ***Limpieza del agregado grueso***

El agregado grueso deberá estar exento de terrones de arcilla, materia vegetal, marga u otras materias extrañas que puedan afectar a la durabilidad de la capa. El contenido de impurezas del agregado grueso, según las normativas deberá ser mínimo, algo muy aproximado al cinco por mil (0,5%) en masa. Aunque se podrá exigir su limpieza por lavado, aspiración u otros, y realizando una nueva comprobación.

La exigencia anterior podría cuestionarse considerando que en las plantas asfálticas modernas existen poderosos sistemas para extraer el polvo e impurezas del agregado. Sin embargo en una secuencia lógica de exigencias de calidad y prevenciones, la limpieza inicial del agregado está totalmente justificada.

- ***Adhesividad del agregado grueso***

El agregado grueso tiene un comportamiento específico respecto a la adhesividad y a la resistencia al desplazamiento. Se preconiza la comprobación de la adhesividad agregado – ligante mediante una evaluación global de resistencia conservada en los ensayos de inmersión – compresión, o de pérdida por abrasión en el ensayo Cántabro. Estos criterios se refieren obviamente a las propiedades de las mezclas terminadas más que a la caracterización inicial de los materiales simples: agregados y ligantes.

En cualquier circunstancia se comprobará la adhesividad agregado–ligante mediante la caracterización de la acción del agua. Se enmarcan unos parámetros mínimos en los valores de inmersión – compresión según el tipo de mezcla asfáltica a utilizar. Se podrá mejorar la adhesividad entre el agregado y el ligante asfáltico mediante activantes o cualquier otro producto sancionado por la experiencia. Se establecerán las especificaciones que tendrán que cumplir dichos aditivos y las mezclas resultantes.

3.2.3.2.2. Agregado Fino

Según el Sistema de Clasificación de Suelos SUCS, se define como agregado fino, a la parte del agregado pétreo total que pasa el tamiz #4 y queda retenido en el tamiz #200.

- ***Procedencia del agregado fino***

El agregado fino deberá proceder de la trituración de piedra de cantera o grava natural en su totalidad, o en parte de yacimientos naturales. Existen limitaciones en la proporción de agregado fino no triturado a emplear en las mezclas. Regularmente se emplea arena natural en la elaboración de mezclas asfálticas que van a ser empleadas en pavimentos con una baja intensidad de tráfico y a bajos niveles de cargas, se deberá señalar la proporción máxima de arena natural no triturada, a emplear en la mezcla, la cual regularmente no será superior al 10% de la masa total del agregado combinado y sin que supere el porcentaje de agregado fino triturado empleado en la mezcla, la limitación de la cantidad de arena rodada o no triturada que puede incorporarse a la mezcla, se hace por temor a una disminución de la rigidez final de ésta. Hay autores y administraciones que consideran que una proporción del orden del 10% puede mejorar al tiempo la manejabilidad, la compacidad e incluso la estabilidad de la mezcla.

- ***Limpieza del agregado fino***

El agregado fino deberá estar exento de terrones de arcilla, materia vegetal, marga y otras materias extrañas, para evitar que se presenten comportamientos extraños del material dentro de la mezcla, tales como reacciones químicas, pérdida de estabilidad de la mezcla, abundamientos, entre otros.

- ***Resistencia a la fragmentación del agregado fino***

El material que se triture para obtener agregado fino deberá cumplir las condiciones exigidas al agregado grueso sobre el coeficiente de desgaste Los Ángeles.

Se recomienda usar agregado fino de otra naturaleza, que mejore alguna característica, especialmente la adhesividad, pero en cualquier

caso procederá de agregado grueso con coeficiente de desgaste de Los Ángeles inferior a 25 para capas de rodadura e intermedias y a 30 para capas de base.

- ***Adhesividad del agregado fino***

Respecto a los fenómenos de adhesividad agregado fino – ligante, hay que tener en cuenta que las acciones químicas o químico – físicas en las partículas de menor tamaño son más complejas. Su mayor superficie específica, facilidad para acumular humedad y gran heterogeneidad de su naturaleza determinan una mayor sensibilidad a toda clase de transformaciones químicas, fenómenos polares y de adhesividad, absorción.

3.2.3.2.3. Material de Relleno

Según el Sistema de Clasificación de Suelos SUCS, se define como polvo mineral, a la parte del agregado pétreo total que pasa el tamiz #200.

- ***Finura***

Al ocupar parcialmente los espacios libres dejados por la estructura granular compactada y conformada por las partículas mayores, reduce el volumen de vacíos de la mezcla evitando un aumento pronunciado de la cantidad de ligante asfáltico. El polvo mineral consigue cumplir con su función rellena, dependiendo del volumen de vacíos existente una vez que se haya compactado la estructura granular y en función de la granulometría y de las partículas de mayor tamaño.

La densidad aparente del polvo mineral en Tolueno es una medida relativa del grado de finura del polvo, cualidad muy importante para las características finales de las mezclas. La densidad aparente del

polvo mineral, en algunas normas aparece comprendida entre cinco y ocho decigramos por centímetro cúbico (0,5 a 0,8 g/cm³).

- ***Modificación del comportamiento reológico***

El empleo del polvo mineral, incrementa la magnitud de la resistencia a la deformación de la mezcla, sin modificar la naturaleza viscosa del ligante, originando como consecuencia un aumento de la resistencia al corte de las mezclas asfálticas.

- ***Acción estabilizante frente al agua***

Se incrementa la durabilidad de las mezclas asfálticas frente a la acción del agua debido a que se reduce parcialmente la porosidad de la estructura granular evitando el acceso del agua al interior, y por otro lado debido a que algunos polvos minerales presentan una mayor afinidad con el ligante asfáltico, mejoran la resistencia a la acción de desplazamiento que ejerce el agua sobre el ligante asfáltico.

Las características de finura y comportamiento reológico se hayan vinculadas el tamaño y forma de las partículas. La acción estabilizante frente al agua depende además del tamaño y forma de las partículas, de la composición química de los rellenos minerales. Las funciones del polvo mineral no pueden apartarse del contenido y consistencia del ligante asfáltico en la mezcla.

- ***Procedencia del polvo mineral***

El polvo mineral podrá proceder de los agregados, separándose de ellos por medio de los ciclones de la central de fabricación, o aportarse a la mezcla por separado de aquéllos como un producto comercial o especialmente preparado.

Las proporciones del polvo mineral de aportación a emplear en la mezcla deben cumplir lo que fijen las normas, debido a que es un

material que se debe de utilizar en proporciones adecuadas en cada tipo de mezcla y condiciones, para obtener un resultado óptimo.

El polvo mineral que quede inevitablemente adherido a los agregados tras su paso por el secador de la planta de asfalto en ningún caso podrá rebasar ciertos límites que algunas normas contienen, este valor está aproximadamente dentro del dos por ciento (2%) de la masa de la mezcla. Si se asegurase que el polvo mineral procedente de los agregados cumple las condiciones exigidas al de aportación, se podrá rebajar la proporción mínima de éste.

3.3. MATERIALES BITUMINOSOS

3.3.1. Generalidades

En la pavimentación se utilizan los siguientes tipos de materiales bituminosos: cementos asfálticos, asfaltos diluidos, alquitranes y emulsiones asfálticas.

3.3.2. Cemento Asfáltico

Los cementos asfálticos son residuos de la destilación del petróleo y se caracterizan por permanecer en estado semisólido a la temperatura del ambiente; que mezclados con agregados forman el hormigón asfáltico, empleado en pavimentos, en las capas de rodadura o base. (Ministerio de Obras Públicas y Comunicación, 2002)

A temperatura ambiente, los cementos asfálticos para pavimentación se caracterizan por tener la consistencia de un sólido o semisólido y poseer las propiedades de los materiales termoplásticos en razón de que su consistencia varía con los cambios de temperatura. A bajas temperaturas pueden alcanzar la consistencia de un sólido frágil y quebradizo mientras que a temperaturas elevadas se comportan como líquidos viscosos. La variación depende del tipo de asfalto y del proceso de fabricación empleado

para su obtención. La susceptibilidad térmica debería ser lo más baja posible, de modo que a bajas temperaturas y tiempos cortos de aplicación de las cargas de los vehículos, sean lo suficientemente flexibles para evitar su fisuramiento, mientras que a elevados tiempos de carga sean resistentes a las deformaciones. A temperaturas elevadas no deberán ser demasiado viscosos, de modo que se los pueda procesar durante la fabricación de la mezcla a temperaturas no muy elevadas. Se muestra el uso de modificadores: rellenos, polímeros e hidrocarburos. (Agnusdei, 2007)

3.3.3. Asfalto Diluido

Son asfaltos diluidos aquellos de consistencia suave o fluida, que excede el límite de medida permitido por el ensayo normal de penetración INEN 917, que es de 300. (Ministerio de Obras Públicas y Comunicación, 2002)

Son la mezcla del betún asfáltico con disolventes volátiles hidrocarbonados compatibles con él, con el fin de impedir la precipitación de los asfáltenos. Estos disolventes o fluidificantes tienen como misión principal disminuir la viscosidad para favorecer la puesta en obra dado que posteriormente se eliminan durante el proceso de curado dando lugar al betún asfáltico de partida. (Miro Recasens, 1994)

Los asfaltos diluidos se clasifican, de acuerdo al grado de volatilidad del diluyente, en asfaltos diluidos de curado rápido, medio y lento. Se los designa por las siglas RC, MC y SC, respectivamente, seguidas de un número que se refiere a la viscosidad del producto. (Ministerio de Obras Públicas y Comunicación, 2002)

3.3.4. Emulsión Asfáltica

Las emulsiones asfálticas, según su agente emulsificador, se dividen en tres tipos: aniónicas, catiónicas y no iónicas, según los glóbulos de asfalto presenten cargas eléctricas negativas, positivas o neutrales. Generalmente,

sólo los dos primeros tipos son los utilizados en la construcción y mantenimiento de carreteras.

Según sea la naturaleza y la granulometría de los agregados, el tipo de emulsión asfáltica y las condiciones ambientales, las emulsiones asfálticas pueden ser de rotura rápida, media y lenta; para su denominación se emplean las siglas RS, MS y SS, respectivamente, y es cada una de ellas para usos específicos. Las emulsiones catiónicas se diferencian anteponiendo a las siglas la letra C, por ejemplo, CRS-1. El prefijo HF se refiere a emulsiones aniónicas de alta flotación (high-float). Los números y las letras h o s que completan la designación se refieren a la dureza y viscosidad del asfalto base. (Ministerio de Obras Públicas y Comunicación, 2002)

Las emulsiones asfálticas han venido a simplificar significativamente el procedimiento de asfaltado de carreteras, ya que se aplican en frío, lo cual presenta un ahorro considerable, no nada más en la energía requerida para fundir el asfalto, sino en la maquinaria que se requiere para hacer el fundido in situ. Una de las razones por las cuales las emulsiones asfálticas están siendo usadas ampliamente en la actualidad, es que mediante el uso de emulsificantes apropiados, se puede controlar ampliamente el tiempo de ruptura de las emulsiones, ya que es posible tener emulsiones de rompimiento rápido, lento e intermedio. Esto permite tener un amplio control en el uso de las emulsiones para los diferentes tipos de aplicación. (Rodríguez Talavera, Castaño Meneses, & Martínez Madrid, 2001)

3.3.5. Brea

Son productos bituminosos semisólidos o líquidos que se obtienen por destilación en ausencia de aire. Existen distintos tipos de brea: de hulla, lignito, esquistos o madera. Siendo el primero de ellos el más utilizado en obra. Se denomina brea al residuo fusible, semisólido o sólido, de color

negro o marrón oscuro, que queda después de la evaporación parcial o destilación de la brea o sus derivados. La brea no se obtiene como producto, sino como subproducto. (Lazo, 2013)

La brea de hulla es un residuo en la fabricación de gas de carbón y coque. Los términos de brea se aplican libremente para las muchas variedades de las dos sustancias. Por ejemplo, el asfalto, que es de origen natural de tono, se llama brea mineral y brea mineral. La brea es más o menos fluido, dependiendo de su origen y temperatura, mientras que la brea tiende a ser más sólida (Columbia University Press, 2012)

3.3.6. Ensayos y Especificaciones

3.3.6.1. Cemento Asfáltico

3.3.6.1.1. Penetración

Según Minaya & Ordoñez (2006) el ensayo de penetración determina la dureza o consistencia relativa de un betún asfáltico, midiendo la distancia que una aguja normalizada penetra verticalmente en una muestra de asfalto en condiciones especificadas de temperatura, carga y tiempo. Cuando no se mencionan específicamente otras condiciones, se entiende que la medida de la penetración se hace a 25 °C, que la aguja está cargada con 100 g y que la carga se aplica durante 5 s. La penetración determinada en estas condiciones se llama penetración normal. La unidad penetración es la décima de milímetro. Es evidente que cuando más blando sea el betún asfáltico mayor será la cifra que indique su penetración.

Los betunes asfálticos se clasifican en grados según su dureza o consistencia por medio de la penetración. El Instituto del Asfalto ha adoptado cuatro grados de betún asfáltico para pavimentación con penetraciones comprendidas dentro de los márgenes siguientes: 60-70, 85-100, 120-150 y 200-300. Además, el Instituto tiene especificaciones para un betún asfáltico de penetración comprendida en el margen 40-50, que se usa en aplicaciones

especiales e industriales. Los aparatos y procedimientos para realizar el ensayo de penetración se describen en el Método AASHTO T49 y en el ASTM D5.

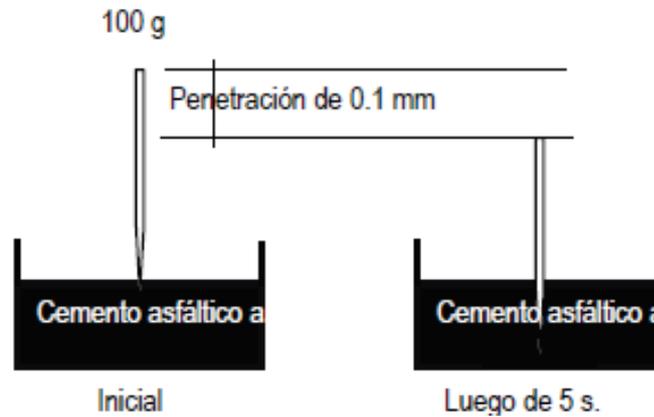


Figura 16. Esquema de Ensayo de Penetración

Fuente: (Blásquez & Beviá García, 2000)

3.3.6.1.2. Espuma- Agua

Cualquier asfalto caliente en contacto con el agua, formará espuma y su volumen aumentará rápidamente. Para muchos, esta situación no es deseada y en tales casos se utilizan agentes anti-espumantes (siliconas), para prevenir que esto ocurra. Espumar el asfalto reduce su viscosidad considerablemente y aumenta sus propiedades adherentes haciéndolo apto para mezclar con agregados fríos y húmedos.

Las propiedades más importantes son: estabilidad, razón de expansión, vida media e índice de esfumación

Se puede determinar el volumen de expansión utilizando la ley universal de gases:

$$P \times V = n \times R \times T$$

3.3.6.1.3. Densidad Relativa

Es deseable conocer la densidad del Cemento Asfáltico que se emplea, es útil para hacer las correcciones de volumen cuando éste se mide a temperaturas elevadas. Se emplea como uno de los factores para la determinación de los huecos en las mezclas asfálticas para pavimentación compactadas. El peso específico es la relación del peso de un volumen determinado del material al peso de igual volumen de agua, estando ambos materiales a temperaturas especificadas. El peso específico del cemento asfáltico se determina normalmente por el método del pignómetro, descrito en los métodos AASHTO T229 y ASTM D71.

3.3.6.1.4. Solubilidad- Contenido Bituminoso

El ensayo de solubilidad determina el contenido en cemento del betún asfáltico. La porción de betún asfáltico soluble en sulfuro de carbono está constituida por los elementos aglomerantes activos.

La mayor parte de los betunes asfálticos se disuelven en igual proporción en sulfuro de carbono y en tetracloruro de carbono. Como el tetracloruro de carbono no es inflamable, es el disolvente preferido en la mayor parte de los casos.

Para determinar la solubilidad se disuelve aproximadamente 2 g de asfalto en 100 ml de solvente y se filtra la solución a través de una plancha de asbesto colocada en un crisol. El material y procedimiento necesarios para la realización del ensayo se describen detalladamente en los métodos AASHTO T44 y ASTM D4.

3.3.6.1.5. Punto de Inflamación

Al calentar un asfalto se libera vapores combustibles, el punto de inflamación, no es más que la temperatura a la cual puede ser calentado, sin que se produzca la inflamación instantánea de los vapores liberados, en

presencia de una llama libre. Esta temperatura sin embargo está por debajo de la que el material entra en combustión permanente, se denomina punto de combustión (fire point).

El ensayo más usado para medir el punto de inflamación del cemento asfáltico es el "vaso abierto Cleveland" (COC) según normas prescritas AASHTO T48 y ASTM D92, consiste en llenar un vaso de bronce con un determinado volumen de asfalto, colocarlo sobre una placa de calentamiento y calentarlo con un aumento de temperatura normalizado. Se pasa una pequeña llama sobre la superficie del asfalto a intervalos de tiempo específicos. El punto de inflamación es la temperatura a la cual se han desprendido suficientes volátiles como para provocar una llamarada repentina, como error medio puede aceptarse 3°C.

3.3.6.1.6. Ductilidad

Rojas, Bonifaz & Jairo (2012), asegura que la ductilidad en cemento asfáltico provee una medida de las propiedades al estiramiento de los cementos asfálticos y el valor resultante puede ser usado como criterio de aceptación del material asfáltico ensayado. Se considera la ductilidad como la capacidad que tiene el asfalto de resistir esfuerzos de estiramiento bajo condiciones de velocidad y temperatura especificada. Además la norma (ASTM D 113, 1999) se refiere a la ductilidad de un material bituminoso como longitud, medida en cm., a la cual se alarga (elongación) antes de romperse cuando dos extremos de una briqueta se fraccionan a la velocidad y temperatura especificadas. A menos que otra condición se especifique, el ensayo se efectúa a una temperatura de $25 \pm 0,5$ °C y a una velocidad de 5 cm/min \pm 5%. Para otras temperaturas deberá especificarse la velocidad.

Salazar Delgado (2011) afirma que La presencia o ausencia de ductilidad es importante porque mide la capacidad del asfalto a la elongación antes de romperse, bajo condiciones controladas. Los asfaltos dúctiles tienen normalmente mejores propiedades aglomerantes. Por otra parte, asfaltos

con una ductilidad muy elevada son usualmente susceptibles a los cambios de temperatura y por lo tanto a la deformación.

Resumen del procedimiento

Para realizar esta prueba tomamos una muestras de material bituminoso, lo calentamos de tal manera que fluya, preparamos los moldes engrasando únicamente las paredes laterales de los centros, una vez calentado el asfalto lo vertimos en el molde con un chorro fino y desplazándonos de extremo a extremo, dejamos secar a temperatura ambiente, y luego lo ponemos en un baño de agua, seguido a esto lo dejamos en el ductilómetro por un tiempo, y procedemos a realizar la prueba, la longitud en la que se rompa el material asfáltico es el resultado de la misma.

NTE INEN 916 (2013) presenta un criterio de precisión para la ductilidad, que se presenta en la Figura 4, se basa en ensayos realizados en cementos asfálticos.

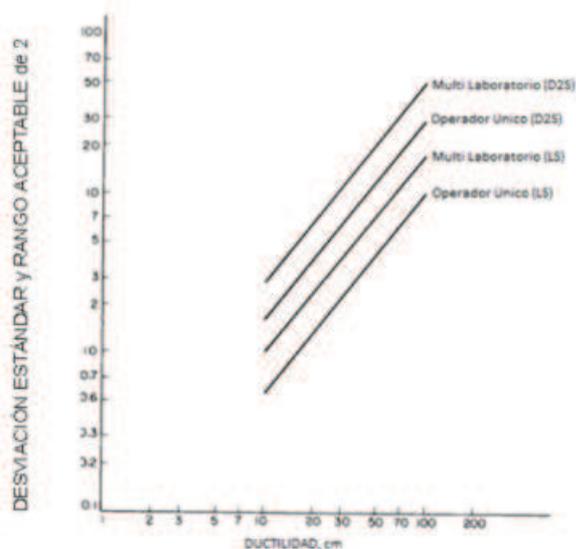


Figura 17. Datos de precisión

Fuente: (NTE INEN 916, 2013)

Se presenta a continuación las especificaciones para cementos asfálticos según las normas ASTM e INEN especificadas:

Tabla 7.

Especificaciones para cementos asfálticos. Clasificados por su viscosidad a 60°C

Característica	Unidades	Metodo ASTM	Grado de viscosidad					
			AC-25	AC-5	AC-10	AC-20	AC-30	AC-40
Ductilidad 25°C. 5 cm/min, mínimo	cm	D-113	100	100	75	50	40	25

Fuente: (Salazar Delgado, 2011)

Tabla 8.

Requisitos de cementos asfálticos, para los tipos comprendidos de 200 dmm a 20 dmm de penetración

Ensayo	Unidad	AC-2.5		AC-5		AC-10		AC-20		AC-40		Norma de ensayo
		Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	
Ductilidad a 25°C, 5 cm/min	cm	100	-	100	-	50	-	20	-	10	-	NTE INEN 916

Fuente: (NTE INEN 2-061, 1996)

Tabla 9.

Requisitos de cementos asfálticos, para los tipos comprendidos de 220 dmm a 40 dmm de penetración

Ensayo	Unidad	AC-2.5		AC-5		AC-10		AC-20		AC-30		AC-40		Norma de ensayo
		Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	
Ductilidad a 25°C, 5 cm/min	cm	100	-	100	-	75	-	50	-	40	-	25	-	NTE INEN 916

Fuente: (NTE INEN 2-061, 1996)

3.3.6.1.7. Punto de Reblandecimiento

Los asfaltos de diferentes tipos reblandecen a temperaturas diferentes. El punto de reblandecimiento se determina usualmente por el método de ensayo arbitrario de anillo y bola. Aunque este ensayo no se incluye en las especificaciones para los asfaltos de pavimentación, se emplea frecuentemente para caracterizar los materiales más duros empleados en otras aplicaciones e indica la temperatura a que estos asfaltos se hacen fluidos. Consiste en llenar de asfalto fundido un anillo de latón de dimensiones normalizadas. La muestra así preparada se suspende en un baño de agua y sobre el centro de la muestra se sitúa una bola de acero de dimensiones y peso especificados. A continuación se calienta el baño a una velocidad determinada y se anota la temperatura en el momento en que la bola de acero toca el fondo del vaso de cristal. Esta temperatura se llama punto de reblandecimiento del asfalto.

Los procedimientos y aparatos necesarios para la realización del ensayo se describen con detalle en los métodos AASHTO T53 y ASTM D36.

3.3.6.1.8. Contenido de Parafina

En lo concerniente a la influencia del contenido de parafinas en asfaltos hay mucha discrepancia. En los estudios de laboratorio es conocido el efecto sobre propiedades como la penetración y la viscosidad a 60oC.

La cristalización de estos compuestos hace que los valores del punto de ablandamiento calculados a partir de la viscosidad sean menores a los obtenidos experimentalmente. Estos efectos son más visibles en el caso de parafinas ricas en n-alcanos. El contenido de parafinas depende de gran manera del crudo de donde fue obtenido el asfalto siendo más comunes las microcristalizadas que las macrocristalizadas. (Sosa Cárdenas, 2012)

3.3.6.1.9. Viscosidad

Según NTE INEN (2010) la viscosidad es una propiedad fisicoquímica que relaciona la aplicación de la resistencia al flujo y la velocidad de flujo. En ocasiones llamado coeficiente de viscosidad dinámica. Este valor, es en sí, una medida de resistencia al flujo del líquido. La unidad de la viscosidad en el sistema internacional es el pascal segundo (Pa s). Un centipoise (cP) equivale a una mili pascal segundo.

Sanchez Sabolgal (2008) asegura que los cementos asfálticos pueden ser clasificados por el grado de viscosidad según los siguientes aspectos:

- Se basa en la determinación de la viscosidad absoluta del producto a 60°C
- Cuando las pruebas se realizan sobre el asfalto original se designan como AC-2.5; AC-5; AC-10; AC-20 y AC-40 y se designan como AR 1000, AR 2000, AR 4000, AR 8000 y AR 1600, cuando se efectúan sobre muestras de asfaltos sometidos a un ensayo de envejecimiento acelerado
- En el primer caso, el número de identificación es la centésima parte de la viscosidad deseada a 60°C, en Poises, y en el segundo caso es la viscosidad deseada a la misma temperatura, en Poises.

Tabla 10.

Clasificación para los tipos comprendidos de 200 dmm a 20 dmm de penetración

Tipo	Viscosidad a 60 °C, Pascal segundo (Pa s)⁽¹⁾
AC-2,5	25± 5
AC-5	50 ± 10
AC-10	100 ± 20
AC-20	200 ± 40
AC-40	400 ± 80
⁽¹⁾ 1 Pa s(Pascal segundo) = 10 P (Poise). Ver NTE INEN 53	

Fuente: (NTE INEN 2515, 2010)

Tabla 11.

Clasificación para los tipos comprendidos de 220 dmm a 40 dmm de penetración

Tipo	Viscosidad a 60 °C, Pascal segundo (Pa s)⁽²⁾
AC-2.5	25 ± 5
AC-5	50 ± 10
AC-10	100 ± 20
AC-20	200 ± 40
AC-30	300 ± 60
AC-40	400 ± 80
⁽²⁾ 1 Pa s (Pascal segundo) = 10 P (Poise). Ver NTE INEN 53	

Fuente: (NTE INEN 2515, 2010)

Tabla 12.

Clasificación basada en el residuo del ensayo de película fina en horno rotatorio

Tipo	Viscosidad a 60 °C, Pascal segundo (Pa s)⁽³⁾
AR-100	100 ± 25
AR-200	200 ± 50
AR-400	400 ± 100
AR-800	800 ± 200
AR-1600	1 600 ± 400
⁽³⁾ 1 Pa s (Pascal segundo) = 10 P (Poise). Ver NTE INEN 53	

Fuente: (NTE INEN 2515, 2010)

Tabla 13.

Requisitos de cementos asfálticos, para los tipos comprendidos de 200 dmm a 20 dmm de penetración

Ensayo	Unidad	AC-2.5		AC-5		AC-10		AC-20		AC-40		Norma de ensayo
		Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	
Viscosidad absoluta a 60 °C	Pa s ⁽⁴⁾	25 ± 5		50 ± 10		100 ± 20		200 ± 40		400 ± 80		ASTMD2171
Viscosidad cinemática a 135 °C	mm ² s ⁻¹⁽⁵⁾	80	--	110	--	150	--	210	--	300	--	ASTMD2170

Fuente: (NTE INEN 2-061, 1996)

Tabla 14.

Requisitos de cementos asfálticos, para los tipos comprendidos de 220 dmm a 40 dmm de penetración

Ensayo	Unidad	AC-2.5		AC-5		AC-10		AC-20		AC-30		AC-40		Norma de Ensayo
		Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	
Viscosidad absoluta a 60 °C	Pa s ⁽⁷⁾	25 ± 5		50 ± 10		100 ± 20		200 ± 40		300 ± 60		400 ± 80		ASTM D2171
Viscosidad cinemática a 135 °C.	mm ² s ⁻¹⁽⁸⁾	125	--	175	--	250	--	300	--	350	--	400	--	ASTM D2170

Fuente: (NTE INEN 2-061, 1996)

Tabla 15.

Requisitos para cemento asfáltico de viscosidad a 60 °C

Pruebas realizadas al residuo del ensayo de película fina en horno rotatorio. ⁽¹⁰⁾	Unidad	AR-100	AR-200	AR-400	AR-800	AR-1 600	Norma de Ensayo
		Mínimo ⁽¹²⁾					
Viscosidad absoluta a 60 °C	Pa s ⁽¹¹⁾	100 ± 25	200 ± 50	400 ± 100	800 ± 200	1 600 ± 400	ASTM D2171
Viscosidad cinemática a 135 °C	mm ² s ⁻¹⁽¹³⁾	140	200	275	400	550	ASTM D2170

Fuente: (NTE INEN 2-061, 1996)

Para la determinación de la viscosidad en cementos asfálticos se resumen las siguientes normas.

Tabla 16.

Normas para la determinación de viscosidad en cementos asfáltico

NORMA	ASTM	AASHTO
Método para determinar la viscosidad cinemática	D 2170	T 201-01
Método para determinar la viscosidad mediante viscosímetros capilares de vacío	D 2171	T 202-91
Método superpave para medir la viscosidad mediante el viscosímetro rotacional brookfield	D 4402-06	TP 48

3.3.6.2. Asfalto Diluido

3.3.6.2.1. Agua

En la INEN-2061, sección 5.1 se establece que los asfaltos diluidos deben, en lo posible, estar libres de agua debido a que puede formarse espuma cuando se calienten a la temperatura de empleo. El contenido de agua puede ser determinado mediante la norma ASTM D-95, el ensayo está descrito por Jambrina (2013).

3.3.6.2.2. Densidad Relativa

La densidad relativa se define como la relación entre la masa de un volumen dado del material a la temperatura t_1 , y la masa de un volumen igual de agua pura a la temperatura t_2 , o lo que es lo mismo, la relación entre la densidad del material a t_1 y la densidad del agua a t_2 .

La temperatura normalizada de ensayo es la 25°C aunque puede emplearse otras temperaturas, siempre que se determine las calibraciones y correcciones correspondientes. El procedimiento general de ensayo, aplica a los materiales líquidos, semilíquidos y sólidos, está basado en la determinación de la densidad relativa mediante el picnómetro, obtenida comparando las masas de volúmenes iguales de material y agua a la misma temperatura; ésta no específica, se entenderá la temperatura normalizada de 25 °C. (Ministerio de Obras Publicas y Comunicaciones, 2011)

3.3.6.2.3. Destilación

“El objetivo de la prueba de destilación es la de determinar la cantidad de disolvente que contiene el producto asfáltico y conocer sus características en lo referente a volatilización” (Crespo, Vías de comunicación: caminos, ferrocarriles, aeropuertos, puentes y puertos, 1996)

Es imposible predecir con exactitud del 100% si un crudo en particular producirá asfaltos según las especificaciones, sin proceder a la separación material de los asfaltos del crudo y realizar los ensayos. Existen, sin embargo, ciertas características del crudo de petróleo que indican si son posibles fuentes de asfalto. Si el crudo de petróleo contiene un residuo (punto de ebullición medio 750°F) con un factor de caracterización de Watson menor que 11,8 y la densidad es inferior a los 35° API, normalmente es adecuado para la fabricación de asfalto. Sin embargo, si la diferencia entre los factores de caracterización para las fracciones de 750°F y 550°F no es inferior a 0,15 el residuo puede contener demasiada cera para satisfacer la mayoría de las especificaciones de los asfaltos.

NTE INEN-921, establece que la destilación de los materiales bituminosos (cutback) se obtiene a partir de una muestra de 200 cm³ de la muestra de un balón de 500 cm³ a un ritmo determinado y se mide los volúmenes obtenidos a temperaturas especificadas.

NTE INEN-2 061, establece en tablas los valores tolerables para los siguientes asfaltos:

- **Asfalto de curado rápido (RC).** Es el asfalto diluido compuesto de betún asfáltico y un disolvente de tipo nafta o gasolina, muy volátil.

Tabla 17.

Destilación de asfaltos diluidos de curado rápido

DESTILACIÓN	UNI-DAD	GRADO I				METODO DE ENSAYO
		RC-70	RC-250	RC-800	RC-3000	
a 190°C	%V	10	-	-	-	NTE INEN 921 NTE INEN 915
a 225°C	%V	50	35	15	-	NTE INEN 924
a 260°C	%V	70	60	45	25	NTE INEN 918
a 315°C	%V	85	80	75	70	NTE INEN 916
Residuo por destilacion a	%V	55	65	75	80	

Fuente: (NTE INEN 2-061, 1996)

- **Asfalto de curado medio (MC).** Es el asfalto diluido compuesto de betún asfáltico y un disolvente de tipo Diésel No, 1 (queroseno), de volatilidad media.

Tabla 18.

Destilación de asfaltos diluidos de curado medio

DESTILACIÓN	UNI-DAD	GRADO II										METODO DE ENSAYO
		MC-30		MC-70I		MC-250		MC-800		RC-3000		
		Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	
a 225°C	%V	-	25	0	20	0	10	-	-	-	-	NTE INEN 921
a 260°C	%V	40	70	20	60	15	55	0	35	0	15	
a 315°C	%V	75	93	65	90	60	87	45	80	15	75	
Residuo por destilación a 360°C	%V	50	-	55	-	67	-	75	-	80	-	

Fuente: (NTE INEN 2-061, 1996)

- **Asfalto de curado lento (SC).** Es el asfalto diluido compuesto de betún asfáltico y aceites relativamente poco volátiles, tales como el gasóleo.

Tabla 19.

Destilación de asfaltos diluidos de curado lento

DESTILACIÓN	UNI-DAD	GRADO III								METODO DE ENSAYO
		SC-70		SC-250		SC-800		SC-3000		
		Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	
a 360°C	°C	10	30	4	20	2	12	-	5	NTE INEN 921

Fuente: (NTE INEN 2-061, 1996)

ASTM D 402 (1997) Establece temperaturas corregidas para fracciones de destilado a distintas altitudes donde se vaya a realizar el ensayo de destilación para asfalto cortado.

Tabla 20.

Temperatura corregida para fracciones de destilado a distintas altitudes

Elevación sobre el Nivel del mar(m)	Temperaturas para Fracciones de Destilado a Distintas Altitudes (° C)				
-305	192	227	263	318	362
-152	191	226	261	317	361
0	190	225	260	318	360
152	189	224	259	315	359
305	189	224	258	314	358
457	188	223	258	313	357
610	187	222	257	312	356
762	186	221	256	312	355
914	186	220	255	311	354
1.067	185	220	254	310	353
1.219	184	219	254	309	352
1.372	184	218	253	308	351
1.524	183	218	252	307	350
1.676	182	217	251	306	349
1.829	182	216	250	305	349
1.981	181	215	250	305	348
2.134	180	215	249	304	347
2.286	180	214	248	303	346
2.438	179	213	248	302	345

Fuente: (ASTM D 402, 1997)

Además, AASHTO T78 (1996), recomienda que algunos productos asfálticos cortados producen muy poco o nada de destilado en el rango de temperatura sobre 316° C. En ese caso llega a ser impracticable mantener la velocidad de destilación especificada. En esas situaciones el propósito del Método, es saber si la velocidad de ascenso de la temperatura excede de 5° C/min.

3.3.6.2.4. Punto de Inflamación

Según Tomala et al. (2011) representa la temperatura hasta la cual un asfalto puede calentarse sin que este se inflame en presencia de una llama. El ensayo que permite determinar el punto de inflamación está dado por (NTE INEN-808, 1987).

A continuación se presentan los valores que la INEN-2061 exige en los asfaltos diluidos, con respecto al punto de inflamación y contenido de agua.

Tabla 21.

Especificaciones de Asfaltos diluidos-Curado Rápido

	RC-70	RC-250	RC-800	RC-3000	Método de Ensayo
Punto de Inflamación (°C)-Vaso Abierto	-	27	27	27	NTE INEN 808
Porcentaje de Agua (%)	0,2	0,2	0,2	0,2	ASTM D 95

Fuente: (NTE INEN 2-061, 1996)

Adaptado

Tabla 22.

Especificaciones de Asfaltos diluidos-Curado Medio

	MC-30	MC-70	MC-250	MC-800	MC-3000	Método de Ensayo
Punto de Inflamación (°C)-Vaso Abierto	38	38	66	66	66	NTE INEN 808
Porcentaje de Agua (%)	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	ASTM D 95

Fuente: (NTE INEN 2-061, 1996)

Adaptado

Tabla 23.

Especificaciones de Asfaltos diluidos-Curado Lento

	SC-70	SC-250	SC-800	SC-3000	Método de Ensayo
Punto de Inflamación (°C)-Cleveland	66	79	93	107	NTE INEN 808
Porcentaje de Agua (%)	0,5	0,5	0,5	0,5	ASTM D 95

Fuente: (NTE INEN 2-061, 1996)*Adaptado***3.3.6.2.5. Viscosidad**

Según Valenzuela (2003) los asfaltos cortados, AC, llamados también diluidos, líquidos o Cut-Backs. Se presenta como un líquido de color negro, de viscosidad variable. Por esta razón se los divide también, según su viscosidad cinemática (Centistokes): 30, 70, 250, 800, 3000.

Rico Rodríguez & del Castillo (1998) afirma que los solventes para rebajados son usualmente la gasolina, la kerosena y una mezcla de kerosena y diese, para dar lugar respectivamente a los asfaltos cortados de fraguado rápido, medio y lento.

Tabla 24.

Viscosidad más frecuente exigida a los asfaltos cortados de fraguado medio para ser usados en estabilizaciones

Propiedad	Grado 0		Grado 1		Grado 2	
	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
Viscosidad en Stokes a 50°C	0,36	0,71	1,1	2,2	3,6	7,1

Fuente: (Rico Rodríguez & del Castillo, 1998)

Tabla 25.

Viscosidad más frecuente exigida a los asfaltos cortados de fraguado medio para ser usados en estabilizaciones

Propiedad	Ligero		Medio		Pesado	
	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
Viscosidad en Stokes a 50°C	0,36	0,71	0,7	1,4	1,1	2,2

Fuente: (Rico Rodríguez & del Castillo, 1998)

ASTM D 2170 (1995) establece una aceptabilidad de los resultados de prueba para la viscosidad cinemática.

Tabla 26.

Aceptabilidad de resultados para viscosidad cinemática

Material and Type Index	Coefficient of Variation (% of mean) ^A	Acceptable Range of Two Results (% of mean) ^A
Single-operator precision:		
Asphalt cements at 275°F (135°C)	0.64	1.8
Liquid asphalts at 140°F (60°C):		
below 3000 cSt	0.53	1.5
3000 to 6000 cSt	0.71	2.0
6000 cSt and above	3.2	8.9
Multilaboratory precision:		
Asphalt cements at 275°F (135°C)	3.1	8.8
Liquid asphalts at 140°F (60°C):		
below 3000 cSt	1.06	3.0
3000 to 6000 cSt ^B	3.11	9.0
above 6000 cSt ^B	3.6	10.0

^AThese numbers represent, respectively, the (1s %) and (d2s %) limits as described in Practice C 670.

^BBased on less than 30 degrees of freedom.

Fuente: (ASTM D- 2170, 1995)

“Los valores indicados en la columna 2 son los coeficientes de variación que se han encontrado apropiados para los materiales y las condiciones de prueba descrita en la columna 1. Los valores indicados en la columna 3 son

los límites que no deben ser superados por la diferencia entre los resultados de dos pruebas realizadas correctamente” (ASTM D- 2170, 1995; ASTM D 113, 1999).

Tabla 27.

Viscosidad de asfaltos diluidos de curado rápido

REQUISITO	UNI-DAD	GRADO I								METODO DE ENSAYO
		RC-70		RC-250		RC-800		RC-3000		
Viscosidad cinemática, a 60°C	cSt	70	140	250	599	800	1600	3000	6000	ASTM D-2170

Fuente: (NTE INEN 2-061, 1996)

Tabla 28.

Viscosidad de asfaltos diluidos de curado rápido

REQUISITO	UNI-DAD	GRADO II										METODO DE ENSAYO
		MC-30		MC-70I		MC-250		MC-800		RC-3000		
		Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	
Viscosidad cinemática, a 60°C	cSt	30	60	70	140	250	500	800	1600	3000	6000	ASTM D 2170

Fuente: (NTE INEN 2-061, 1996)

Tabla 29.

Viscosidad de asfaltos diluidos de curado rápido

REQUISITOS	UNI-DAD	GRADO III								METODO DE ENSAYO
		SC-70		SC-250		SC-800		SC-3000		
		Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	
Viscosidad cinemática, a 60°C	cSt	70	140	250	500	800	1600	3000	6000	ASTM D-2170

Fuente: (NTE INEN 2-061, 1996)

3.3.6.3. Emulsión Asfáltica

3.3.6.3.1. Carga de las partículas

El ensayo de carga de las partículas es utilizado para identificar emulsiones catiónicas. Para su realización, se sumergen, en una muestra de la emulsión, un electrodo positivo (ánodo) y un electrodo negativo (cátodo); se conectan ambos a una fuente eléctrica de corriente continua controlada. Finalizando el ensayo, se observan los electrodos para determinar si en el cátodo se ha depositado una apreciable capa de asfalto. De ser así, se trata de una emulsión catiónica. (González Escobar, Jiménez Angulo, & López Cornejo, 2007)

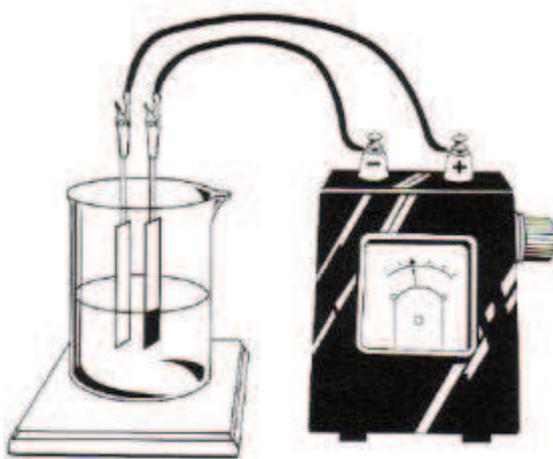


Figura 18. Ensayo de Carga de Partículas

Fuente: (González Escobar, Jiménez Angulo, & López Cornejo, 2007)

3.3.6.3.2. Ensayo de pH

Esta prueba permite verificar la acidez o alcalinidad de la solución acuosa del surfactante mediante un potenciómetro. El pH de la emulsión es difícil de determinar, debido a que ésta se adhiere a las paredes de los electrodos del equipo de medición, y no se obtienen resultados exactos; sin embargo, se

puede tener un valor aproximado, por cuanto el pH de las emulsiones varía entre 0.5 y 0.8 con respecto al pH de la solución acuosa.

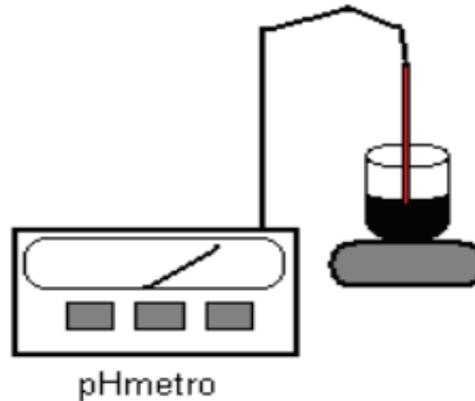


Figura 19. Muestra de Emulsión sometida al PHmetro

Fuente: (González Escobar, Jiménez Angulo, & López Cornejo, 2007)

3.3.6.3.3. Tamizado

El ensayo de tamiz es otra forma de medir la calidad y la estabilidad de la emulsión. La retención de una excesiva cantidad de partículas de asfalto sobre un tamiz indica que puede haber problemas en la manipulación y aplicación del material. En este ensayo, una muestra representativa de emulsión asfáltica es vertida a través de un tamiz de 850 mm (No 20).

En el caso de emulsiones aniónicas, el tamiz y el asfalto retenido son lavados primero con una solución débil de oleato de sodio y luego con agua destilada. Para emulsiones catiónicas, el lavado solo se hace con agua destilada. Luego del lavado, el tamiz y el asfalto se secan en estufa, determinándose el peso del asfalto retenido. (González Escobar, Jiménez Angulo, & López Cornejo, 2007)

Tabla 30.

Tamaños mínimos de muestras recomendados

	Tamaño Maximo (Pulgadas)	Peso seco minimo a ensayar (gramos)
Agregado Grueso	3/8	1000
	1/2	2500
	3/4	5000
	1	10000
	1 1/2	15000
	2	20000
	2 1/2	25000
	3	30000
	3 1/2	35000
Agregado Fino	Suelos Arcillosos y Limosos	500
	Suelos Arenosos	1000

Fuente: (González Escobar, Jiménez Angulo, & López Cornejo, 2007)

3.3.6.3.4. Sedimentación

Estos ensayos ponen de manifiesto la estabilidad de la emulsión durante el almacenamiento. Ellos detectan la tendencia de los glóbulos de asfalto a sedimentar a lo largo de un período de tiempo. Un dado volumen de emulsión se deja reposar en una probeta graduada durante un lapso especificado (cinco días para el ensayo de sedimentación y 24 horas para el ensayo de estabilidad para almacenamiento), luego se toman muestras del fondo y de la superficie de la probeta. Cada muestra se coloca en un vaso de precipitado y es pesada y calentada hasta evaporar el agua. Luego se pesa el residuo. Los pesos obtenidos se utilizan para hallar la diferencia, si la hay, entre los contenidos de residuo asfáltico de las fracciones superior e inferior de la probeta. Dicha diferencia es una medida de la sedimentación. . (González Escobar, Jiménez Angulo, & López Cornejo, 2007)

3.3.6.3.5. Viscosidad

Esta prueba cuantifica el estado de fluidez de la emulsión a la temperatura de estudio. Se lleva a cabo con un viscosímetro del tipo Saybolt, en el cual se mide el tiempo en que la muestra de emulsión llena un matraz aforado de 60 cm³. Este tiempo se utiliza como una característica del tipo de rompimiento de una emulsión; rápido, medio o lento. Los resultados se reportan en segundos Saybolt Furol, y por conveniencia y precisión de ensayo, se realiza a dos temperaturas, 25 °C y 50 °C, las cuales cubren el intervalo normal de trabajo. (González Escobar, Jiménez Angulo, & López Cornejo, 2007)

3.3.6.3.6. Mezclado con rellenos de Silicio – Ruptura

La rotura de una emulsión asfáltica corresponde a la separación del asfalto y el agua que la conforman (Núñez Villalón, 2008). Las emulsiones tienen que desestabilizarse para que el asfalto residual se deposite como una capa sobre el material pétreo. Este fenómeno de rompimiento de la emulsión es provocado por la carga eléctrica del material pétreo (agregado silíceo con carga negativa o agregado calcáreo con carga positiva), la misma que neutraliza la carga de las partículas de asfalto, permitiendo que estas se acerquen unas a otras para formar agregados de mayor tamaño; estos últimos son los que se depositan sobre el material pétreo formando una capa asfáltica (Tomala *et al.*, 2011).

Las emulsiones se clasifican de acuerdo a su polaridad y velocidad de quiebre o rotura:

Tabla 31.

Nomenclatura de una Emulsión a partir de su Polaridad y Velocidad de Rotura

Velocidad de Rotura	Polaridad de Emulsión	
	Catiónica	Aniónica
Rápido	CRS	RS
Medio	CMS	MS
Lento	CSS	SS

Fuente: (Núñez Villalón, 2008)

Adaptado

El ensayo descrito en la ASTM D-244 permite determinar si una emulsión es aniónica o catiónica basándose en la carga eléctrica que tienen los glóbulos de asfalto; para esto se introducen unos electrodos en una muestra de la emulsión, y se hace pasar corriente eléctrica durante cierto tiempo. El electrodo con la mayor disposición de asfalto libre determinará el tipo de emulsión. Una variante de este ensayo consiste en medir el tiempo en que la lectura de la intensidad de corriente pasa de 8mA a 2mA, con el fin de clasificar la emulsión según el tipo de rompimiento (Mercado, Bracho, & Avendaño, 2008).

Tabla 32.

Clasificación de una Emulsión a partir del Tipo de Rotura

Tipo de Rotura	Tiempo (min)
Rápida	3 a 15
Media	15 a 45
Lenta	45 a 90

Fuente: (Mercado, Bracho, & Avendaño, 2008)

Adaptado

Índice de Rotura

Cuando se observa la actividad de una emulsión asfáltica frente a materiales finos se puede medir su velocidad de rotura. El material de referencia puede ser cemento Portland o polvo de Sílice, según el tipo de emulsión a estudiar (Mercado *et al.*, 2008). En una determinada cantidad de emulsión, se introduce el relleno a cierta velocidad y con agitación constante para homogeneizar la mezcla; el relleno se añade hasta la rotura de la emulsión. El índice de rotura se expresa como la relación entre la cantidad de relleno añadido y la cantidad de emulsión ensayada.

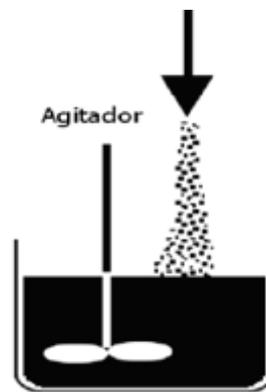


Figura 20. Medición del Índice de Rotura

Fuente: (Mercado, Bracho, & Avendaño, 2008)

3.3.6.3.7. Destilación

El residuo de una emulsión asfáltica mediante destilación se obtiene mediante el ensayo descrito por (NTE INEN-901, 1983).

Las especificaciones presentadas en las siguientes tablas son mencionadas por NTE INEN 2062 (1996), se debe aclarar que los valores numéricos tabulados representan porcentaje de volumen de emulsión asfáltica.

Tabla 33.

Especificaciones de Emulsión Asfáltica Catiónica-Destilación

Destilación (%V)	CRS-1	CRS-2	CMS-2	CMS-2h	CSS-1	CSS-2h	Método Ensayo
Aceite destilado máximo	3	3	12	12	-	-	NTE INEN 901
Residuo mínimo	60	65	65	65	57	57	

Fuente: (NTE INEN 2062, 1996)*Adaptado***Tabla 34.**

Especificaciones de Emulsión Asfáltica Aniónica-Destilación

Destilación (%V)	RS-1	RS-2	MS-1	MS-2	MS-2h	HFMS-1
Residuo mínimo	55	63	55	65	65	55
Destilación (%V)	HFMS-2	HFMS-2h	HFMS-2s	SS-1	SS-1h	
Residuo mínimo	65	65	65	57	57	

Fuente: (Tomala Magallanes & Laica Pino, 2011)*Adaptado***3.3.6.3.8. Mezclado con cemento – Ruptura**

El ensayo de mezcla con cemento representa para las emulsiones asfálticas de rotura lenta lo que el ensayo de desemulsión para las emulsiones de rotura rápida. En la obra, las emulsiones de rotura lenta son a menudo mezcladas con materiales finos y agregados con polvo. En este ensayo, una muestra de emulsión asfáltica se mezcla con cemento Portland finamente molido; la mezcla se lava sobre un tamiz de 1.40 mm de abertura

(No 14). Las especificaciones limitan la cantidad de material retenido en el tamiz. El resultado del ensayo indica la capacidad de una emulsión asfáltica de rotura lenta para mezclarse, Sin romper, con un material de alta superficie específica. (González Escobar, Jiménez , & López Cornejo, 2007)

3.3.6.3.9. Resistencia al agua

Este ensayo se realiza para emulsiones MS (emulsiones de rotura media) y tiene como objetivo comprobar el revestimiento en agregados, los cuales permanecen como una película durante la mezcla y resisten la acción de lavado del agua después del mezclado.

El ensayo consiste en dos pasos. En el primer paso, el agregado está recubierto con polvo de carbonato de calcio y luego es mezclado con la emulsión. La mitad de la mezcla se coloca sobre papel absorbente para la inspección visual del recubrimiento. El resto se rocía con agua y es enjuagado hasta que el agua se torne clara, por último se coloca sobre el papel absorbente para inspeccionar el recubrimiento. En el segundo paso se repite el primer paso, pero la emulsión se añade al agregado solo después de cubrir al agregado con agua (B Mallick & El-Korchi, 2013)

3.3.6.3.10. Desemulsificación

El ensayo de demulsibilidad da una indicación de la velocidad relativa a la que los glóbulos coloidales de asfalto de las emulsiones de rotura rápida y media se unirán entre sí (o la emulsión romperá) cuando la emulsión se extienda en película delgada sobre el terreno o los áridos. El cloruro cálcico coagula o flocula los diminutos glóbulos de asfalto presentes en estas emulsiones. En el ensayo se mezcla con emulsión asfáltica una solución de cloruro cálcico en agua, tamizando a continuación la mezcla para determinar la cantidad de asfalto separada de la emulsión.

En el ensayo de las emulsiones de rotura rápida (RS) se emplea una solución muy débil de cloruro cálcico; las especificaciones determinan la

concentración de la solución y la cantidad mínima de asfalto que debe quedar en el tamiz. En este tipo de emulsiones es necesario un alto grado de demulsibilidad, ya que se espera de ellas que rompan casi inmediatamente al contacto con los áridos a los que se aplican.

El ensayo de las emulsiones de rotura media (MS) exige el empleo de una solución de cloruro cálcico más fuerte que la empleada en el ensayo de los tipos de rotura rápida. En las aplicaciones en las que se especifica el tipo MS no se desea la rápida coalescencia del asfalto, y las especificaciones demuestran normalmente, para estos productos, un límite máximo de la demulsibilidad, así como la concentración de la solución (UMSS - Facultad de Ciencias y Tecnología).

El material y procedimiento para la realización de este ensayo se encuentra en la normativa AASHTO T-59 y ASTM D244.

3.3.6.4. Brea

3.3.6.4.1. Fluctuación

La medición de flujo de una cierta cantidad de brea se determina con el experimento de la gota de brea. La brea es uno de los muchos líquidos altamente viscosos aparentemente sólidos, siendo los más comunes los bitúmenes. A temperatura ambiente, la brea fluye muy lentamente.

Parnell menciona que la brea es una de las sustancias que aparentan ser sólidos, pero son de hecho fluidos de alta viscosidad. Investigaciones indican que la viscosidad de la brea es aproximadamente $2,3 \times 10^{11}$ veces la del agua (Edgeworth, Dalton, & Parnell).

3.3.6.4.2. Índice de Sulfonación

El agente de sulfonación más utilizado es el ácido sulfúrico concentrado, aunque también pueden emplearse ocasionalmente el trióxido de azufre,

ácido clorosulfónico, sulfatos metálicos, y ácido sulfámico. Sin embargo, a causa de la naturaleza y propiedades del ácido sulfúrico, es muy deseable utilizarlo para llevar a cabo la sustitución nucleofílica siempre que sea posible. Para cada sustancia que está siendo sulfatada, existe una concentración crítica del ácido por debajo de la cual la sulfonación cesa. La remoción del agua formada en esta reacción es por tanto esencial. El uso de un exceso muy grande de ácido, aunque resulta muy caro, puede mantener una concentración esencialmente constante a medida que la reacción progresa. No resulta fácil volatilizar el agua contenida en las soluciones concentradas de ácido sulfúrico, aunque en ocasiones la destilación isotrópica puede ayudar a realizarlo. (Ecu Red: conocimientos con todos y para todos, 2015)

3.3.6.4.3. Viscosidad Engler

Viscosidad Engler: Medida de viscosidad que expresa el tiempo de flujo de un volumen dado a través de un viscosímetro de Engler en relación con el tiempo requerido para el flujo del mismo volumen de agua, en cuyo caso la relación se expresa en grados Engler. (Puerdo, Lucas, Galarza, & Zambrano, 2013)

Viscosímetro de Engler es un dispositivo que se emplea para medir viscosidad cinemática aproximada de aceites de grado SAE 60 con buena eficiencia. Está conformado por una taza metálica central, con tapa revestida de bronce, en cuyo fondo tiene un agujero central de 2,8mm, de diámetro por donde fluirá el aceite. Este agujero se mantiene cerrado mediante un pin obturador de metal, que puede ser levantado sin necesidad de abrir la tapa. Un recipiente para agua circunda a la taza y sirve para calentar agua que mantendrá a una temperatura uniforme toda la taza utilizando el agitador incorporado del equipo. (Fierro Carrasco, y otros, 2012)

Las breas ligeras oscilan en su viscosidad, según la escala Engler, a 40°C. (Sociedad Cubana de Ingenieros, 1999)

3.3.6.4.4. Ensayo de Agua

Este método de ensayo cubre la determinación, por medida directa del contenido de agua presente en mezclas asfálticas en caliente. Su importancia: El valor del contenido de agua es importante para efectos de refinación, venta, compra e intercambio de productos. La cantidad de agua es determinada por este método puede ser utilizada para corregir el volumen involucrado en la custodia e intercambio de productos del petróleo. El espécimen de ensayo es alrededor de 500 gramos de mezcla asfáltica o material bituminoso. El material es analizado mediante calentamiento en un reflujo con un solvente inmisible en agua, ambos se destilan durante el proceso, este condensado queda retenido en una trampa la cual esta graduada. (Norma de referencia: AASHTO T 55)

3.3.6.4.5. Destilación

La brea no se obtiene como producto, sino como subproductos. Normalmente estos carbones vegetales (hulla, antracita), los calentamos para que se desprendan los hidrocarburos que guardan en su interior y entonces obtenemos el gas ciudad. Este gas va por unas tuberías, y en las tuberías encontramos un residuo viscoso que es a lo que llamamos brea en bruto. Esta brea se le somete a un proceso de destilación, donde vamos separando aceites de distinta finura, y al final nos va a quedar solo la brea. (Villarino Otero, Ciencia y Tecnología de los Materiales, 2012)

- **Destilación:** Proceso físico al que se somete al petróleo para separar sus distintas fracciones, las que se diferencian por sus temperaturas de ebullición. Se clasifica en dos tipos: destilación atmosférica y destilación al vacío.
- **Destilación atmosférica:** Proceso de destilación del petróleo a presión atmosférica.

- **Destilación al vacío:** Proceso de destilación del crudo reducido a presiones inferiores a la atmosférica. (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2003)

3.3.6.4.6. Punto de Reblandecimiento

Es una medida de la susceptibilidad térmica. El punto de reblandecimiento aumenta cuando aumenta la densidad y la penetración disminuye. Un ensayo para su medida es el de anillo y bola (A y B) consiste en aumentar la temperatura, midiendo cuando la bola llega al fondo del recipiente arrastrando el producto bituminoso. (Villarino Otero, Ciencia y Tecnología de los Materiales, 2012)



Figura 21. Ensayo anillo y bola

Fuente: (Villarino Otero, Ciencia y Tecnología de los Materiales, 2012)

3.3.6.4.7. Solubilidad

Para determinar la solubilidad de una brea se disuelve la muestra en un solvente específico y se filtra en un filtro con capa de asbesto. El material retenido en el filtro se lava, se seca y se pesa. Los solventes utilizados son: disulfuro y tetracloruro de carbono. La norma a seguir para determinar la solubilidad es la NTE INEN 0925 (1984): Materiales bituminosos. Determinación de la solubilidad en solventes orgánicos. También se puede seguir el procedimiento que dicta la ASTM D 2042. (NTE INEN 925, 1984)

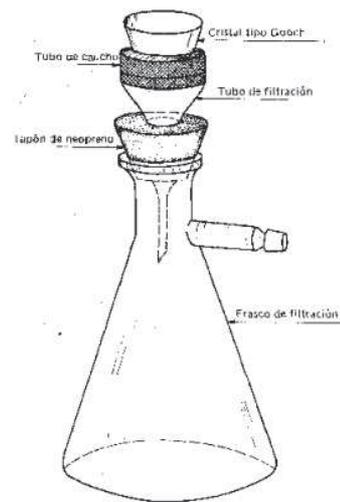


Figura 22. Aparato de filtración

Fuente: (NTE INEN 925, 1984)

3.3.6.4.8. Densidad Relativa

La densidad relativa es un ensayo para determinar las características físicas del ligante. Se define como el cociente entre la masa de un determinado volumen de la muestra y la de un mismo volumen de agua a una temperatura de 25°C. Para ello se emplea el picnómetro. La densidad relativa de una breña oscila entre 1,10 y 1,25. (Bañón Blázquez, 2000)

3.3.6.5. Utilización de Materiales Bituminosos en Servicios de Pavimentación

Son muchas y muy variadas las aplicaciones que presentan las diferentes familias de productos bituminosos existentes actualmente en el mercado. El siguiente esquema trata de hacer un resumen recopilatorio de todas ellas:

Tabla 35.

Aplicaciones de los productos bituminosos

APLICACIÓN	TIPOLOGÍA
MEZCLAS BITUMINOSAS EN CALIENTE	<ul style="list-style-type: none"> ▪ B 40/50, B 60/70, B 80/100 ▪ BM-2, BM-3a, BM-3b, BM-3c
MEZCLAS BITUMINOSAS EN FRÍO	<ul style="list-style-type: none"> ▪ EAM, EAL-1, ECM, ECL-1 ▪ ECM-m, EAM-m, ECL-2m
RIEGOS DE IMPRIMACIÓN	<ul style="list-style-type: none"> ▪ EAL-1, ECL-1, EAI, ECI ▪ FM-100
RIEGOS DE ADHERENCIA	<ul style="list-style-type: none"> ▪ EAR-0, EAR-1, ECR-0, ECR-1 ▪ ECR-1m, ECR-2m
TRATAMIENTOS SUPERFICIALES CON GRAVILLA	<ul style="list-style-type: none"> ▪ B 150/200, BM-5 ▪ EAR-1, EAR-2, ECR-1, ECR-2, ECR-3 ▪ ECR-2m, ECR-3m ▪ FX-175, FX-350
LECHADAS BITUMINOSAS (Seal slurrys)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ EAL-1, EAL-1d, ECL-1, ECL-1d ▪ EAL-2, EAL-2d, ECL-2, ECL-2d
ESTABILIZACIONES DE CAPAS GRANULARES	<ul style="list-style-type: none"> ▪ EAM, ECM, EAM-m, ECM-m ▪ EAL-1, ECL-1, ECL-2, ECL-2m, ECR-2 ▪ FM-100, FM-150, FM-200
REFUERZOS Y CAPAS DE ALTO MÓDULO ELÁSTICO	<ul style="list-style-type: none"> ▪ BM-1, BM-2
FIRMES DRENANTES Y MICROAGLOMERADOS EN FRÍO	<ul style="list-style-type: none"> ▪ BM-3a, BM-3b, BM-3c ▪ ECL-2m
TRATAMIENTOS ANTIFISURAS	<ul style="list-style-type: none"> ▪ BM-4 ▪ ECM-m
FIRMES DE ESCASO TRÁFICO	<ul style="list-style-type: none"> ▪ AQ-38, AQ-46, BQ-30, BQ-58, BQ-62

Fuente: (Bañón Blázquez, 2000)

3.4. MATERIALES DIVERSOS

Una de las dificultades que el ingeniero debe afrontar con mayor frecuencia es la localización y selección de fuentes de materiales apropiados para la construcción de pavimentos. Todos los materiales están caracterizados por el Módulo de Elasticidad, llamado Módulo Dinámico en mezclas asfálticas, este es dependiente de la temperatura sobre el

pavimento. Los materiales que conforman un pavimento son: materiales granulares, cemento, aglomerantes y aditivos. Otros materiales además de los mencionados pueden ser: ceniza volante, microsilica y puzolana. (B Mallick & El-Korchi, 2013).

3.4.1. Aglomerantes Hidráulicos

3.4.1.1. Cal Hidráulica

3.4.1.1.1. Definición

Una de las dificultades que el ingeniero debe afrontar con mayor frecuencia es la localización y selección de fuentes de materiales apropiados para la construcción de pavimentos. Todos los materiales están caracterizados por el Módulo de Elasticidad, llamado Módulo Dinámico en mezclas asfálticas, este es dependiente de la temperatura sobre el pavimento. Los materiales que conforman un pavimento son: materiales granulares, cemento, aglomerantes y aditivos. Otros materiales además de los mencionados pueden ser: ceniza volante, microsilica y puzolana. (B Mallick & El-Korchi, 2013).

3.4.1.1.2. Materias Primas y Fabricación

La materia prima para la fabricación de la cal es la piedra caliza, la cual, cuando es pura, está constituida enteramente por carbonato cálcico. Otro de los componentes de la cal es la arcilla. Siendo que el carbonato cálcico al calcinarse se descompone dando anhídrido carbónico (CO_2) y óxido de cal (CaO) o cal viva.

Fabricación de cales hidráulicas:

- **Extracción de la caliza:** a cielo abierto, en grandes voladuras. Posteriormente se fragmenta o tritura al tamaño conveniente al horno empleado.

- **Dosificación:** Mezcla con la arcilla en las proporciones adecuadas (entre un 5 y 25%)
- **Cocción:** se emplean hornos de llama u hornos de capas.
- **Apagado:** se realiza por aspersión de la cal viva extendida sobre vagonetas de plataforma y se va amontonando en unos fosos cuando todavía está caliente.
- **Cernido:** Tiene por objeto separar la cal apagada de los trozos pocos o muy cosidos que no se han pulverizado durante la extinción. Se realiza con ayuda de varios tamices o cedazos de diversos tamaños de malla, siempre de mayor a menos hasta tamaño de malla de 0.5 mm de luz.

3.4.1.1.3. Especificaciones

En construcción la cal más empleada es la hidráulica, debido a su fraguado lento y escasa resistencia. Se emplea para enlucidos y como aglomerante de los morteros destinados a revocos y a la colocación de pavimentos y revestimientos.

Hay tres tipos de cales hidráulicas: la tipo I, la de tipo II y la de tipo III. La diferencia entre la una y la otra está en la proporción de sus componentes.

La cal hidráulica es designada mediante las letras HL o NHL, según que sea cal artificial o natural, seguidas de un número que indica el % de masa, variando este número entre 2 y 5.

3.4.1.2. Cemento Portland

3.4.1.2.1. Definición

El cemento portland es un conglomerante hidráulico, es decir, un material inorgánico finamente dividido que, amasado convenientemente con agua, forma una pasta que fragua y endurece en función de una serie de

reacciones y procesos de hidratación y que, una vez endurecido, conserva su resistencia y estabilidad incluso bajo el agua.

3.4.1.2.2. Especificaciones

El cemento Portland se clasifica en 5 Tipos que, de acuerdo con la norma INEN 152, son los siguientes:

- **TIPO I:** Cemento de uso general, al que no se exigen propiedades especiales.
- **TIPO II:** Para uso en construcciones de hormigón expuestas a la acción moderada de sulfatos o cuando se requiere de moderado calor de hidratación.
- **TIPO III:** Para usarse en construcciones de hormigón, cuando se requiere de alta resistencia inicial.
- **TIPO IV:** Para usarse en construcciones de hormigón, cuando se requiere bajo calor de hidratación.
- **TIPO V:** Para usarse en construcciones de hormigón, cuando se requiere de alta resistencia a la acción de los sulfatos.

De acuerdo a la Ministerio de Obras Públicas y Comunicación (2002) Los cementos de los Tipo IV y V no se hallan comúnmente en el mercado, por lo que su fabricación será sobre pedido, con la debida anticipación.

Los cementos Tipo I, II y III pueden utilizarse con incorporadores de aire, de acuerdo a lo previsto en la Sección 805 de estas especificaciones.

Sí en los planos o documentos contractuales no se indicare el Tipo de cemento a usarse en una obra, se entenderá que debe emplearse el cemento Portland del Tipo I.

En cualquier estructura o pavimento se utilizará un solo Tipo de cemento, si de otro modo no se indica en los planos.

3.4.2. Aditivos para Concretos

3.4.2.1. Generalidades

Desde la época de los romanos se emplearon aditivos agregados al concreto de cal y puzolanas. Se cree que los primeros aditivos fueron la sangre de toro y la clara de huevo, los cuales se utilizaron para mejorar las características de la mezcla en estado plástico. (Gonzales Sandoval, 2004)

Posteriormente, después de la creación prototipo de cemento portland moderno, se vio la necesidad de obtener unos fraguados más regulares en el cemento para lo cual se utilizó el yeso crudo o el cloruro de calcio, que se agregaban al cemento o al concreto en el moderno mezclado. La incorporación de estos productos se remontan a los años de 1875 a 1890; en esa época, los albañiles franceses añadían al cemento sin yeso crudo, un poco de yeso vivo, a pie de obra en el momento de mezclar el concreto. En el año de 1885 fue patentada la adición de cloruro de calcio como aditivo y en 1888 Candlot demostró que, según la dosis, este podía ser utilizado como acelerante o retardador de fraguado (Sánchez De Guzmán, 2001).

3.4.2.2. Definición

Según el comité ACI-212, un aditivo se puede definir como un material distinto del agua, agregados y cemento hidráulico, que se usa como ingrediente en concretos o morteros y se añade a la mezcla después, antes o durante su mezclado. (Gonzales Sandoval, 2004)

3.4.2.3. Clasificación y Finalidades

El Ministerio de Obras Públicas y Comunicación (2002) de acuerdo al efecto en la mezcla, tiene las siguientes clases de aditivos:

- Acelerante
- Retardantes de fraguado

- Reductores de agua
- Reductores de agua de alto rango
- Reductores de agua y acelerantes
- Reductores de agua y retardantes
- Reductores de agua de alto rango y retardantes
- Inclusores de aire
- Impermeabilizantes

3.4.2.3.1. Acelerantes

Es aquel que disminuye el tiempo necesario para el fraguado inicial del hormigón y aumenta la resistencia del mismo a temprana edad.

3.4.2.3.2. Incorporadores de aire

Aquellos que producen un incremento en el contenido de aire en el hormigón, y mejoran de esta manera su trabajabilidad.

3.4.2.3.3. Material Puzolánicos

Entre las adiciones, las puzolanas son materiales de naturaleza silíceo y aluminosa que por sí solos no poseen valor cementante, pero que combinadas en presencia de agua con el hidróxido cálcico que proviene de la hidratación del Clinker, forman compuestos con propiedades cementante. Dentro de los materiales puzolánicos podemos encontrar las puzolanas naturales (generalmente rocas de origen volcánico) y las artificiales entre las que destacan las cenizas volantes y el humo de sílice. Otras puzolanas artificiales usadas como adiciones activas pueden ser arcillas activadas o calcinadas artificialmente (esquistos calcinados) y cenizas de residuos agrícolas como la caña de arroz o la caña de azúcar (Alonso, Puertas, & Palacios, 2009)

3.4.2.3.4. Retardantes

Es aquel que prolonga el tiempo necesario para el fraguado del hormigón. Como es sabido, las condiciones de fraguado del concreto son importantes no solo para regular los tiempos de mezclado, transporte y colocación de la mezcla, sino porque de ellas depende también muchas propiedades posteriores del concreto (Sánchez De Guzmán, 2001).

3.4.2.3.5. Plastificantes y Superplastificantes

Los plastificantes tienen un efecto dispersador sobre las partículas de cemento, las que se adhieren, por la carga electrostática que tiene. Hace aumentar el cono de Abrams de 2 a 3cm, por lo que facilitan el hormigón. Si queremos mantener la consistencia, permiten reducir la relación de agua /cemento, con el consiguiente beneficio para la resistencia, sobre todo a largo plazo (Medina Sanchez, 2008)

Es aquel que permite disminuir la cantidad de agua necesaria para obtener una determinada consistencia del hormigón. (Ministerio de Obras Públicas y Comunicación, 2002)

Los superplastificantes consiguen los mismo efectos de las plastificantes, en mayor cantidad, pero sin afectar negativamente al proceso de fraguado y endurecido. Permiten trabajar con hormigones con una relación agua/cemento muy baja, con lo que se consiguen altas resistencia iniciales y finales. Tiene el inconveniente de que no mantiene la consistencia del hormigón durante mucho tiempo (Medina Sanchez, 2008).

Es aquel que reduce la cantidad de agua de mezclado dando al hormigón una consistencia del 12% o mayor que la correspondiente a la mezcla sin aditivo. (Ministerio de Obras Públicas y Comunicación, 2002)

CAPITULO 4

GENERALIDADES DE PAVIMENTOS

4.1. GENERALIDADES

Un pavimento se define como una capa o conjunto de capas que poseen materiales específicos y apropiados desde el nivel del suelo natural, libre de vegetación, conocido como subrasante, hasta la capa de rodadura. (Morales, 2015).

Un pavimento está constituido por un conjunto de capas superpuestas, relativamente horizontales, que se diseñan y construyen técnicamente con materiales apropiados y adecuadamente compactados. Estas estructuras estratificadas se apoyan sobre la subrasante de una vía obtenida por el movimiento de tierras en el proceso de exploración y que han de resistir adecuadamente los esfuerzos que las cargas repetidas del tránsito transmiten durante el período para el cual fue diseñada la estructura del pavimento. (Fonseca, 2002)

Un pavimento de una estructura, asentado sobre una fundación apropiada, tiene por finalidad proporcionar una superficie de rodamiento que permita el tráfico seguro y confortable de vehículos, a velocidades operacionales deseadas y bajo cualquier condición climática. Hay una gran diversidad de tipos de pavimento, dependiendo del tipo de vehículos que transitaran y del volumen de tráfico. (Universidad Mayor de San Simón, 2015)

4.2. CLASIFICACIÓN DE LOS PAVIMENTOS

En general los pavimentos se dividen en dos tipos: los pavimentos rígidos o de concreto hidráulico y los pavimentos flexibles o de asfalto.

La diferencia entre los pavimentos flexibles es que estos presentan muy poca resistencia a la flexión, en cambio en los pavimentos rígidos la losa de concreto suele constituir, la capa de rodamiento y el medio para soportar y distribuir la carga. (Crespo, 2004)

4.2.1. Pavimento Flexible

Este tipo de pavimentos están formados por una carpeta bituminosa apoyada generalmente sobre dos capas no rígidas, la base y la subbase. No obstante puede prescindirse de cualquiera de estas capas dependiendo de las necesidades particulares de cada obra. (Fonseca, 2002)

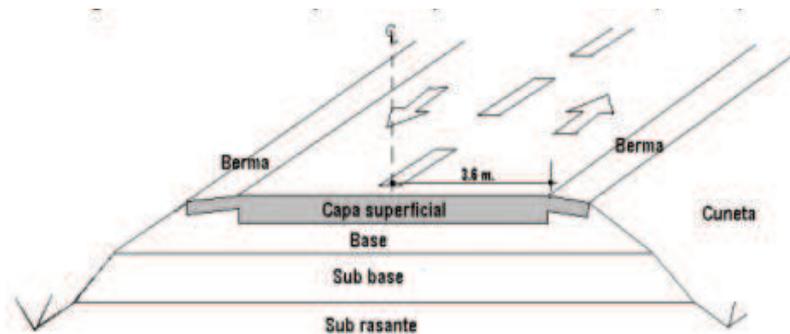


Figura 23. Estructura típica de un pavimento flexible

Fuente: (Monsalve, Giraldo, & Maya, 2012)

Son aquellos que tienen un revestimiento asfáltico sobre una capa base granular. La distribución de tensiones y deformaciones generadas en la estructura por las cargas de rueda del tráfico, se da de tal forma que las capas de revestimiento y base absorben las tensiones verticales de compresión del suelo de fundación por medio de la absorción de tensiones cizallantes. En este proceso ocurren tensiones de deformación y tracción en la fibra inferior del revestimiento asfáltico, que provocará su fisuración por fatiga por la repetición de las cargas de tráfico. Al mismo tiempo la repetición de las tensiones y deformaciones verticales de compresión que actúan en todas las capas del pavimento producirán la formación de hundimientos en la trilla de rueda, cuando el tráfico tiende a ser canalizado, y la ondulación

longitudinal de la superficie cuando la heterogeneidad del pavimento fuera significativa. (Universidad Mayor de San Simón, 2015)

Según Torres (2010) se adaptan a las deformaciones del terreno de cimentación, sin el apareamiento de tensiones adicionales pudiendo clasificarse en los siguientes tipos:

- Afirmado
- Tratamiento Superficial
- Concreto asfáltico
- Pavimentos Rígidos

4.2.2. Pavimento Rígido

Son aquellos que fundamentalmente están constituidos por una losa de concreto hidráulico, apoyada sobre la subrasante o sobre una capa, de material seleccionado, la cual se denomina sub-base del pavimento rígido.

Debido a la alta rigidez del concreto hidráulico así como de su elevado coeficiente de elasticidad, la distribución de los esfuerzos se produce en una zona muy amplia. Además como el concreto es capaz de resistir, en cierto grado, esfuerzos a la tensión, el comportamiento de un pavimento rígido es suficientemente satisfactorio aun cuando existan zonas débiles en la subrasante. (Fonseca, 2002)

La capacidad estructural de un pavimento rígido depende de la resistencia de las losas y, por lo tanto, el apoyo de las capas subyacentes ejerce poca influencia en el diseño del espesor del pavimento. (Monsalve, Giraldo, & Maya, 2012)

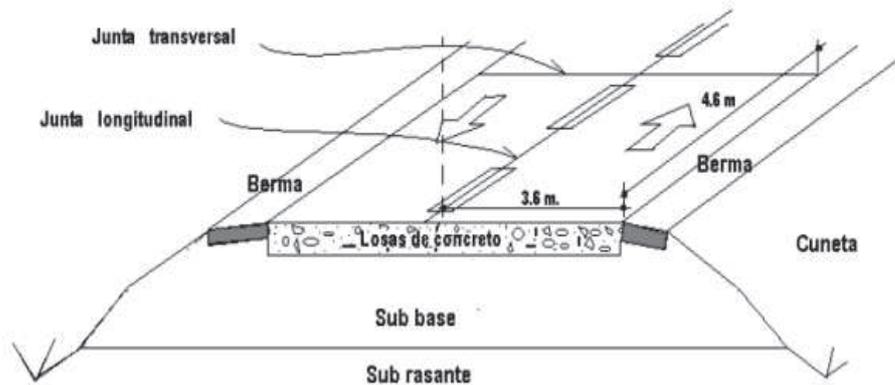


Figura 24. Estructura típica de un pavimento rígido

Fuente: (Monsalve, Giraldo, & Maya, 2012)

4.3. BASES Y SUB-BASES FLEXIBLES Y SEMI-RÍGIDOS

La base de un pavimento es la capa formada por materiales pétreos bien graduados y compactados. Se construye sobre la sub-base, que otra capa que forma parte del pavimento pero que a diferencia de la anterior los agregados son convenientemente graduados. (Villalobos, 2012).

Para pavimentos flexibles, todas sus capas mantienen materiales de igual forma flexibles; éstos son aquellos que permiten deformaciones debido a las cargas. (Gonzalo, 2014).

Un pavimento semi-rígido mezcla los materiales de los pavimentos rígidos y flexibles; normalmente se ubica la capa flexible por encima de la rígida. (Morales, 2015)

4.3.1. Bases y Sub-bases Granulares

Sub-base

- **Capa de transición.** La sub base bien diseñada impide la penetración de los materiales que constituyen la base con los de la subrasante y por otra parte, actúa como filtro de la base impidiendo que los finos de la subrasante la contaminen menoscabando su calidad.

- **Disminución de las deformaciones.** Algunos cambios volumétricos de la capa subrasante, generalmente asociados a cambios en su contenido de agua (expansiones), o a cambios extremos de temperatura (heladas), pueden absorberse con la capa subbase, impidiendo que dichas deformaciones se reflejen en la superficie de rodamiento.
- **Resistencia.** La subbase debe soportar los esfuerzos transmitidos por las cargas de los vehículos a través de las capas superiores y transmitidas a un nivel adecuado a la subrasante.
- **Drenaje.** En muchos casos la sub-base debe drenar el agua, que se introduzca a través de la carpeta o por las bermas, así como impedir la ascensión capilar.

Base

- **Resistencia.** La función fundamental de la base granular de un pavimento consiste en proporcionar un elemento resistente que transmita a la sub-base ya la subrasante los esfuerzos producidos por el tránsito en una intensidad apropiada.

4.3.1.1. Estabilización Granulométrica

La estabilidad de un material granular depende de la distribución de los tamaños de las partículas (granulometría), de las formas de las partículas, de la densidad relativa, de la fricción interna y de la cohesión. (Sánchez, Materiales para base y sub-base, 2001)

Los materiales granulares de la sub-base forman una capa de apoyo para la base, se emplean arenas, gravas, y limos así como rocas alteradas y fragmentadas que al extraerlos quedan sueltos o pueden disgregarse mediante el empleo de maquinaria. Si la granulometría del material obtenido de un banco, una vez sometida al tratamiento mecánico no cumple con los requisitos de la norma, se podrá mezclar con materiales de otros bancos en las proporciones adecuadas para cumplir. (Mendoza & Guadarrama, 2008)

4.3.1.2. Macadames Hidráulico y Seco

Macadam es el material constituido por un conjunto de áridos de granulometría discontinua, que se obtiene extendiendo y compactando un árido grueso cuyos huecos se rellenan con un árido fino.

Los materiales que constituyen la macadam son agregados minerales hidráulicos y para la capa de macadam hidráulico se deberá tener en cuenta lo siguiente: El agregado grueso se extenderá en una capa de espesor uniforme y dispuesto para obtener el espesor comprimido especificado en vista de las alineaciones y perfiles diseñados. En el caso de construcción de pistas se requiere el uso de moldes a lo largo del eje del camino hacia la capa de contención macadam hidráulico. En el caso de la construcción en dos etapas, la costura de las dos medias pistas a continuación no debe coincidir con el dos medias pistas superiores. (Norma DNIT, Instituto de Pesquisas Rodoviárias - IPR , 2009)

4.3.2. Bases y Sub-bases estabilizadas (con aditivos)

Las bases y sub-bases se las puede estabilizar mediante la Incorporación de uno o más aditivos a un suelo o un suelo agregado en la cantidad requerida para que una vez elaborada, extendida y compactada la mezcla, ésta presente las características apropiadas para servir como capa de base de un pavimento (Mendoza & Guadarrama, 2008)

4.3.2.1. Suelo – Cemento

El suelo-cemento, como cualquier material de construcción, está sometido a la acción de fatiga por la repetición de cargas. Para un diseño dado, el número de repeticiones de carga que produce la falla depende del radio de curvatura en flexión. (Fonseca, 2002)

Para este trabajo se utilizará el suelo de la subrasante construida directamente de la excavación o con suelos provenientes de préstamos, o

suelos provenientes de fuentes aprobadas, según el caso, combinados con cemento Portland y agua, de acuerdo con los requerimientos del diseño.

Los suelos que se utilicen podrán ser limo-arcillosos puros o mezclados con arenas o gravas, que cumplan los requisitos de calidad especificados y cuya granulometría se hallará dentro de los límites indicados. (Ministerio de Obras Públicas y Comunicación, 2002)

Tabla 36.

Límites granulométricos para agregados estabilizados con Cemento Portland

TAMIZ	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada	
	Mezcla en Sitio	Mezcla en planta
3/4" (19.0 mm.)	100	100
Nº 4 (4.75 mm.)	---	40 - 75
Nº 10 (2.00 mm.)	30 - 70	30 - 50
Nº 40 (0.425 mm.)	--	15 - 35
Nº 200 (0.075 mm.)	5 - 25	5 - 15

Fuente: (Ministerio de Obras Públicas y Comunicación, 2002)

Los materiales bien graduados contendrán entre un 55% y un 65% de agregado grueso retenido en el tamiz Nº 4. El aglutinante para la mezcla estará constituido por cemento Portland tipo I o tipo II. (Ministerio de Obras Públicas y Comunicación, 2002)

4.3.2.2. Suelo mejorado con Cal

Teniendo en cuenta que la estabilización con cal es especialmente eficiente en el tratamiento de suelos arcillosos es evidente que la utilización de la cal esté dirigida únicamente al mejoramiento de subrasantes y en

algunos casos como corrector de plasticidad de los materiales granulares de sub-base y base. (Fonseca, 2002)

Los agregados por emplear serán los especificados para bases clase 3 o clase 4, y deberán cumplir los requisitos de granulometría correspondientes a ellos.

La cal hidratada que se emplee en la estabilización debe cumplir con los requisitos de la Norma INEN 247. Si se emplea cal viva hidratada en obra, se debe además exigir que se cumplan los requisitos de la Norma INEN 248. (Ministerio de Obras Públicas y Comunicación, 2002)

Tabla 37.

Límites granulométricos para agregados estabilizados con Cal

TAMIZ	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada
1" (25.4 mm.)	100
3/4"(19.0 mm.)	70 - 100
3/8"(9.5 mm.)	50 - 80
Nº 4 (4.76 mm.)	35 - 65
Nº 10 (2.00 mm.)	25 - 50
Nº 40 (0.425 mm.)	15 - 30
Nº 200 (0.075 mm.)	3 - 15

Fuente: (Ministerio de Obras Públicas y Comunicación, 2002)

4.3.2.3. Suelo – Betún

Según el HRB (Highway Research Board), se da el nombre de estabilización de suelos con asfalto, a los métodos de construcción en los cuales se incorpora asfalto al suelo o al suelo-agregado para conformar bases o sub-bases y ocasionalmente capas de rodadura que puedan resistir los esfuerzos producidos en las condiciones normales de humedad y tránsito. (Fonseca, 2002)

En este la estabilidad de la estructura depende esencialmente de la fricción interna del árido y de la cohesión del ligante arcilla-agua del mismo. El betún actúa como agente impermeabilizante impidiendo así el acceso de agua al suelo y su acción perjudicial sobre el ligante arcilla-agua.

4.3.2.4. Bases Bituminosas Diversas

De acuerdo a Fernandez (1998), quien manifiesta que una mezcla bituminosa es aquella que está constituida por un ligante que en película continua envuelve todas y cada una de las partículas minerales de un árido con cualquier granulometría. Están incluidos en esta definición los másticos bituminosos que están constituidos principalmente por filler y ligante aunque también pueden contener partículas gruesas que no formen esqueleto mineral al no estar en contacto entre ellas.

Los morteros constituidos por un esqueleto mineral de arena un mástico y huecos. Los aglomerados formados por un esqueleto mineral de árido grueso, un mortero y huecos. Las mezclas abiertas formadas esencialmente por árido grueso con un escaso contenido en mortero que implica un gran número de huecos. Las lechadas bituminosas que son morteros puestos en obra por vía acuosa.

La primera clasificación tradicional de las mezclas bituminosas es la de mezclas bituminosas en frío y mezclas bituminosas en caliente. Las mezclas bituminosas en frío son una combinación de un árido y un ligante bituminoso, que pudiendo hacerse con el ligante frío o caliente, y los áridos la mayor parte de las veces frío, puede manejarse, extenderse y compactarse a temperatura ambiente. En muchos casos estas mezclas son almacenables.

4.4. BASES Y SUB-BASES RÍGIDAS

Sub-base

- La función más importante es impedir la acción del bombeo en las juntas, grietas y extremos del pavimento. Se entiende por bombeo a la fluencia de material fino con agua fuera de la estructura del pavimento, debido a la infiltración de agua por las juntas de las losas. El agua que penetra a través de las juntas licúa el suelo fino de la subrasante facilitando así su evacuación a la superficie bajo la presión ejercida por las cargas circulantes a través de las losas.
- Servir como capa de transición y suministrar un apoyo uniforme, estable y permanente del pavimento.
- Facilitar los trabajos de pavimentación.
- Mejorar el drenaje y reducir por tanto al mínimo la acumulación de agua bajo el pavimento.
- Ayudar a controlar los cambios volumétricos de la subrasante y disminuir al mínimo la acción superficial de tales cambios volumétricos sobre el pavimento.
- Mejorar en parte la capacidad de soporte del suelo de la subrasante.

Losa de concreto

Las funciones de la losa en el pavimento rígido son las mismas de la carpeta en el flexible, más la función estructural de soportar y transmitir en nivel adecuado los esfuerzos que le apliquen. (Fonseca, 2002)

Base

Reducir las tensiones verticales que las cargas por eje ejercen sobre las capas sub-base y suelo natural. (Universidad Mayor de San Simón, 2015)

4.5. REVESTIMIENTOS

Un revestimiento consiste en una materia pulverulenta o pigmento, un medio aglutinador que mantiene la unión de aquellas y con el soporte, o ligante, y por último un vehículo donde se mantiene el conjunto hasta su aplicación, el disolvente, que en el caso de las emulsiones es el agua. (Medrano, 2010)

También están los aditivos, que entran a formar parte, en muy pequeña proporción, pero que su presencia es imprescindible para fines específicos.

Según (Medrano, 2010), en principio, vamos a distinguir, dos tipos de revestimientos:

- **Continuos:** Son productos preparados en fábrica y realizados in situ, por aplicación directa sobre el paramento, pudiendo estar formado por una o varias capas de material, en forma más o menos pastosa y que se hace sólido por fraguado, hidratación, evaporación o polimerización, según el ligante utilizado.
- **Discontinuos:** Están constituidos por materiales naturales o prefabricados, que se fijan al paramento mediante materiales de agarre o piezas de anclaje, tales como alicatados, solados y aplacados.

Orientando estas definiciones introductorias al ámbito de vías, específicamente en nuestro estudio de pavimentos, un revestimiento ayuda entre otros factores a cuidar nuestra vía de factores externos y así impermeabilizarla frente a las acciones del clima.

Uno de los revestimientos aplicables puede ser el suministro y aplicación de material asfáltico a la superficie del hormigón, el cual está compuesto por una aplicación de material impresor y dos aplicaciones de asfalto, de conformidad con lo indicado en los planos y lo ordenado por el Fiscalizador. (Ministerio de Obras Públicas y Comunicación, 2002)

4.5.1. Revestimientos Flexibles Bituminosos

El revestimiento bituminoso es la capa superior de un pavimento, constituida por un tratamiento o por una mezcla bituminosa. (Sánchez, Revestimientos Bituminosos, 2009)

Función: Brindar una superficie de rodamiento lisa y segura al tránsito automotor

Composición: Agregados pétreos y un producto bituminoso, aplicados en forma de riegos o de mezcla. En el primer caso el revestimiento no brinda aporte estructural y en el segundo generalmente sí.

Requerimientos: Proporcionar adecuada resistencia al deslizamiento, al ahuellamiento (mezclas) y a la fractura por causas imputables o no a las cargas del tránsito.

4.5.1.1. Revestimientos por Penetración

Los betunes asfálticos preparados por destilación de hidrocarburos naturales se presentan como sólidos o semisólidos a la temperatura ambiente por lo que, para poder utilizarlos en obra, es preciso calentarlos a fin de reducir su viscosidad. Estos betunes se llaman también betunes de penetración ya que es el ensayo de penetración quien los caracteriza. (Villarino Otero, Materiales bituminosos)

4.5.1.1.1. Revestimientos Bituminosos por Penetración Invertida

Los revestimientos bituminosos superficiales de penetración invertida son revestimientos constituidos de material bituminoso y agregados, en los cuales los agregados se colocan uniformemente sobre el material bituminoso, en una, dos o tres capas, denominándose tratamiento superficial simple, doble o triple respectivamente. (Ministerio de Economía y Finanzas Públicas Bolivia)

Los tratamientos superficiales deben ser ejecutados sobre una base previamente imprimada y de acuerdo con las alineaciones, rasantes y secciones transversales del proyecto.

4.5.1.1.2. Revestimientos Bituminosos por Penetración Directa

Este método describe un procedimiento para determinar la penetración de materiales bituminosos semisólidos o sólidos. La muestra se funde y enfría bajo condiciones normalizadas. La penetración se mide por medio del penetrometro empleando una aguja estándar que se aplica a la muestra. La penetración de un material bituminoso es la distancia en décimas de milímetro que a una aguja estándar penetra verticalmente en la muestra, bajo condiciones normalizadas de temperatura, carga y tiempo. (AASHTO, 2000)

El ensayo de penetración determina la dureza o consistencia relativa de un betún asfáltico, midiendo la distancia que una aguja normalizada penetra verticalmente en una muestra de asfalto en condiciones especificadas de temperatura, carga y tiempo. Cuando no se mencionan específicamente otras condiciones, se entiende que la medida de la penetración se hace a 25 °C, que la aguja está cargada con 100 g y que la carga se aplica durante 5 s. La penetración determinada en estas condiciones se llama penetración normal. La unidad penetración es la décima de milímetro. Es evidente que cuando más blando sea el betún asfáltico mayor será la cifra que indique su penetración. (Das, 1998)

4.5.1.2. Revestimientos por Mezcla

Las mezclas bituminosas o asfálticas en caliente son aquellas combinaciones de áridos, incluyendo el polvo mineral, más un ligante hidrocarbonado y ante eventualidad, aditivos, todos ellos combinados a los efectos de que todas las partículas del árido queden cubiertas por una película de ligante homogénea. (Ayllon Acosta, 2004)

Se usa en pavimento asfáltico que es igual a pavimento flexible. La función del cemento asfáltico es mantener a los agregados en su lugar. Los agregados se escogen de modo que las cargas externas se distribuyan por contacto. Este mecanismo se llama “tabazón de los agregados”. (Guerrero, 2014)

4.5.2. Revestimientos Flexibles de Pavimentación

Los pavimentos articulados están compuestos por una capa de rodadura que está elaborada con bloques de concreto prefabricados, llamados adoquines, de espesor uniforme e iguales entre sí. Esta puede ir sobre una capa delgada de arena la cual, a su vez, se apoya sobre una capa de base granular o directamente sobre la subrasante, dependiendo de la calidad de ésta y de la magnitud y frecuencia de las cargas que circularan por dicho pavimento. (Fonseca, 2002)

Se utiliza generalmente en zonas urbanas con bajo nivel de tráfico, a las que aporta un importante aspecto estético, y en zonas de tráfico pesado pero con velocidades de circulación reducidas, ya que éste tipo de pavimentos presenta menor deformabilidad y mayor durabilidad que otros pavimentos flexibles. (Bosch & Escobar, 2002)

4.5.3. Pavimentos Fotocatalizadores

Uno de los problemas que más preocupa a expertos y autoridades en muchos países del mundo es la contaminación, ya que muchas ciudades sobrepasa el límite normativo de material particulado, lo que significa que un gran número de personas están expuestas a peligrosos niveles de contaminación.

Con el fin de encontrar una solución, un grupo de científicos holandeses de la Universidad Tecnológica de Eindhoven trabaja en la creación de una nueva tecnología química. Se trata de una sustancia para que el pavimento absorba la polución. Esta sustancia se puede aplicar sobre la superficie de

las calles generando un pavimento fotocatalizador (como lo han llamado) que, según sus creadores, puede “purificar” el aire.

Los gases contaminantes emitidos por vehículos y fábricas contienen óxidos de nitrógeno, que son compuestos químicos tóxicos. El pavimento fotocatalizador contiene un químico activo, el dióxido de titanio, el cual al reaccionar con la luz solar, es capaz de absorber estos químicos y convertirlas en otras sustancias químicas menos peligrosas, como nitratos. (La Rueda Eléctrica, 2014)

4.5.4. Revestimientos Rígidos

Consistirá en la construcción de una capa de rodadura constituida por una losa de hormigón de cemento Portland, con o sin inclusión de aire, con o sin dispositivos de transferencia de carga, con o sin armadura de refuerzo, de acuerdo con lo especificado en los planos, disposiciones especiales y documentos contractuales. (Ministerio de Obras Públicas y Comunicación, 2002)

El hormigón de cemento Portland será de la clase "A" y deberá cumplir con las exigencias de la Sección 801 de la MOP-001-F 2002, salvo que en los documentos contractuales se especifique otra clase de hormigón, en cuyo caso deberá cumplir con los requisitos establecidos para la clase especificada.

CAPITULO 5

PROYECTO EJECUTIVO

5.1. CONSIDERACIONES GENERALES

El proyecto ejecutivo permite la perfecta ejecución de la obra, lo que posibilita su visualización, monitoreo de su preparación, su revisión y aceptación y seguimiento de la obra. Es el resultado de aproximaciones sucesivas, y su desarrollo es precedido por dos pasos, de modo que todo el proceso consta de tres pasos que se caracterizan por aumento de los niveles de precisión - "Estudios preliminares", "Anteproyecto" y "Proyecto Ejecutivo".

Una comparación de los resultados de una etapa a la etapa posterior puede confirmarlos o indicar la necesidad de su reformulación.

Estos pasos pueden ser definidos por sus objetivos:

Estudios Preliminares

En esta fase se recaba, analiza y procesa toda la información que tendrá incidencia de una u otra forma en el proyecto, a través de encuesta rápida de todas las líneas de las condiciones de diseño que deben estudiarse con mayor detalle vistas a la elección de la ruta. (Ministerio de Transportes. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, 1996)

Tales estudios deben ser subvencionados por las indicaciones de planes maestros, el reconocimiento, la cartografía y otros elementos existentes.

Anteproyecto

Definición alternativa, el nivel de precisión que permite la elección de la traza es desarrollado y el costo estimado de las obras.

El estudio geológico del suelo y de las fuentes de materiales para la construcción de un camino basados en análisis de mapas geológicos, fotointerpretación y en reconocimiento de campo son de importancia en el diseño vial ya que inciden directamente en la localización de rutas y dimensionamiento de los diferentes parámetros de diseño y en la identificación de posibles problemas relacionados con el drenaje, la expansión de los suelos, fallas geológicas en la estabilidad de los taludes del terreno, y para lo cual se darán las recomendaciones de las posibles soluciones más adecuadas desde el punto de vista técnico y económico.

Las características Topográficas, Geológicas, Hidrológicas, el drenaje y el uso de la tierra tienen el efecto determinante en la localización y en la elección del tipo de carretera y conjuntamente con los datos de tránsito, constituyen la información básica para el proyecto de estas obras. (Ministerio de Obras Públicas, 2003)

5.2. PROYECTO GEOMÉTRICO

5.2.1. Introducción

Las normas se las ha llevado a efecto con la consideración de las condiciones topográficas especiales de nuestro país, debido a la presencia de la Cordillera de los Andes; por lo cual para todas las clases de carreteras y caminos, se ha considerado una reclasificación de las velocidades de diseño, radios de giro y demás parámetros que intervienen en el diseño geométrico de los mismos.

En la realización de los estudios para el diseño geométrico de un camino es de suma importancia la topografía del terreno, siendo este un factor

determinante en la elección de los valores de los diferentes parámetros que intervienen en su diseño.

La relación entre el tipo de superficie de rodadura y el diseño geométrico tiene importancia en lo referente a la indeformabilidad de la superficie y a la facilidad de escurrimiento de las aguas que ésta ofrezca, así como a la influencia ejercida en la operación de los vehículos. (Ministerio de Obras Públicas, 2003)

5.2.2. Elementos Geométricos

Topografía

La incidencia del factor topográfico en los costos de construcción de un proyecto vial es considerable y limitante con relación a las características del trazado horizontal, en lo referente a las alineaciones en curva y a la geometría de la sección transversal.

En función de estas consideraciones se ha establecido que en los estudios viales se ponga especial énfasis en el establecimiento del parámetro básico del diseño vial, que es la velocidad, la cual va íntimamente ligada con la topografía del terreno. De tal manera que en el diseño geométrico vial se asigna a la velocidad un valor alto para vías en terreno llano, un valor medio para vías en terreno ondulado y un valor bajo para vías en terreno montañoso. (Ministerio de Obras Públicas, 2003)

Tráfico

El diseño de una carretera o de un tramo de la misma debe basarse entre otras informaciones en los datos sobre tráfico, con el objeto de compararlo con la capacidad o sea con el volumen máximo de vehículos que una carretera puede absorber. El tráfico, en consecuencia, afecta directamente a las características del diseño geométrico. (Ministerio de Obras Públicas, 2003)

Velocidad de diseño

Es la velocidad máxima a la cual los vehículos pueden circular con seguridad sobre un camino cuando las condiciones atmosféricas y del tránsito son favorables. Esta velocidad se elige en función de las condiciones físicas y topográficas del terreno, de la importancia del camino, los volúmenes del tránsito y uso de la tierra, tratando de que su valor sea el máximo compatible con la seguridad, eficiencia, desplazamiento y movilidad de los vehículos.

Con esta velocidad se calculan los elementos geométricos de la vía para su alineamiento horizontal y vertical. (Ministerio de Obras Públicas, 2003)

Alineamiento Horizontal

El alineamiento horizontal es la proyección del eje del camino sobre un plano horizontal. Los elementos que integran esta proyección son las tangentes y las curvas, sean estas circulares o de transición.

El establecimiento del alineamiento horizontal depende de: La topografía y características hidrológicas del terreno, las condiciones del drenaje, las características técnicas de la subrasante y el potencial de los materiales locales. (Ministerio de Obras Públicas, 2003)

Alineamiento Vertical

El perfil vertical de una carretera es tan importante como el alineamiento horizontal y debe estar en relación directa con la velocidad de diseño, con las curvas horizontales y con las distancias de visibilidad. En ningún caso se debe sacrificar el perfil vertical para obtener buenos alineamientos horizontales. (Ministerio de Obras Públicas, 2003)

Tabla 38.

Valores de diseño recomendados para carreteras de Clase I- II- III

NORMAS	CLASE I 3 000 – 8 000 TPDA ⁽¹⁾						CLASE II 1 000 - 3 000 TPDA ⁽¹⁾						CLASE III 300 – 1 000 TPDA ⁽¹⁾					
	RECOMENDABLE			ABSOLUTA			RECOMENDABLE			ABSOLUTA			RECOMENDABLE			ABSOLUTA		
	LL	O	M	LL	O	M	LL	O	M	LL	O	M	LL	O	M	LL	O	M
Velocidad de diseño (K.P.H.)	110	100	80	100	80	60	100	90	70	90	80	50	90	80	60	80	60	40
Radio mínimo de curvas horizontales (m)	430	350	210	350	210	110	350	275	160	275	210	75	275	210	110	210	110	42
Distancia de visibilidad para parada (m)	180	180	110	160	110	70	160	135	90	135	110	55	135	110	70	110	70	40
Distancia de visibilidad para rebasamiento (m)	630	690	565	690	565	415	690	640	490	640	565	345	640	565	415	565	415	270
Peralte	MAXIMO = 10%																	
Coefficiente "K" para: ⁽²⁾																		
Curvas verticales convexas (m)	80	60	28	60	28	12	60	43	19	43	28	7	43	28	12	28	12	4
Curvas verticales cóncavas (m)	43	38	24	38	24	13	38	31	19	31	24	10	31	24	13	24	13	6
Gradiente longitudinal ⁽³⁾ máxima (%)	3	4	6	3	5	7	3	4	7	4	6	8	4	6	7	6	7	9
Gradiente longitudinal ⁽⁴⁾ mínima (%)	0.5%																	
Ancho de pavimento (m)	7.3			7.3			7.0			6.70			6.70			6.00		
Clase de pavimento	Carpetas Asfálticas y Hormigón						Carpetas Asfálticas						Carpetas Asfálticas e D.T.S.B.					
Ancho de espaldones ⁽⁵⁾ estables (m)	3.0	2.5	2.0	2.5	2.0	1.5	3.0	2.5	2.0	2.5	2.0	1.5	2.0	1.5	1.0	1.5	1.0	0.5
Gradiente transversal para pavimento (%)	2.0						2.0						2.0					
Gradiente transversal para espaldones (%)	2.0 ⁽¹⁾ - 4.0						2.0 - 4.0						2.0 - 4.0					

Fuente: (Ministerio de Obras Públicas, 2003)

Tabla 39.

Valores de diseño recomendados para carreteras de Clase IV - V

NORMAS	CLASE IV 100 – 300 TPDA ⁽¹⁾						CLASE V MENOS DE 100 TPDA ⁽¹⁾					
	RECOMENDABLE			ABSOLUTA			RECOMENDABLE			ABSOLUTA		
	LL	O	M	LL	O	M	LL	O	M	LL	O	M
Velocidad de diseño (K.P.H.)	80	60	50	60	35	25 ⁽¹⁾	60	50	40	50	35	25 ⁽¹⁾
Radio mínimo de curvas horizontales (m)	210	110	75	110	30	20	110	75	42	75	30	20 ⁽¹⁾
Distancia de visibilidad para parada (m)	110	70	55	70	35	25	70	55	40	55	35	25
Distancia de visibilidad para rebasamiento (m)	480	290	210	290	150	110	290	210	150	210	150	110
Peralte	10% (Para V > 50 K.P.H.) 8% (Para V < 50 K.P.H.)											
Coefficiente "K" para: ⁽²⁾												
Curvas verticales convexas (m)	28	12	7	12	3	2	12	7	4	7	3	2
Curvas verticales cóncavas (m)	24	13	10	13	5	3	13	10	6	10	5	3
Gradiente longitudinal ⁽³⁾ máxima (%)	5	6	8	6	8	12	5	6	8	6	8	14
Gradiente longitudinal ⁽⁴⁾ mínima (%)	0.5%											
Ancho de pavimento (m)	6.00						4.00 ⁽¹⁾					
Clase de pavimento	D.T.S.B., Capa Granular o Empedrado						Capa Granular o Empedrado					
Ancho de espaldones ⁽⁵⁾ estables (m)	0.60 (C.V. Tipo 6 y 7)						---					
Gradiente transversal para pavimento (%)	2.5 (C.V. Tipo 6 y 7)						4.0					
Gradiente transversal para espaldones (%)	4.0 (C.V. Tipo 5 y 5E)						---					

Fuente: (Ministerio de Obras Públicas, 2003)

5.2.3. Sección Transversal del Pavimento

La relación entre el tipo de superficie de rodadura y el diseño geométrico tiene importancia en lo referente a la indeformabilidad de la superficie y a la facilidad de escurrimiento de las aguas que ésta ofrezca, así como a la

influencia ejercida en la operación de los vehículos. Los pavimentos de grado estructural alto, siendo indeformables, no se deterioran fácilmente en sus bordes y su superficie lisa ofrece poca resistencia de fricción para el escurrimiento de las aguas, permitiendo gradientes transversales mínimas. Al contrario, los pavimentos de grado estructural bajo con superficies de granulometría abierta, deben tener gradientes transversales más pronunciadas, para facilitar el escurrimiento de las aguas y evitar el ablandamiento de la superficie.

El tipo de superficie de rodadura que se adopte depende en gran parte de la velocidad de diseño escogida, de la cual dependen varias características del diseño general, teniendo en cuenta que las superficies lisas, planas e indeformables favorecen altas velocidades de operación por parte de los conductores. Las superficies de rodadura de la calzada se clasifican según el tipo estructural, correspondiente a las cinco clases de carreteras. (Ministerio de Obras Públicas, 2003)

El ancho del pavimento se determina en función del volumen y composición del tráfico (dimensiones del vehículo de diseño) y de las características del terreno. Para un alto volumen de tráfico o para una alta velocidad de diseño, se impone la provisión del máximo ancho de pavimento económicamente factible. Para un volumen de tráfico bajo o para una velocidad de diseño baja, el ancho del pavimento debe ser el mínimo permisible. En el caso de volúmenes de tráfico intermedios o velocidades de diseño moderadas, para los cuales se contemplan pavimentos de tipo superficial bituminosos o superficiales de rodadura de grava, el ancho debe ser suficiente como para evitar el deterioro de dicha superficie por efecto de la repetición de las cargas de los vehículos sobre las mismas huellas.

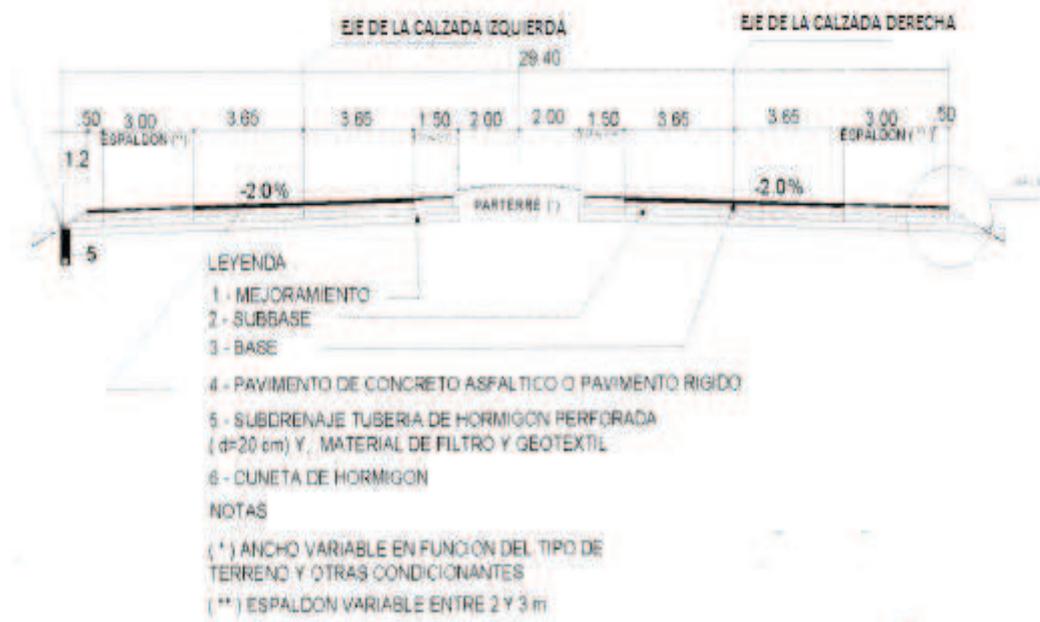


Figura 25. Sección típica estándar para autopistas de cuatro carriles con parterre central

Fuente: (Ministerio de Obras Públicas, 2003)

5.2.4. Replanteo del Eje

El alineamiento horizontal es la proyección del eje del camino sobre un plano horizontal. Los elementos que integran esta proyección son las tangentes y las curvas, sean estas circulares o de transición.

La proyección del eje en un tramo recto, define la tangente y el enlace de dos tangentes consecutivas de rumbos diferentes se efectúa por medio de una curva.

El establecimiento del alineamiento horizontal depende de: La topografía y características hidrológicas del terreno, las condiciones del drenaje, las características técnicas de la subrasante y el potencial de los materiales locales. (Ministerio de Obras Públicas, 2003)

Tangentes

Las tangentes van unidas entre sí por curvas y la distancia que existe entre el final de la curva anterior y el inicio de la siguiente se la denomina tangente intermedia. Su máxima longitud está condicionada por la seguridad.

Curvas Circulares

Las curvas circulares son los arcos de círculo que forman la proyección horizontal de las curvas empleadas para unir dos tangentes consecutivas y pueden ser simples o compuestas.

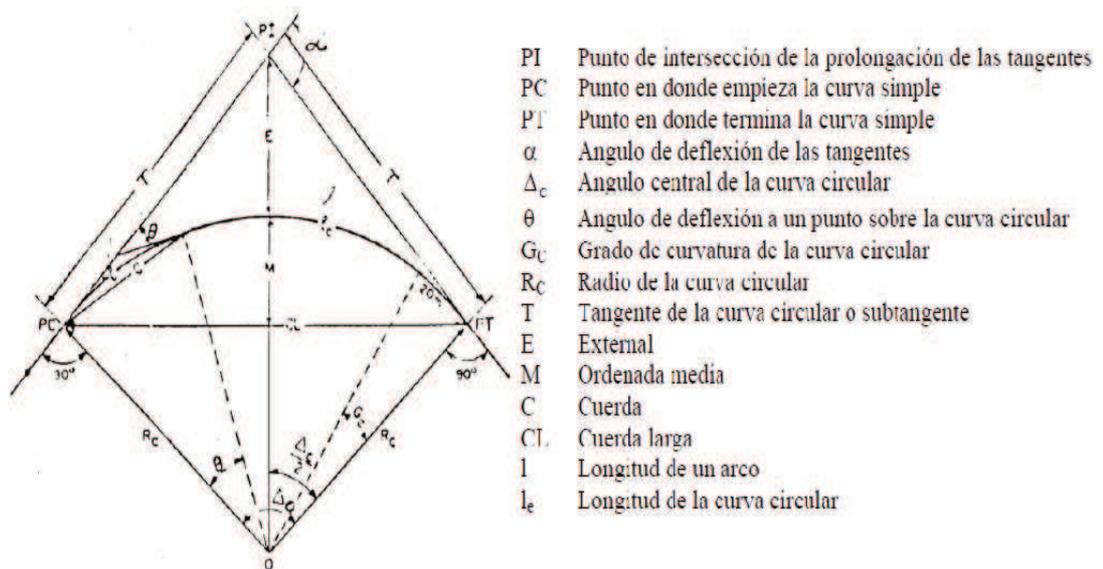


Figura 26. Elementos de la Curva Circular Simple

Fuente: (Ministerio de Obras Públicas, 2003)

Curvas de Transición

Son las curvas que unen al tramo de tangente con la curva circular en forma gradual, tanto para el desarrollo del peralte como para el del sobreelevación. La característica principal es que a lo largo de la curva de transición, se efectúa de manera continua, el cambio en el valor del radio de curvatura, desde infinito en la tangente hasta llegar al radio de la curva circular.

5.2.5. Sobreancho

El objeto del sobreancho en la curva horizontal es el de posibilitar el tránsito de vehículos con seguridad y comodidad, es necesario introducir los sobreanchos por las siguientes razones:

- a) El vehículo al describir la curva, ocupa un ancho mayor ya que generalmente las ruedas traseras recorren una trayectoria ubicada en el interior de la descrita por las ruedas delanteras, además el extremo lateral delantero, describe una trayectoria exterior a la del vehículo.
- b) La dificultad que experimentan los conductores para mantenerse en el centro de su carril debido a la menor facilidad para apreciar la posición relativa de su vehículo dentro de la curva. Esta dificultad aumenta con la velocidad, pero disminuye a medida que los radios de la curva son mayores. Para el caso "a", si el vehículo describe una curva, marchando a muy pequeña velocidad, el sobreancho se podría calcular geométricamente, ya que su eje posterior es radial. Lo mismo ocurrirá cuando describiera una curva peraltada a una velocidad tal, de manera que la fuerza centrífuga fuera contrarrestada completamente por la acción del peralte. En cambio si la velocidad fuera menor o mayor que la anterior, las ruedas traseras se moverían a lo largo de una trayectoria más cerrada o más abierta, respectivamente. Para el cálculo práctico del sobreancho, no se ha tenido en cuenta esta circunstancia, muy variable según las características de los vehículos y la velocidad que desarrollan. Para determinar la magnitud del sobreancho debe elegirse un vehículo representativo del tránsito de la ruta.

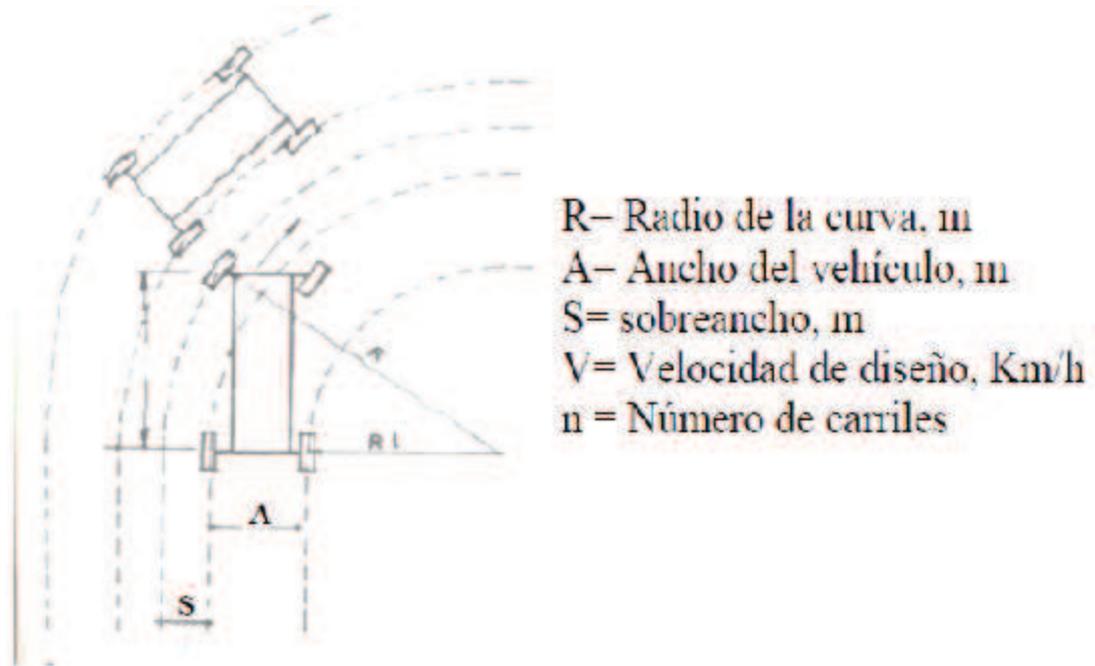


Figura 27. Esquema para determinar el sobreebanco de un carril de tránsito en una curva

Fuente: (Ministerio de Obras Públicas, 2003)

Considerando la influencia de la velocidad de tránsito y para diferentes números de carriles se utiliza la siguiente fórmula empírica.

$$S = n \left(R - \sqrt{R^2 - L^2} \right) + \frac{V}{10\sqrt{R}}$$

Dónde:

S = Valor de sobreebanco, metros

n = Número de carriles de la calzada

R = Radio de la curva circular, metros

L = Longitud entre la parte frontal y el eje posterior del vehículo de diseño, metros

V = Velocidad de diseño, Km/hora.

5.2.6. Peralte

Cuando un vehículo recorre una trayectoria circular es empujado hacia afuera por efecto de la fuerza centrífuga “F”. Esta fuerza es contrarrestada por las fuerzas componentes del peso (P) del vehículo, debido al peralte, y por la fuerza de fricción desarrollada entre llantas y la calzada.

En base a investigaciones realizadas, se ha adoptado el criterio de contrarrestar con el peralte aproximadamente el 55% de la fuerza centrífuga; el restante 45% lo absorbe la fricción lateral.

Se recomienda para vías de dos carriles un peralte máximo del 10% para carreteras y caminos con capas de rodadura asfáltica, de concreto o empedrada para velocidades de diseño mayores a 50 Km/h; y del 8% para caminos con capa granular de rodadura (caminos vecinales tipo 4, 5 y 6) y velocidades hasta 50 Km/h. (Ministerio de Obras Públicas, 2003)

Se calcula la longitud “L” de desarrollo del peralte en función de la gradiente de borde “i”, cuyo valor se obtiene en función de la velocidad de diseño.

$$L = \frac{h}{2 \times i} = \frac{e \times b}{2 \times i}$$

Dónde:

h = Sobrelevación, m.

e = Peralte, %.

b = Ancho de la calzada, m.

i = gradiente de borde, que se calcula según la siguiente fórmula:

$$i = \frac{e \times b}{2} L$$

Tabla 40.

Gradiente Longitudinal (i) necesaria para el desarrollo del peralte

v_0 , KM/h	VALOR DE (i), ‰	MAXIMA PENDIENTE EQUIVALENTE.
20	0,800	1:125
25	0,775	1:129
30	0,750	1:133
35	0,725	1:138
40	0,700	1:143
50	0,650	1:154
60	0,600	1:167
70	0,550	1:182
80	0,500	1:200
90	0,470	1:213
100	0,430	1:233
110	0,400	1:250
120	0,370	1:270

Fuente: (Ministerio de Obras Públicas, 2003)

5.3. PROYECTO DE PAVIMENTACIÓN

Proyectar un pavimento significa determinar la combinación de materiales, espesores y posiciones de las capas constituyentes que sea más económica, de entre todas las alternativas viables que satisfagan los requisitos funcionales requeridos. Se trata de una actividad que incluye todos los pasos usuales de un proyecto de cualquier tipo de estructura, donde el producto elaborado incluye las especificaciones que serán seguidas durante la construcción.

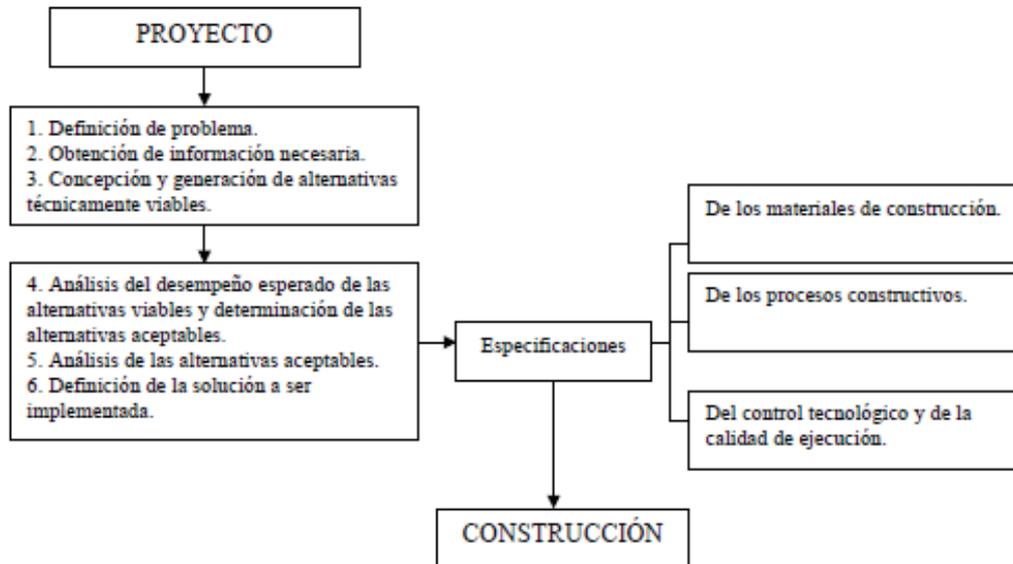


Figura 28. Actividades pertenecientes a un proyecto

Fuente: (Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2000)

5.3.1. Estudio Geotécnico

5.3.1.1. Generalidades

Estudios geotécnicos para el proyecto de pavimentación incluyen:

- Estudios de subrasante
- Estudios de Materiales para la pavimentación

De acuerdo con el Ministerio de Transportes, Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (1996), el estudio de las carreteras de movimiento de tierras sub-base pretende el reconocimiento para caracterizar las diversas capas de suelo y el posterior seguimiento de los perfiles con el propósito de diseño del pavimento.

Los materiales de estudio para la pavimentación tiene como objetivo objetivos la caracterización de los depósitos de materiales como fuente de materias primas para su uso en la construcción de varias capas de fortalecimiento de la subrasante, sub-base, base y recubrimiento, según el

proyecto de pavimentación. (Ministerio de Transportes. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, 1996)

De acuerdo con el Ministerio de Transportes, Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (1996), en la realización de estudios geotécnicos para el proyecto de pavimentación se realizan las siguientes pruebas:

- Granulometría;
- Límite de liquidez;
- Límite de plasticidad;
- La compresión;
- Densidad aparente "in situ";
- Índice de Soporte de California.

5.3.1.2. Subrasante de Estudio

Según Reyes (2005) el procedimiento lógico para el buen conocimiento de la subrasante de la calzada tiene en cuenta lo siguiente:

- Una identificación geotécnica que permita aproximar el comportamiento predecible del suelo al comportamiento general de una familia conocida. Esta etapa se fundamenta en la clasificación de los suelos.
- Un estudio de los parámetros de estado, pues para una familia de suelos existen parámetros característicos de su comportamiento, por ejemplo el Proctor y el CBR.
- Una evaluación de la capacidad portante, que va a depender del contenido de agua, apoyado también por el CBR. La ley del comportamiento del suelo requiere ensayos triaxiales bajo cargas dinámicas.

De acuerdo con el Ministerio de Obras Públicas y Comunicación (2002) la capa superior del camino, es decir, hasta nivel de subrasante, ya sea en corte o terraplén, se formará con suelo seleccionado, estabilización con cal;

estabilización con material pétreo, membranas sintéticas, empalizada, o mezcla de materiales previamente seleccionados y aprobados por el Fiscalizador.

Deberá ser suelo granular, material rocoso o combinaciones de ambos, libre de material orgánico y escombros, y salvo que se especifique de otra manera, tendrá una granulometría tal que todas las partículas pasarán por un tamiz de cuatro pulgadas (100 mm.) con abertura cuadrada y no más de 20 por ciento pasará el tamiz N° 200 (0,075 mm), de acuerdo al ensayo AASHTO-T.11. (Ministerio de Obras Públicas y Comunicación, 2002)

La parte del material que pase el tamiz N° 40 (0.425 mm.) deberá tener un índice de plasticidad no mayor de nueve (9) y límite líquido hasta 35% siempre que el valor del CBR sea mayor al 20%, tal como se determina en el ensayo AASHTO-T-91. Material de tamaño mayor al máximo especificado, si se presenta, deberá ser retirado antes de que se incorpore al material en la obra. La densidad de la capa compactada deberá ser el 95% en vez del 100% de la densidad máxima, según AASHTO-T-180, método D. (Ministerio de Obras Públicas y Comunicación, 2002)

5.3.1.3. Estudio de materiales de Pavimentación

SUPERFICES DE RODADURA

- **Superficie de Grava – Arcilla**

Deberán utilizarse mezclas homogéneas de grava y arcilla o arena y arcilla, exentas de materiales vegetales, que formen una capa de espesor compactado uniforme como lo indiquen los planos del contrato.

La mezcla de materiales deberá tener un límite líquido máximo de 35 y un índice de plasticidad no mayor de 9. (Ministerio de Obras Públicas, 2002)

Tabla 41.
Granulometría para Superficie de Grava - Arcilla

TAMIZ	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada				
	A	B	C	D	E
2" (50.8 mm)	100				
1 1/2" (38.10 mm)	80 - 100				
1" (25.4 mm.)	60 - 80	100	100	100	100
3/8" (9.5 mm.)	--	50 - 85	60 - 100	--	--
Nº 4 (4.75 mm.)	45 - 65	35 - 70	45 - 85	--	--
Nº 10 (2.00 mm.)	--	25 - 50	30 - 65	40 - 100	55 - 100
Nº 40 (0.425 mm.)	--	12 - 30	15 - 40	20 - 50	30 - 70
Nº 200 (0.075 mm.)	5 - 15	4 - 12	5 - 15	6 - 20	8 - 25

Fuente: (Ministerio de Obras Públicas y Comunicación, 2002)

- **Superficie de Agregados no Tratados**

Los agregados gruesos consistirán de partículas resistentes y durables que tengan un porcentaje de desgaste a la abrasión de 50% como máximo. Las partículas finas consistirán de una mezcla de arena y arcilla o limo, y no deberán contener material vegetal; el índice de plasticidad de la fracción que pasa el tamiz Nº 40 será como máximo de 9 y su límite líquido no será mayor de 35; la fracción que pasa el tamiz Nº 200 no deberá ser mayor que las dos terceras partes de la fracción que pasa el tamiz Nº 40. (Ministerio de Obras Públicas, 2002)

Tabla 42.
Granulometría para Agregados no tratados

TAMIZ	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada			
	A	B	C	D
3" (76.2 mm.)	100	--	--	--
2" (50.8 mm.)	80 - 100	100	--	--
1" (25.4 mm.)	55 - 85	75 - 95	100	100
3/8" (9.50 mm.)	--	--	50 - 85	60 - 100
Nº 4 (4.750 mm.)	30 - 55	30 - 60	35 - 65	50 - 85
Nº 200 (0.075 mm.)	5 - 15	5 - 15	5 - 15	5 - 20

Fuente: (Ministerio de Obras Públicas y Comunicación, 2002)

- **Suelo Estabilizado con Material Bituminoso**

Pueden utilizarse suelos cohesivos o materiales no cohesivos como limos, arenas, o mezclas de ellos. Su granulometría no es absolutamente restrictiva, pero es recomendable que más del 50% del suelo pase a través del tamiz N° 4 (4.75 mm.) y que entre el 10 y el 50% pasen a través del tamiz N°. 200 (0.075 mm.). El límite líquido deberá ser menor a 35 y el índice de plasticidad será menor a 9. (Ministerio de Obras Públicas y Comunicación, 2002)

- **Adoquinado**

El adoquín de piedra estará formado por fragmentos de roca resistentes y durables, que no presentará un porcentaje de desgaste mayor a 40 en el ensayo de abrasión, Norma INEN 861, luego de 500 vueltas de la máquina de Los Ángeles. La roca original será cortada manual o mecánicamente para formar paralelepípedos rectangulares, con la cara superior labrada, para conseguir regularidad geométrica y textura uniformes; los cuatro costados serán cortados en ángulo recto y su cara inferior podrá no ser regularizada, aunque no tendrá proyecciones tales que causen punzonamiento excesivo en las capas inferiores. Sus dimensiones serán las indicadas en el contrato. (Ministerio de Obras Públicas y Comunicación, 2002)

Los adoquines de hormigón serán construidos en prensas mecánicas, y serán así mismo paralelepípedos rectangulares con todas sus caras regulares y uniformes formadas en ángulo recto. Serán premoldeados en las dimensiones especificadas para utilizarlos sin ninguna adecuación posterior. (Ministerio de Obras Públicas y Comunicación, 2002)

- **Empedrados**

El empedrado se realizará con cantos rodados o con piedra fracturada, en concordancia con lo establecido en los documentos contractuales y con la disponibilidad de los mismos. Este trabajo no deberá ser efectuado sobre una subrasante que tenga un valor de soporte CBR menor al 6%. La piedra partida o canto rodado deberá tener de 15 a 20 cm. de diámetro para las maestras y de 10 a 15 cm.

de diámetro para el resto de la calzada y cunetas empedradas.
(Ministerio de Obras Públicas y Comunicación, 2002)

SUB-BASES

- **Sub-base de Agregados**

La clase de sub-base que deba utilizarse en la obra estará especificada en los documentos contractuales. De todos modos, los agregados que se empleen deberán tener un coeficiente de desgaste máximo de 50%, de acuerdo con el ensayo de abrasión de los Ángeles y la porción que pase el tamiz N° 40 deberá tener un índice de plasticidad menor que 6 y un límite líquido máximo de 25. La capacidad de soporte corresponderá a un CBR igual o mayor del 30%. (Ministerio de Obras Públicas y Comunicación, 2002)

Tabla 43.

Granulometría para Sub-base de Agregados

TAMIZ	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada		
	CLASE 1	CLASE 2	CLASE 3
3" (76.2 mm.)	--	--	100
2" (50.4 mm.)	--	100	--
1 1/2 (38.1 mm.)	100	70 - 100	--
N° 4 (4.75 mm.)	30 - 70	30 - 70	30 - 70
N° 40 (0.425 mm.)	10 - 35	15 - 40	--
N° 200 (0.075 mm.)	0 - 15	0 - 20	0 - 20

Fuente: (Ministerio de Obras Públicas y Comunicación, 2002)

- **Sub-base Modificada con Arena o Limo**

La capa de sub-base se colocará sobre la subrasante previamente preparada y aprobada, de conformidad con las alineaciones, pendientes y sección transversal señaladas en los planos. La porción del agregado que pase el tamiz N° 40, incluyendo el relleno mineral,

deberá carecer de plasticidad o tener un límite líquido menor de 25 y un índice de plasticidad menor de 6, al ensayarse de acuerdo a los métodos establecidos en las Normas INEN 691 y 692 (AASHTO T-89 y T-90). (Ministerio de Obras Públicas y Comunicación, 2002)

- **Sub- base Modificado con Cal**

El material a incorporar a cualquiera de las sub-bases para controlar el límite líquido y el índice plástico a las especificaciones, será cal hidratada, la cual deberá cumplir con los requisitos de la Norma INEN 247. Si se emplea cal viva hidratada en obra, se debe además exigir que se cumplan los requisitos de la Norma INEN 248. (Ministerio de Obras Públicas y Comunicación, 2002)

BASES

- **Base de Agregados**

La clase y tipo de base que deba utilizarse en la obra estará especificada en los documentos contractuales. En todo caso, el límite líquido de la fracción que pase el tamiz N° 40 deberá ser menor de 25 y el índice de plasticidad menor de 6. El porcentaje de desgaste por abrasión de los agregados será menor del 40% y el valor de soporte de CBR deberá ser igual o mayor al 80%. (Ministerio de Obras Públicas y Comunicación, 2002)

- **Base de Agregados Estabilizado con Cemento Portland**

Serán agregados triturados o cribados o una mezcla de ambos. En todo caso los agregados deberán hallarse uniformemente graduados dentro de los límites granulométricos indicados. Los materiales bien graduados contendrán entre un 55% y un 65% de agregado grueso retenido en el tamiz N° 4. (Ministerio de Obras Públicas y Comunicación, 2002)

Tabla 44.

Granulometría para Base de Agregados estabilizados con Cemento Portland

TAMIZ	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada	
	Agregado grueso	Agregado fino
2" (50.8 mm.)	100	--
1 1/2" (38.1 mm.)	95 - 100	--
3/4" (19.0 mm.)	40 - 100	--
Nº 4 (4.76 mm.)	0 - 5	80 - 100
Nº 10 (2.00 mm.)	--	50 - 85
Nº 40 (0.425 mm.)	--	15 - 45
Nº 200 (0.075 mm.)	--	0 - 10

Fuente: (Ministerio de Obras Públicas y Comunicación, 2002)

- **Base de Agregados Estabilizados con Cal**

Los agregados por emplear serán los especificados para bases clase 3 o clase 4, y deberán cumplir los requisitos de granulometría correspondientes a ellos. (Ministerio de Obras Públicas y Comunicación, 2002)

Tabla 45.

Granulometría para Base de Agregados estabilizados con Cal

TAMIZ	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada
1" (25.4 mm.)	100
3/4" (19.0 mm.)	70 - 100
3/8" (9.5 mm.)	50 - 80
Nº 4 (4.76 mm.)	35 - 65
Nº 10 (2.00 mm.)	25 - 50
Nº 40 (0.425 mm.)	15 - 30
Nº 200 (0.075 mm.)	3 - 15

Fuente: (Ministerio de Obras Públicas y Comunicación, 2002)

- **Base de Suelo – Cemento**

Los suelos que se utilicen podrán ser limo-arcillosos puros o mezclados con arenas o gravas, el suelo que se utilice para bases de suelo-cemento debe provenir de fuentes aprobadas, y cumplirá los requisitos de graduación que se especifican. (Ministerio de Obras Públicas y Comunicación, 2002)

Tabla 46.

Granulometría para Base de Suelo - Cemento

TAMIZ	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada	
	Mezcla en Sitio	Mezcla en planta
3" (76.2 mm.)	100	100
1 1/2" (38.1 mm.)	--	--
1" (25.4 mm.)	--	--
3/4" (19.0 mm.)	60 - 100	60 - 100
Nº 4 (4.75 mm.)	---	40 - 75
Nº 10 (2.00 mm.)	30 - 70	30 - 50
Nº 40 (0.425 mm.)	--	15 - 35
Nº 200 (0.075 mm.)	5 - 25	5 - 15

Fuente: (Ministerio de Obras Públicas y Comunicación, 2002)

El cemento que se utilice para la mezcla será Portland tipo I o tipo II, de acuerdo con la norma INEN 152. (Ministerio de Obras Públicas y Comunicación, 2002)

5.3.2. Dimensionamiento de Pavimentos

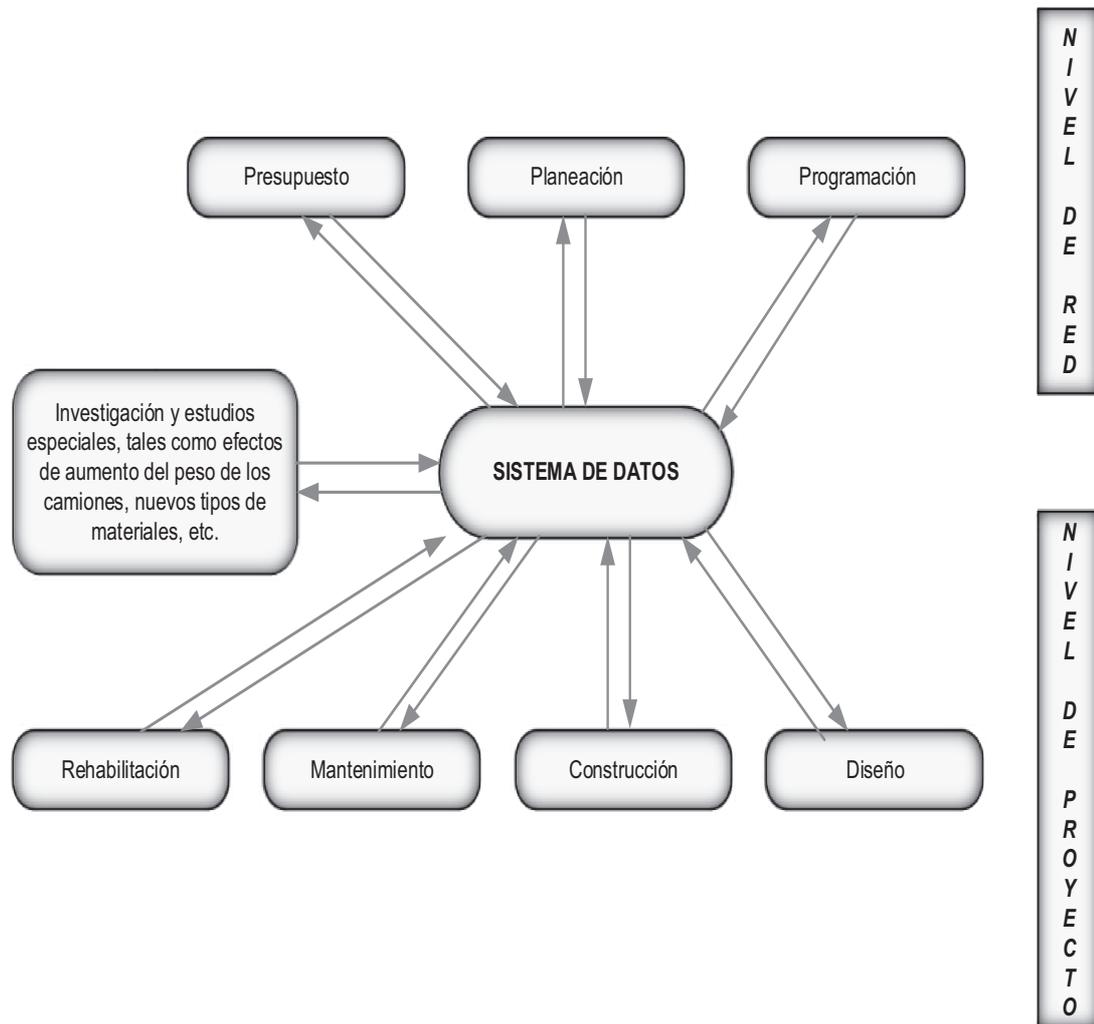


Figura 29. Actividades de un sistema administrativo de pavimento

Fuente: (American Association of State Highway and Transportation Officials, 1993)

Elaborado por: Vanessa Perez

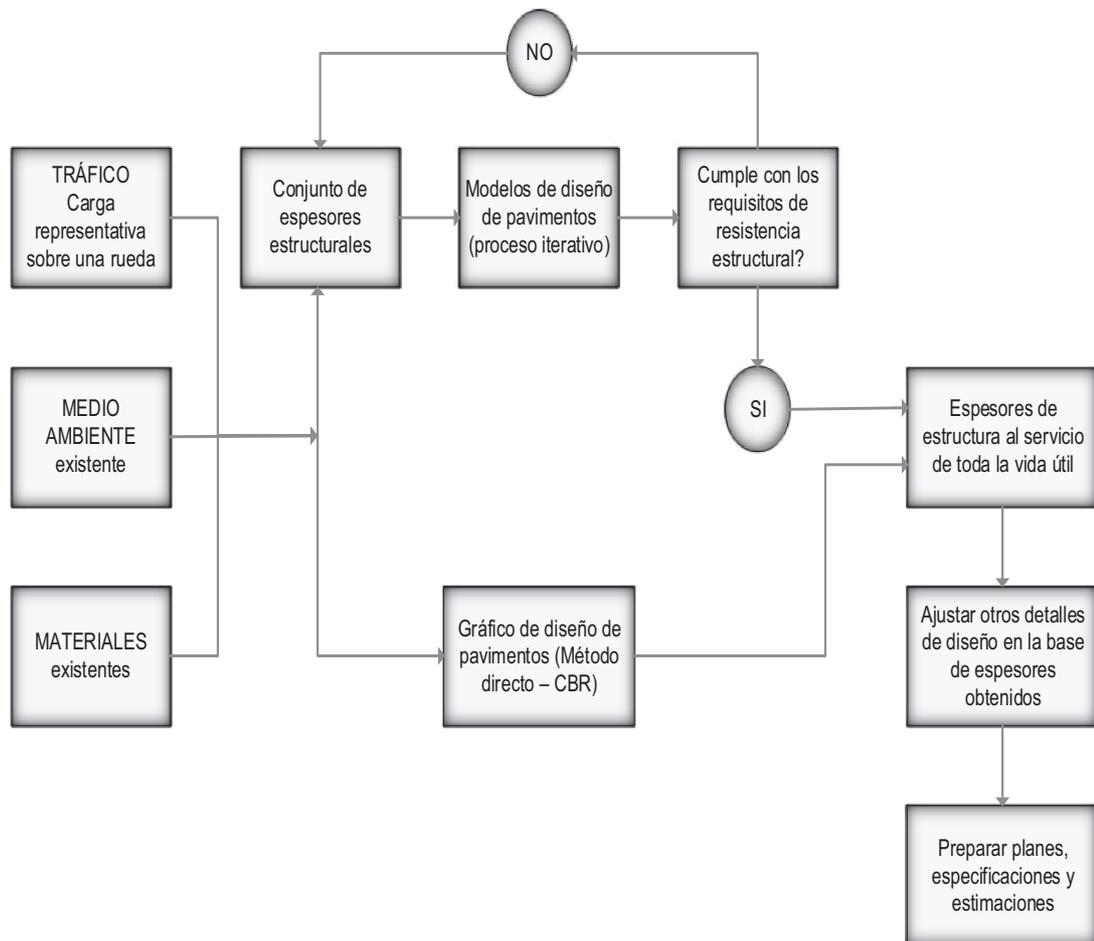


Figura 30. Diagrama esquemático de diseño

Fuente: (American Association of State Highway and Transportation Officials, 1993)

PAVIMENTO FLEXIBLE

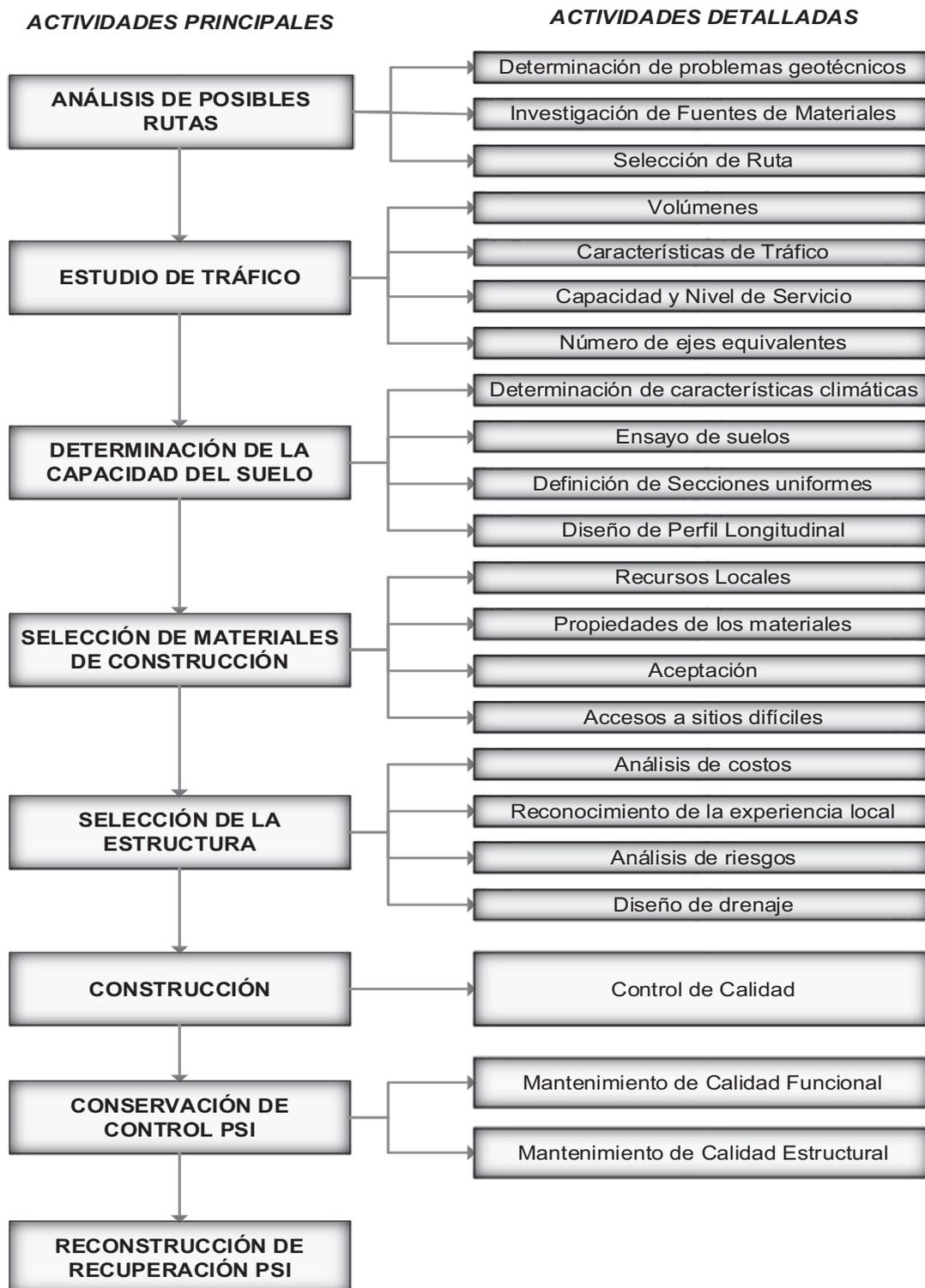


Figura 31. Proceso de diseño de pavimentos flexibles

Fuente: (Departamento de Geotecnia de la MOP, 2001)

PAVIMENTO RÍGIDO

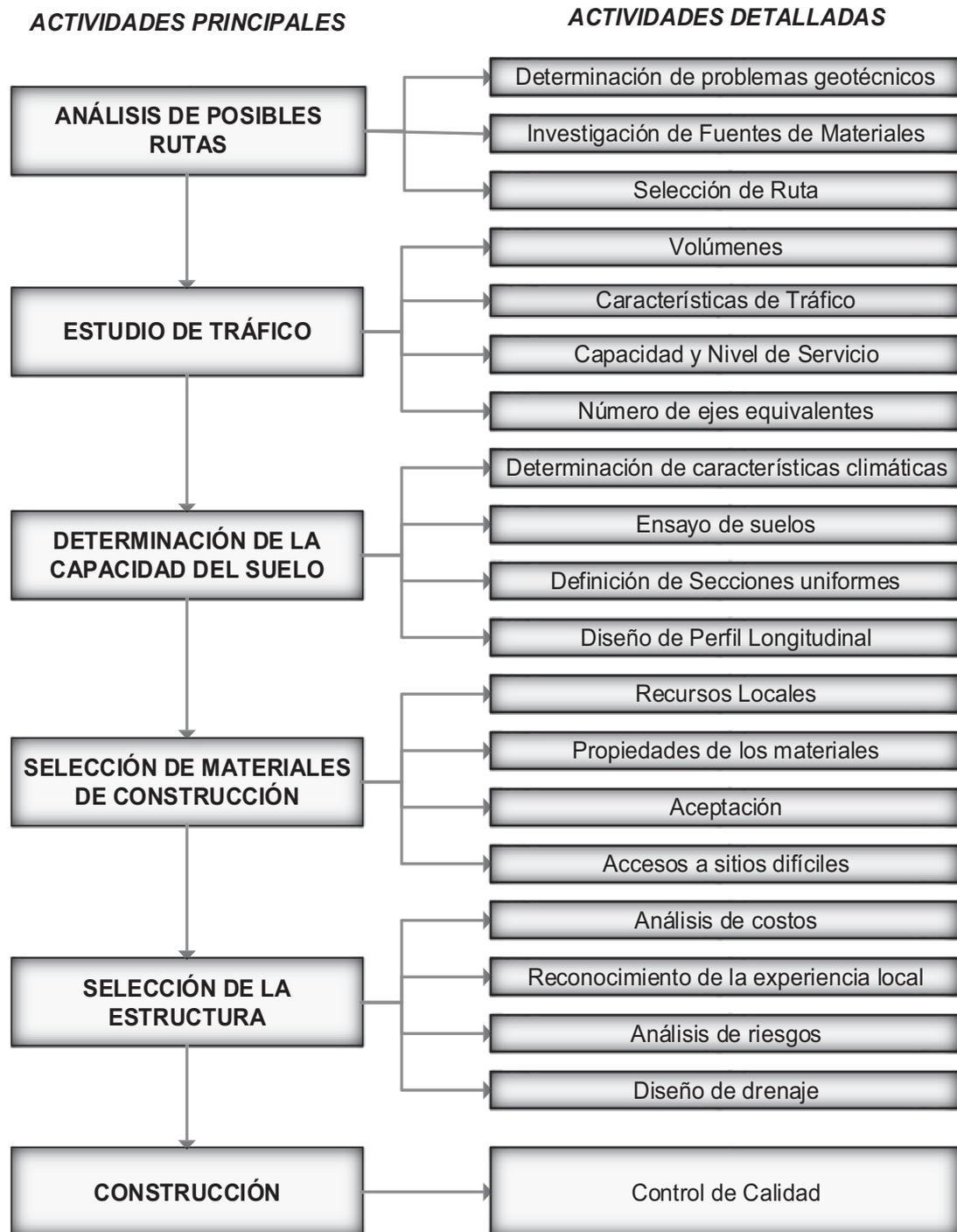


Figura 32. Proceso de diseño de pavimentos rígidos

Fuente: (Departamento de Geotecnia de la MOP, 2001)

Elaborado por: Vanessa Perez

5.3.2.1. Pavimento Flexible – Método AASHTO 1993

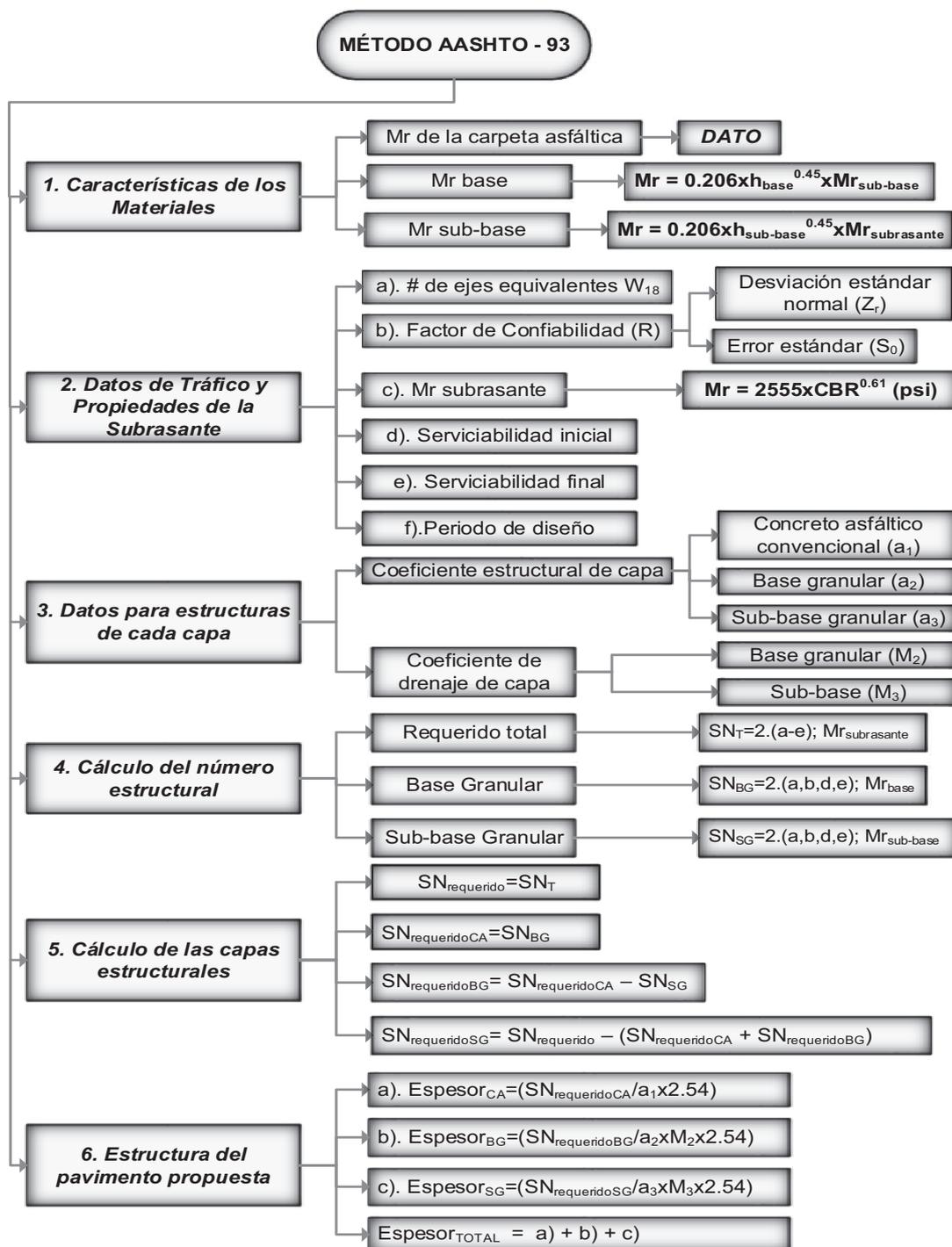


Figura 33. Diseño de pavimento flexible – Método AASHTO-93

Fuente: (American Association of State Highway and Transportation Officials, 1993)

Elaborado por: Vanessa Perez

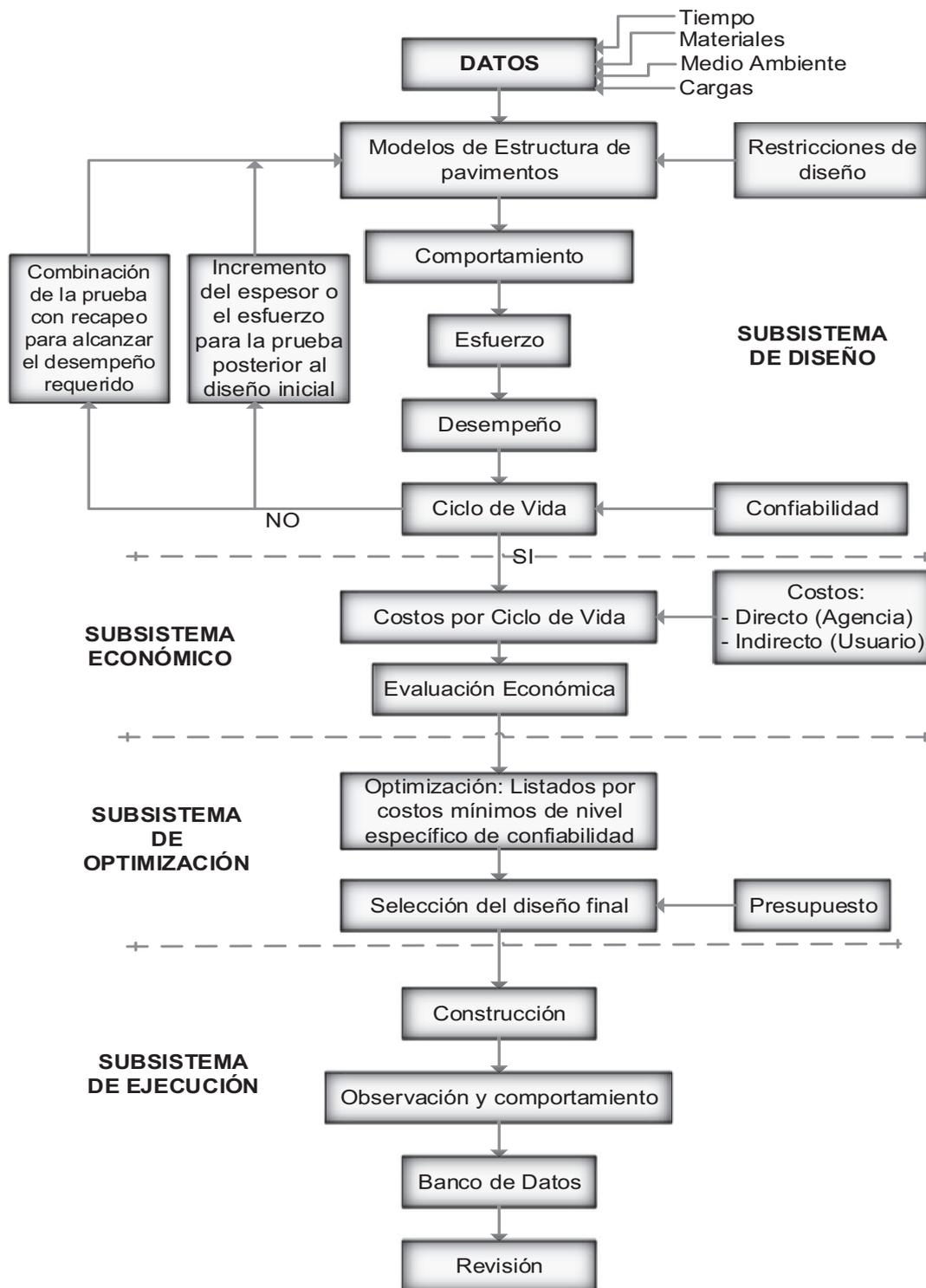


Figura 34. Proceso de diseño de pavimentos nuevos y su refuerzo

Fuente: (American Association of State Highway and Transportation Officials, 1993)

5.3.2.2. Pavimento Flexible – Método Racional

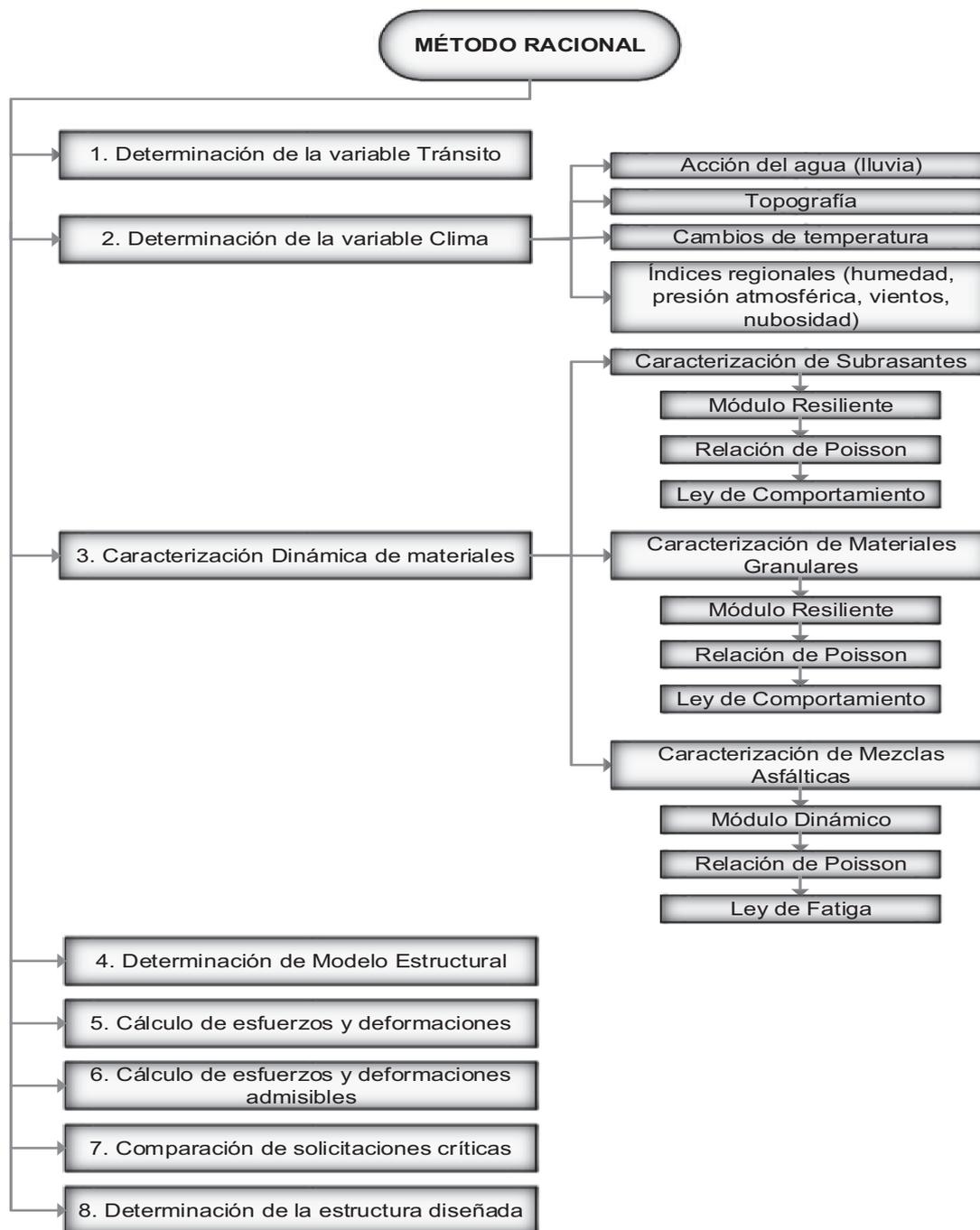


Figura 35. Diseño de pavimento flexible – Método Racional
Fuente: (American Association of State Highway and Transportation
 Officials, 1993)

Elaborado por: Vanessa Perez

5.3.2.3. Pavimentos Rígidos

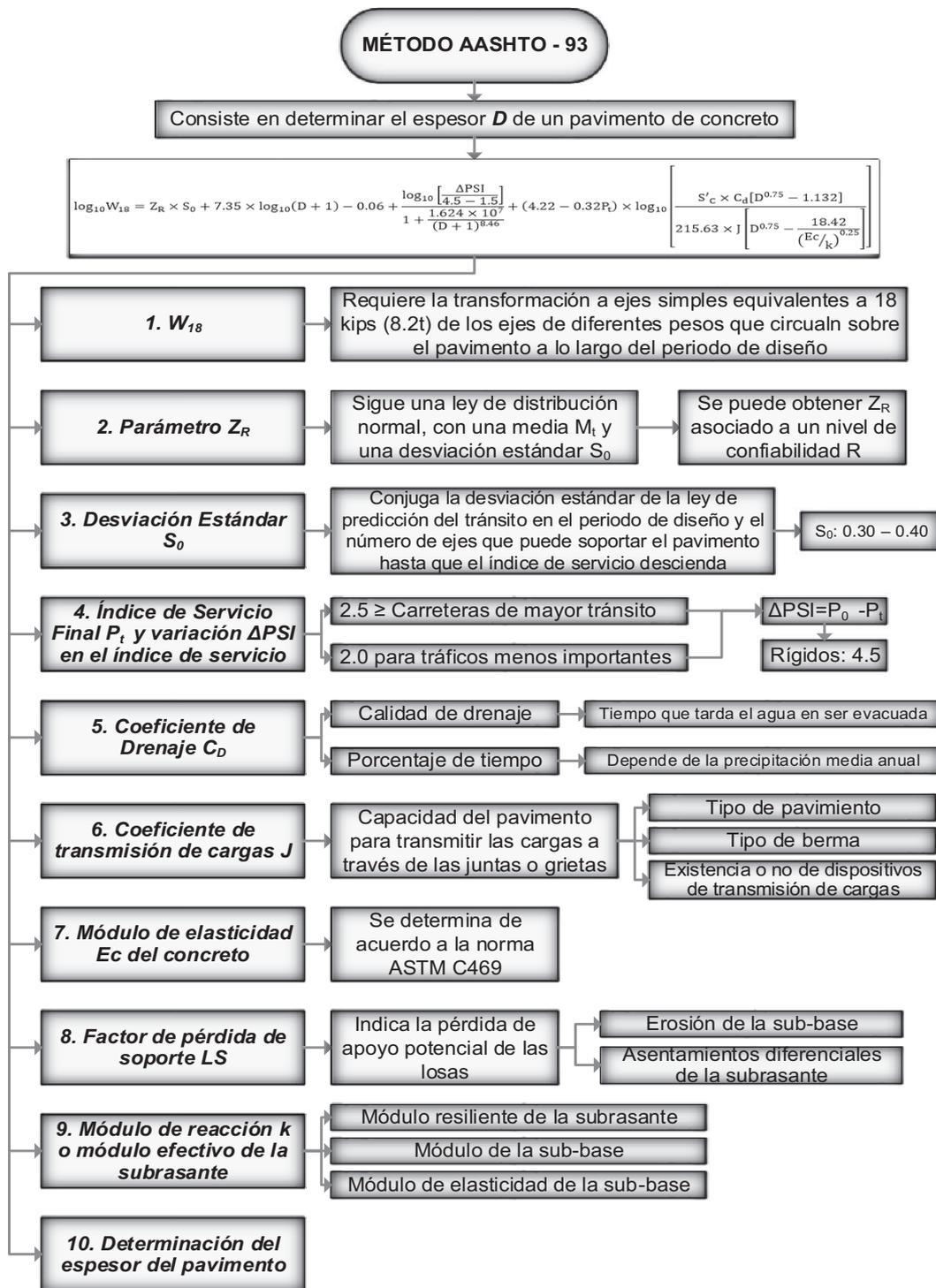


Figura 36. Diseño de pavimento rígido – Método AASHTO 93

Fuente: (American Association of State Highway and Transportation Officials, 1993)

Elaborado por: Vanessa Perez

5.4. PROYECTO DE DRENAJE

5.4.1. Generalidades

De acuerdo a la MOP (2002) el sistema de drenaje vial es de importancia vital para el funcionamiento y operación de la carretera; tiene cuatro funciones principales:

- a.** Desalojar rápidamente el agua de lluvia que cae sobre la calzada;
- b.** Controlar el nivel freático;
- c.** Interceptar al agua que superficial o subterráneamente escurre hacia la carretera; y,
- d.** Conducir de forma controlada el agua que cruza la vía.

Las tres primeras funciones son realizadas por drenajes longitudinales tales como cunetas, cunetas de coronación, canales de encauzamiento, bordillos y sub-drenes, mientras que la última función es realizada por drenajes transversales como las alcantarillas y puentes.

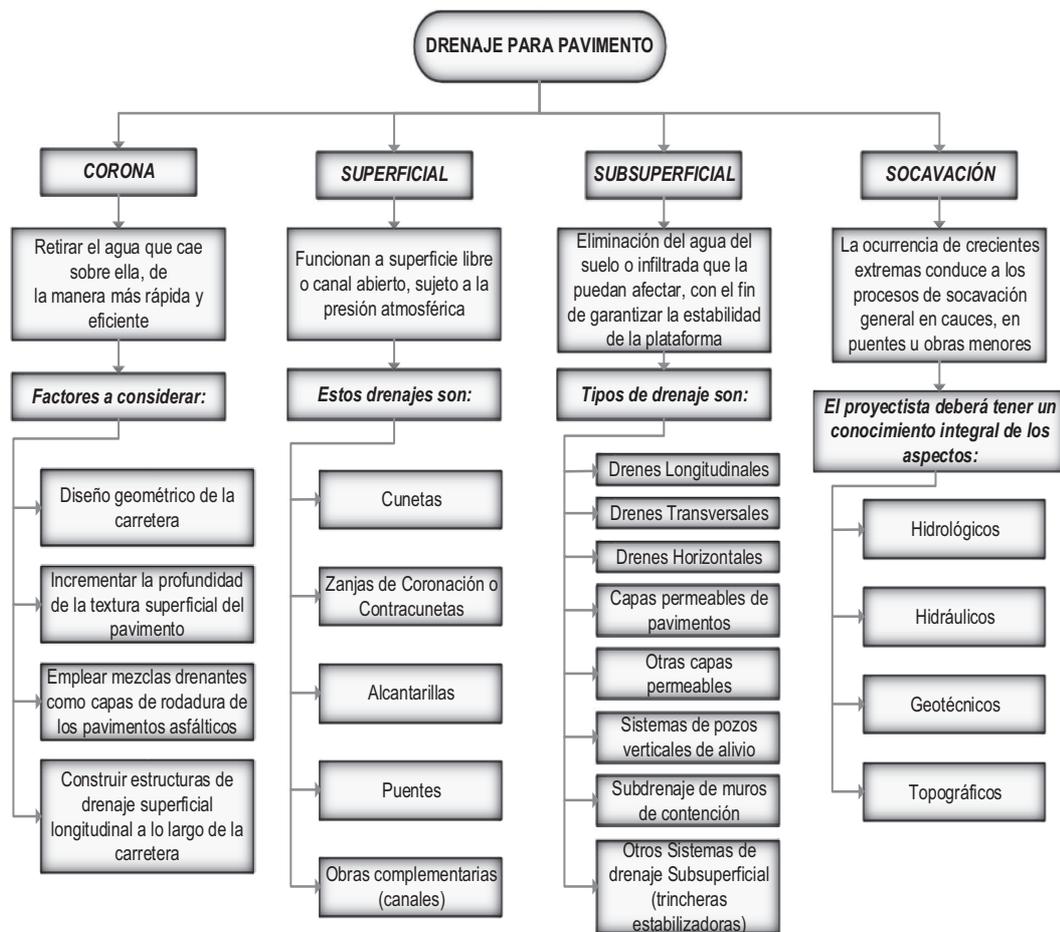


Figura 37. Drenaje de Pavimento

Fuente: (Instituto Nacional de vías, 2009)

Elaborado por: Vanessa Perez

5.4.2. Condiciones de Drenaje

Según el Departamento de Geotecnia de la MOP (2001) las condiciones de drenaje tienen dos categorías, que son:

- Los sistemas de drenaje de pavimentos debido a la filtración desde la superficie, sobre subrasantes impermeables resultando en una condición de “tina de baño” cuando el agua atrapada se puede escapar fácilmente.
- Drenaje de la subrasante debido a niveles de aguas freáticas altos o drenaje de agua libre debido a condiciones de niveles freáticos “colgados”, temporales.

Donde los suelos de subrasante son lo suficientemente permeables como para ser auto drenantes, puede que realmente no exista la necesidad de un sistema de subdrenaje. Los procedimientos de diseño de pavimentos siempre deben considerar la revisión del drenaje interno cuando existan capas de baja permeabilidad (naturales o artificiales) las cuales pueden causar niveles freáticos colgados. (Departamento de Geotecnia de la MOP, 2001)

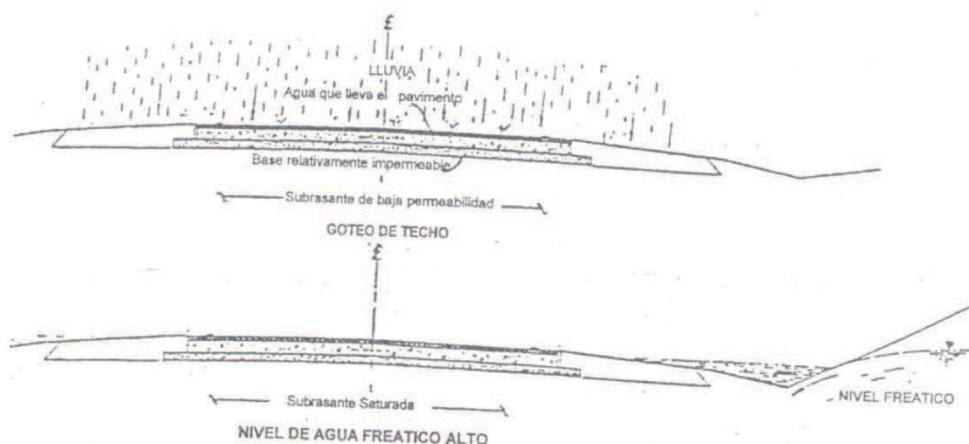


Figura 38. Condiciones de drenaje

Fuente: (Departamento de Geotecnia de la MOP, 2001)

5.4.3. Cálculos de contribución de descargas para proyecto de Drenaje para Pavimentos

5.4.3.1. Elementos del Proyecto

Actividades de la Fase 1. Pre – factibilidad

De acuerdo al Manual de Drenaje para Carreteras (2009) el Consultor debe fundamentalmente, allegar toda la información disponible y efectuar un análisis somero de ella. Al efecto, deberá considerar las siguientes actividades para cada uno de los corredores alternativos:

- Obtención de la cartografía e identificación en ella de las cuencas de las corrientes de tipo perenne que sean atravesadas por cada corredor vial en estudio.
- Identificación y recopilación de la información de las estaciones climatológicas e hidrométricas del área aferente a cada corredor vial.
- Adquisición de las fotografías aéreas de los sitios de cruces más relevantes de las corrientes de tipo perenne.
- Con base en la información recopilada de los posibles corredores de ruta, se deben analizar de manera general, al menos, los siguientes aspectos: patrones de drenaje, cantidad de cauces mayores y ponederos
- Se adelantará un reconocimiento aéreo o terrestre que permita corroborar para cada corredor el patrón de drenaje, las condiciones reales de los ponederos definidos como puntos secundarios de control, y todos los demás aspectos que el grupo de especialistas a cargo de la Fase de Pre-factibilidad considere necesario valorar.

Actividades de la Fase 2. Factibilidad

De acuerdo al Manual de Drenaje para Carreteras (2009) el Consultor debe complementar la información adquirida durante la primera fase y, al efecto, deberá adelantar las siguientes actividades adicionales para el corredor elegido.

- Con base en la información recopilada para la alternativa seleccionada, se deben analizar, a nivel de detalle, los siguientes aspectos: el patrón de drenaje, el número de cauces y ponederos.
- Se definirán las características de las cuencas, estableciendo con precisión los límites y el tamaño del área aferente de cada una, las áreas de drenaje, la pendiente del curso de agua más importante y la pendiente media de cada cuenca y demás características geométricas de las mismas, el uso actual y previsto de la tierra, y se identificarán, entre otros, los tipos de suelos y su clasificación.

- Se deberá registrar y evaluar cualquier trabajo que se esté realizando en el lugar o que se tenga previsto y que cambie las características hidráulicas de una corriente de agua, con el fin de determinar su efecto sobre ella. En particular, se debe allegar información sobre: alineamiento y sección transversal de la carretera, coeficientes de rugosidad de la corriente, planos de inundación, estructuras que generen obstrucciones, áreas de almacenamiento potencial de agua, etc.
- Se deberá allegar la información de utilidad para los análisis de estabilidad de canales y de socavación: clasificación de la corriente, transporte de sedimentos, potencial de socavación, estabilidad del curso, materiales existentes en el lecho y las orillas, etc.
- Se adelantará el levantamiento topográfico y batimétrico de los cauces cruzados por ponteaderos.

Los aspectos hidráulicos a estudiar paralelamente con el proceso de diseño geométrico son:

- 1) Estudios de hidrología, hidráulica y socavación de cauces
- 2) Ubicación y prediseño de las alcantarillas
- 3) Cota mínima de rasante en cada sitio de ponedero.

Actividades de la Fase 3. Diseños definitivos

De acuerdo al Manual de Drenaje para Carreteras (2009) el Consultor deberá considerar, como mínimo, las siguientes actividades para el diseño definitivo del corredor seleccionado.

- Gálibo mínimo en los emplazamientos de las obras de cruce de cauces como puentes y pontones.
- Diseño y espaciado máximo entre alcantarillas.
- Diseño de alcantarillas, cunetas, zanjas de coronación, aliviaderos, bordillos, disipadores de energía, subdrenes y demás elementos de drenaje superficial y subterráneo que se requieran.

- Diseño de pontones, puentes y muros de contención. Estos diseños deben incluir el estudio de fundaciones y, en el caso de pontones y puentes, los estudios de socavación.

5.4.3.2. Cálculos de contribución de descargas y capacidades de flujo para dispositivos de drenaje y su ubicación respectiva

5.4.3.2.1. Cálculo de Cunetas

Son canales que se construyen, en las zonas de corte, a uno o a ambos lados de una carretera, con el propósito de interceptar el agua de lluvia que escurre de la corona de la vía, del talud del corte y de pequeñas áreas adyacentes, para conducirla a un drenaje natural ó a una obra transversal, con la finalidad de alejarla rápidamente de la zona que ocupa la carretera. (Ministerio de Obras Públicas, 2003)

Contracunetas

Son canales excavados en el terreno natural, que se localizan aguas arriba cerca de la corona de los taludes de los cortes, con la finalidad de interceptar el agua superficial que escurre ladera abajo desde mayores alturas, para evitar la erosión del talud y el incremento del caudal y su material de arrastre en la cuneta. (Ministerio de Obras Públicas y Comunicación, 2002)

Localización, pendiente y velocidad

La cuneta se localizará entre el espaldón de la carretera y el pie del talud del corte. La pendiente será similar al perfil longitudinal de la vía, con un valor mínimo del 0.50% y un valor máximo que estará limitado por la velocidad del agua la misma que condicionará la necesidad de revestimiento. (Ministerio de Obras Públicas y Comunicación, 2002)

Forma de la Sección

Las cunetas según la forma de su sección transversal, pueden ser: triangulares, rectangulares y trapezoidales. El uso de cunetas triangulares es generalizado, posiblemente, por su facilidad de construcción y mantenimiento; aunque dependiendo del área hidráulica requerida, también, se pueden utilizar secciones rectangulares o trapezoidales. (Ministerio de Obras Públicas y Comunicación, 2002)

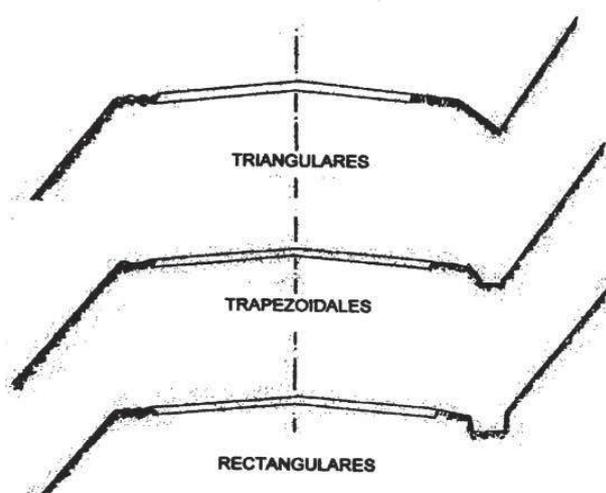


Figura 39. Secciones típicas de cunetas

Fuente: (Ministerio de Obras Públicas, 2003)

En las secciones triangulares se recomienda que el talud hacia la vía tenga como mínimo 3:1, preferentemente 4:1 y del lado del corte seguirá sensiblemente la inclinación del talud del mismo; considerando, para el caso, una lámina de agua no mayor a 30 cm.

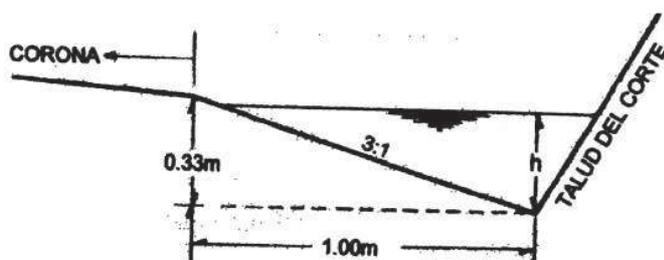


Figura 40. Dimensiones típicas de cunetas triangulares

Fuente: (Ministerio de Obras Públicas, 2003)

Diseño Hidráulico

De acuerdo al Ministerio de Obras Públicas (2003), el área hidráulica de una cuneta se determinará con base al caudal máximo de diseño, a la sección transversal, a la longitud, a la pendiente y a la velocidad.

- **Caudal de diseño y período de retorno**

El caudal máximo del escurrimiento de la corona de la vía y del talud del corte, por ancho unitario, se determinará para un período de retorno de 100 años y considerando una lluvia de 20 a 30 minutos de duración. (Ministerio de Obras Públicas y Comunicación, 2002)

Henderson ha desarrollado un método de cálculo, basado en las ecuaciones fundamentales de la hidráulica, para determinar la relación precipitación-escurrimiento en superficies planas con pendiente transversal, considerando la intensidad de la precipitación constante y uniformemente distribuida, estableciendo una serie de ecuaciones, que son:

$$V_0 = i / 3.6 * 10^6$$

$$a = (S^{1/2} / n)$$

$$t_e = (L / a * V_0^{2/3})^{3/5}$$

$$q = a * (V_0 * t)^{5/3} \text{ para } 0 < t < t_e$$

$$q_{\max} = a * (V_0 * t_e)^{5/3} \text{ para } t_e < t < d$$

Dónde:

d = Duración de la lluvia, en s.

i = Intensidad de la precipitación en exceso, en mm/h.

L = Longitud desde el parte aguas hasta la cuneta de intersección en m.

n = Coeficiente de rugosidad (fórmula de Manning).

q = Caudal unitario n el tiempo "t", en $m^3/s/m$.

q_{max} = Caudal unitario máximo durante el intervalo(d-t_e), en $m^3/s/m$.

S₀ = Pendiente media de la superficie.

t = Tiempo, en s.

t_e = Tiempo de equilibrio para que se presente el q_{max}, en s.

Además, en este método, se considera que, la duración de la lluvia debe ser por lo menos igual al tiempo de pico del escurrimiento y se descarta la posibilidad de encharcamiento de la calzada. (Ministerio de Obras Públicas, 2003)

- ***Longitud permisible y descarga***

Se deberá determinar la longitud máxima permisible de la cuneta, a fin de asegurar su funcionamiento eficiente y evitar, al mismo tiempo, que: el nivel de agua rebase la sección y se produzcan depósitos (azolves) en los tramos en que ocurren cambios de la pendiente longitudinal.

Cuando la longitud total de la cuneta proyectada, resultase mayor a la máxima permisible, será necesario diseñar obras de descarga (alcantarillas) que conduzcan el agua, de manera inmediata, hasta un drenaje natural. La distancia recomendable entre las obras de descarga intermedias será igual a la longitud máxima permisible de la cuneta. (Ministerio de Obras Públicas, 2003)

- **Protección**

Cuando el material de las cunetas sea erosionable, se deberá reducir la velocidad de avance del agua, disminuyendo la pendiente de la cuneta; en caso contrario, será necesario revestirla. Dependiendo de las condiciones topográficas, la disminución de la pendiente de la cuneta puede efectuarse provocando caídas, debidamente protegidas, respetando la línea del fondo de la cuneta proyectada. Otra alternativa de solución sería aumentando la sección de la cuneta.

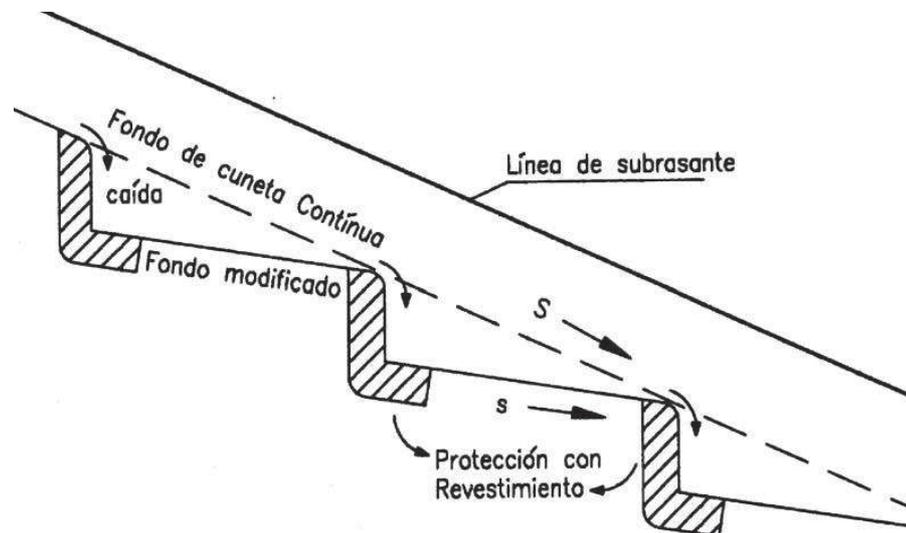


Figura 41. Reducción de la pendiente de la cuneta mediante caídas

Fuente: (Ministerio de Obras Públicas, 2003)

Es importante la relación de niveles entre la lámina de agua en la cuneta y las capas de pavimento. La función drenante de la base requiere que el nivel de la lámina de agua en la cuneta quede por debajo de la superficie inferior de la base; cuando la cuneta no está revestida, es conveniente que la lámina de agua de referencia quede inclusive bajo la superficie inferior de la sub-base, para evitar el humedecimiento de ésta. (Ministerio de Obras Públicas, 2003)

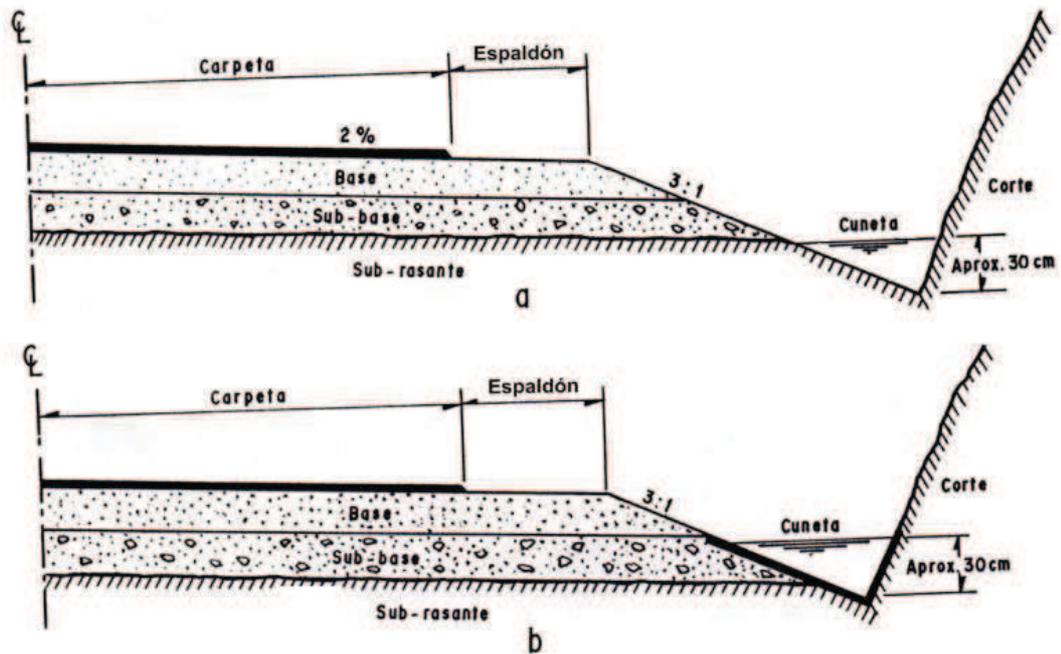


Figura 42. Disposición más conveniente de la cuneta respecto al pavimento

Fuente: (Ministerio de Obras Públicas, 2003)

- **Revestimiento**

De acuerdo al Manual de Drenaje para Carreteras (2009) una cuneta y, en general, un canal, se revisten con los siguientes objetivos:

- ✓ Reducir la infiltración, la cual puede afectar la estructura misma del pavimento.
- ✓ Reducir el área mojada por permitir mayores velocidades del flujo.
- ✓ Prevenir crecimientos vegetales.
- ✓ Reducir los costos de mantenimiento.
- ✓ Mayor vida útil del canal.
- ✓ Mayor estabilidad de la sección.
- ✓ Se considera, entonces, que el revestimiento de las cunetas para vías de primer y segundo orden es necesario, mientras que para vías de tercer orden es opcional y se debe definir a

partir de un análisis técnico y de costos, dentro del cual se incluya el mantenimiento.

5.4.3.2.2. Drenaje Subsuperficial

La validez de los análisis y de los procedimientos de diseño de un sistema de drenaje subsuperficial vial depende, en gran medida, de lo completos y precisos que sean los datos en los cuales ellos se basan. Desafortunadamente, la naturaleza del fenómeno de la filtración y la de los materiales involucrados son tales, que la obtención de datos de entrada precisos es muy difícil, por no decir imposible. Ello no implica, por supuesto, que se puedan escatimar esfuerzos para obtener datos tan reales como sea posible, a la vez que aplicar en los diseños cierta dosis de prudencia. (Instituto Nacional de vías, 2009)

De acuerdo al Instituto Nacional de vías (2009) los datos requeridos para el análisis y el diseño del drenaje subsuperficial se pueden ubicar en 4 categorías:

- 1) La geometría del dominio de flujo:** involucra tanto el diseño geométrico de la carretera como las condiciones subsuperficiales prevalecientes. Ella ayuda a definir los diferentes problemas asociados con el drenaje interno y provee las condiciones de borde que gobiernan su solución.
- 2) Las propiedades de los materiales existentes:** permiten clasificarlos y ayudan a predecir su comportamiento, en particular en relación con su capacidad de transmisión del flujo de agua (permeabilidad).
- 3) Los datos climatológicos:** proporcionan al diseñador una idea de las posibles fuentes del agua subsuperficial que afectan la carretera. Dada la latitud en la cual se halla la república de Colombia, las precipitaciones constituyen el único aspecto relacionado con el clima que resulta de interés para el diseño del drenaje subsuperficial.

- 4) Información adicional:** el diseñador deberá considerar otros aspectos que pueden tener alguna incidencia sobre el diseño del sistema de subdrenaje. Por ejemplo, el impacto que el sistema pueda tener sobre el régimen prevaleciente de agua subterránea y sobre otros aspectos del diseño así como la influencia del subdrenaje o de la falta de él sobre la secuencia de las operaciones constructivas de la vía, etc.

Drenaje de la estructura del pavimento

El drenaje de la estructura del pavimento está relacionado específicamente con el control de la infiltración. Su diseño y construcción tienen por finalidad interceptar y remover el agua que ingresa en la corona debido a la precipitación o al flujo superficial.

Tras muchos años de desafortunados intentos por mantener sellados los pavimentos, se ha aprendido que es prácticamente imposible evitar el ingreso del agua y que la remoción de la que entra es esencial para que los elementos de estas estructuras presenten el comportamiento previsto. Ello resalta la importancia de que un pavimento sea capaz de drenar rápidamente el agua que recibe para reducir la cantidad de tiempo en que se encuentre cerca de la saturación. La siguiente figura muestra la manera como es afectada la calidad del drenaje por el tiempo requerido para drenar el pavimento y el porcentaje de tiempo en que la estructura se encuentra en condición saturada o cerca de ella. Entre más baja sea la calidad del drenaje, mayor será su impacto adverso sobre el comportamiento del pavimento.

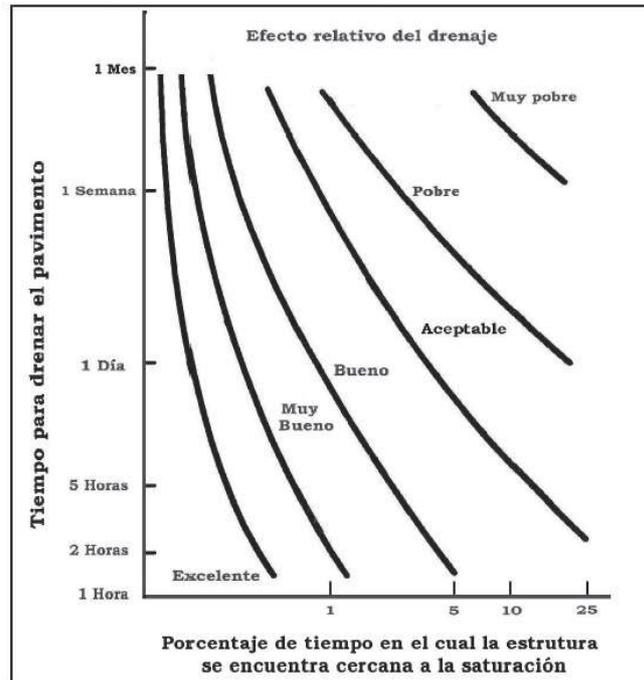


Figura 43. Calificación del drenaje interno de un pavimento

Fuente: (Instituto Nacional de vías, 2009)

5.4.4. Dispositivos de Drenaje Estandarizado

El drenaje interno implica drenaje bajo la superficie del terreno o pavimento. El propósito del drenaje interno provee la remoción del agua libre atrapada en el sistema de pavimento o subrasante. (Departamento de Geotecnia de la MOP, 2001)

De acuerdo al Departamento de Geotecnia de la MOP (2001) los elementos usados en el sistema de drenaje interno generalmente se dividen en cuatro categorías:

- Tuberías de subdrenes
- Filtros de agregados y medios permeables
- Geotextiles
- Salidas con muros de cabeza u otras protecciones

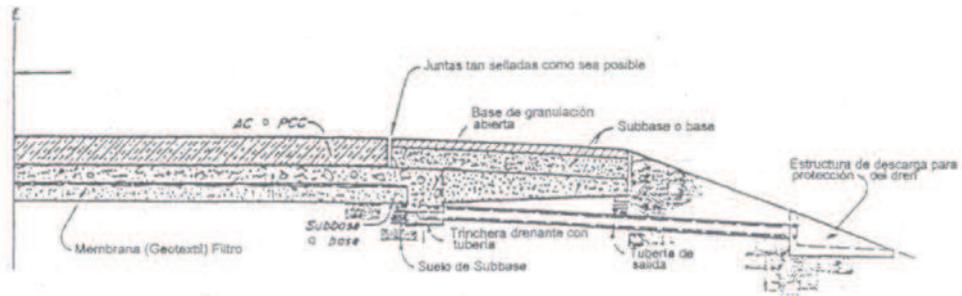


Figura 44. Elementos del Sistema de Drenaje Interno

Fuente: (Departamento de Geotecnia de la MOP, 2001)

CAPITULO 6

FUENTES DE MATERIALES, EQUIPOS E INSTALACIONES INDUSTRIALES

6.1. FUENTE DE MATERIALES

Una explotación inadecuada de materiales para la construcción, rehabilitación o mantenimiento viales podría generar efectos ambientales significativos, como son la pérdida de cobertura vegetal y suelo orgánico, la erosión lineal y areal, las alteraciones en el equilibrio erosión- sedimentación y una distorsión paisajística entre los principales. (Ministerio de Obras Públicas y Comunicación, 2002)

6.1.1. Fuente Central

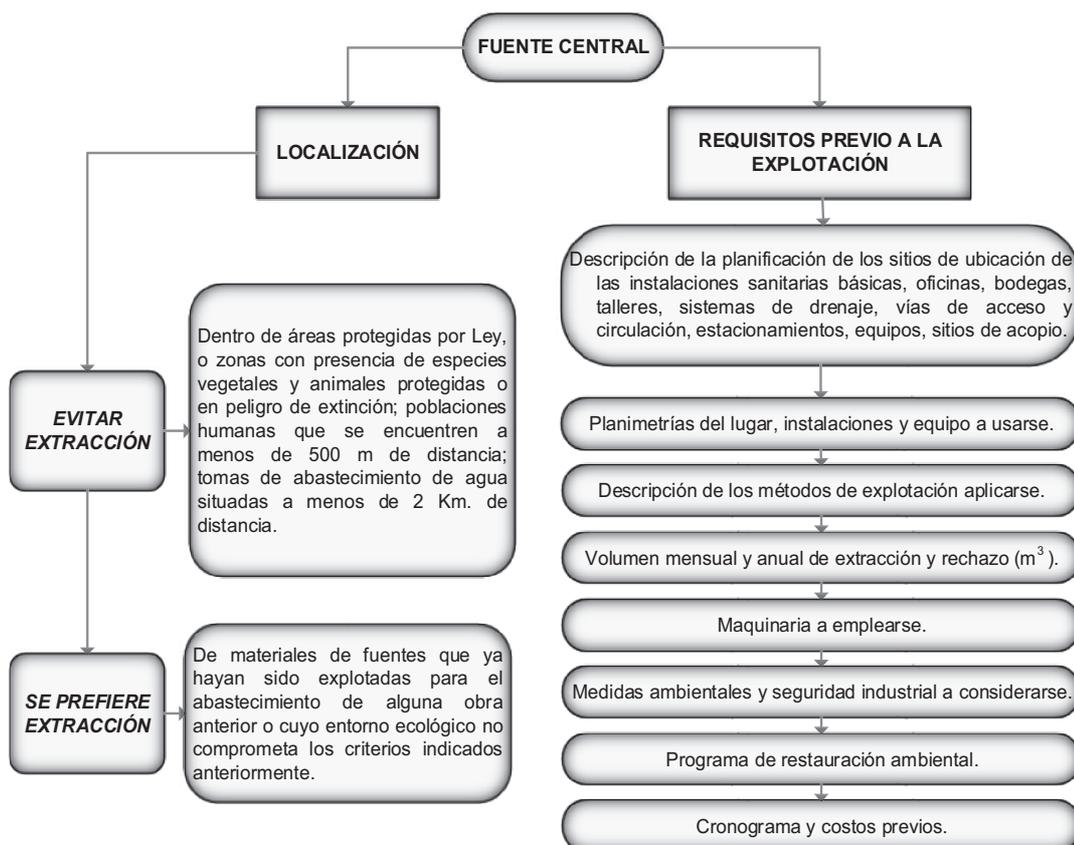


Figura 45. Fuente Central

Fuente: (Ministerio de Obras Públicas y Comunicación, 2002)

Elaborado por: Vanessa Perez

6.1.2. Laboratorio

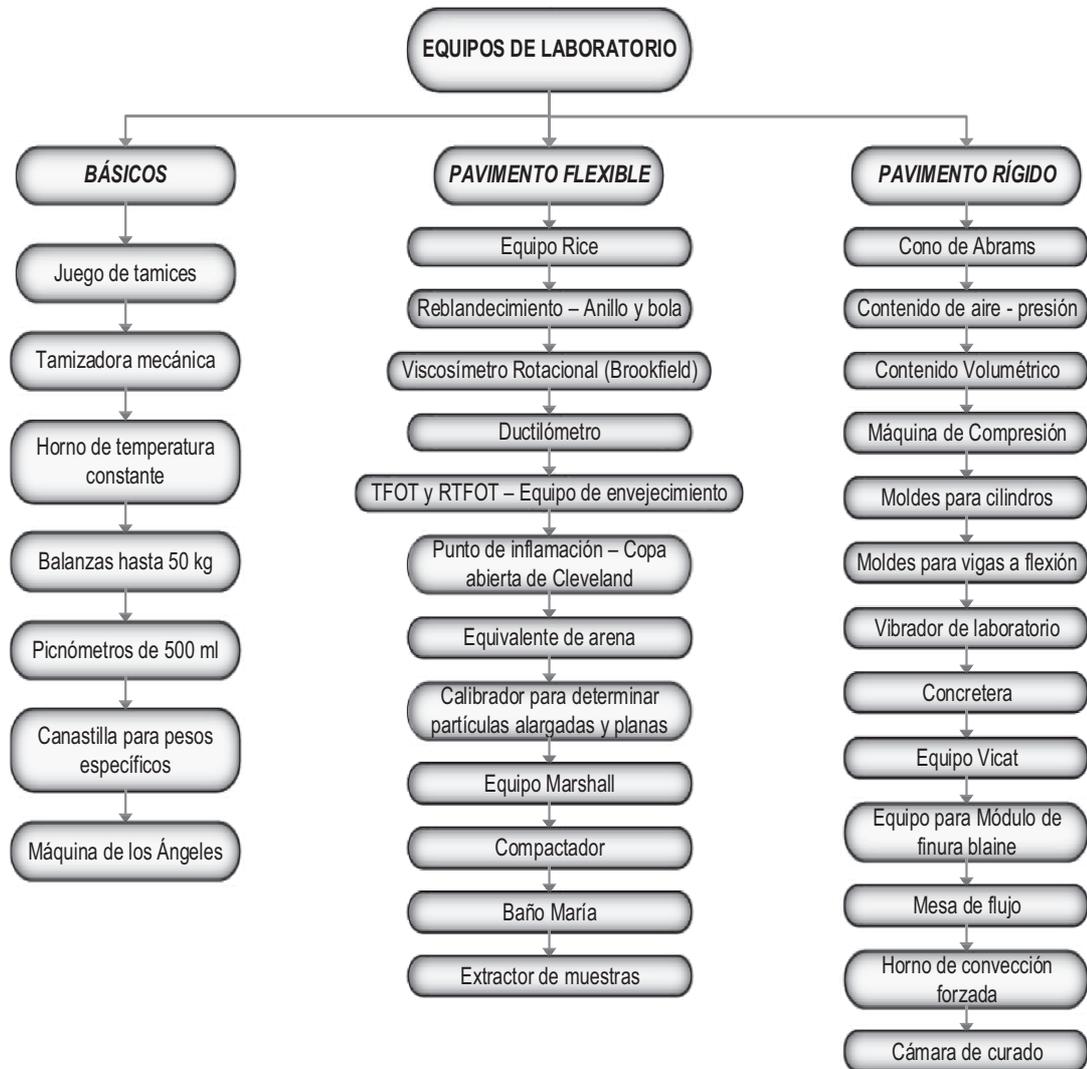


Figura 46. Laboratorio

Elaborado por: Vanessa Perez

6.1.3. Almacenamiento

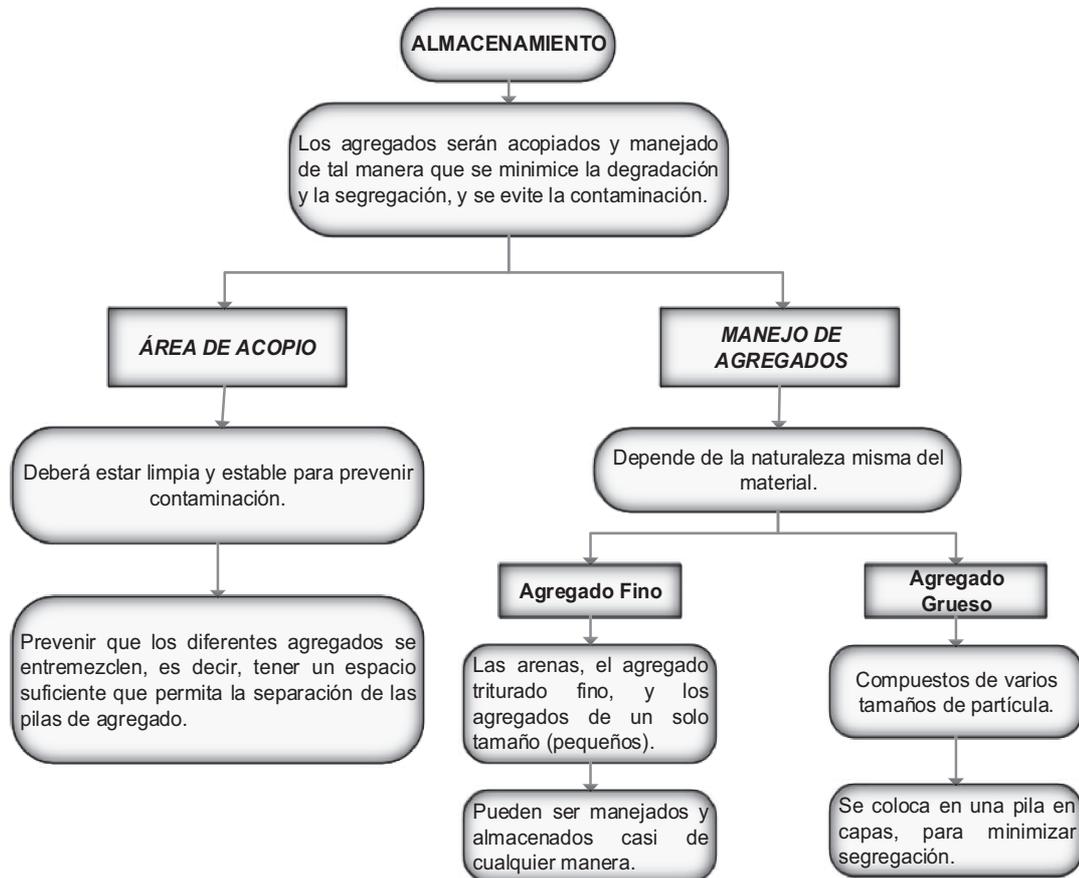


Figura 47. Almacenamiento de Agregados

Fuente: (Asphalt Institute, 2000)

Elaborado por: Vanessa Perez

6.2. PLANTAS DE TRITURACIÓN

6.2.1. Introducción



Figura 48. Introducción a las Plantas de Trituración

Fuente: (Ministerio de Obras Públicas y Comunicación, 2002)

Elaborado por: Vanessa Perez

6.2.2. Dimensionamiento

Dependiendo del tiempo, la demanda mensual, de acuerdo con las especificaciones y normas técnicas requeridas por el proyecto, se calculan la producción efectiva y nominal de la instalación, que definen, como resultado, el tamaño del equipo, así como las etapas de trituración necesaria para la instalación. (Ministerio de Transportes. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, 1996)

6.2.2.1. Producción Horaria Efectiva

$$PHE = \frac{MPM}{J \times M}$$

PHE = Producción Horaria Efectiva

MPM = Máxima Producción Mensual

J = Horas/días

M = Días /mes

Para este cálculo debe tener en cuenta en seco y húmedo, por lo tanto, vamos a tener dos líneas de producción por hora efectiva.

6.2.2.2. Producción Horaria Nominal

$$PHN = \frac{PHE}{C}$$

PHN = Producción Horaria Nominal

PHE = Producción Horaria Efectiva

C = Eficiencia del Sistema

De acuerdo al Manual de pavimentos (1996), debido a que teniendo en cuenta la producción de dos de tiempo sobre la base de períodos (seco y húmedo), la eficiencia del sistema también está bien considerada.

$$C = K_1 \times K_2 \times K_3 \times K_4 \times K_5 \times K_6$$

K₁ = 0,85 → Averías mecánicas

K₂ = 0,97 → Lubricación y limpieza

K₃ = 0,752 → Uso de equipo

$K_4 = x$ - los días de lluvia (periodo seco) cantidad variable dependiendo de la región

$K_4 = Y$ - los días de lluvia (época de lluvias) cantidad variable dependiendo de la región

$K_5 = 0,90$ → Roca de basalto

$K_5 = 1,00$ → Roca de granito

$K_5 = 1,20$ → Roca caliza

$K_6 = 0,95$ → Alimentador con pre - silo

6.2.2.3. Balance de Masas

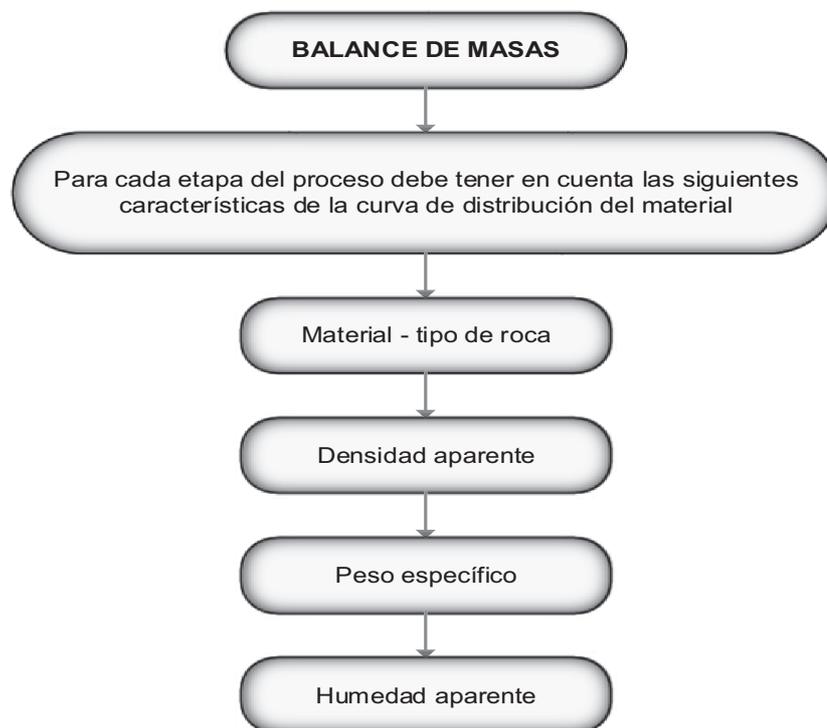


Figura 49. Balance de Masas

Fuente: (Ministerio de Transportes. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, 1996)

Elaborado por: Vanessa Perez

6.2.2.4. Trituración Primaria

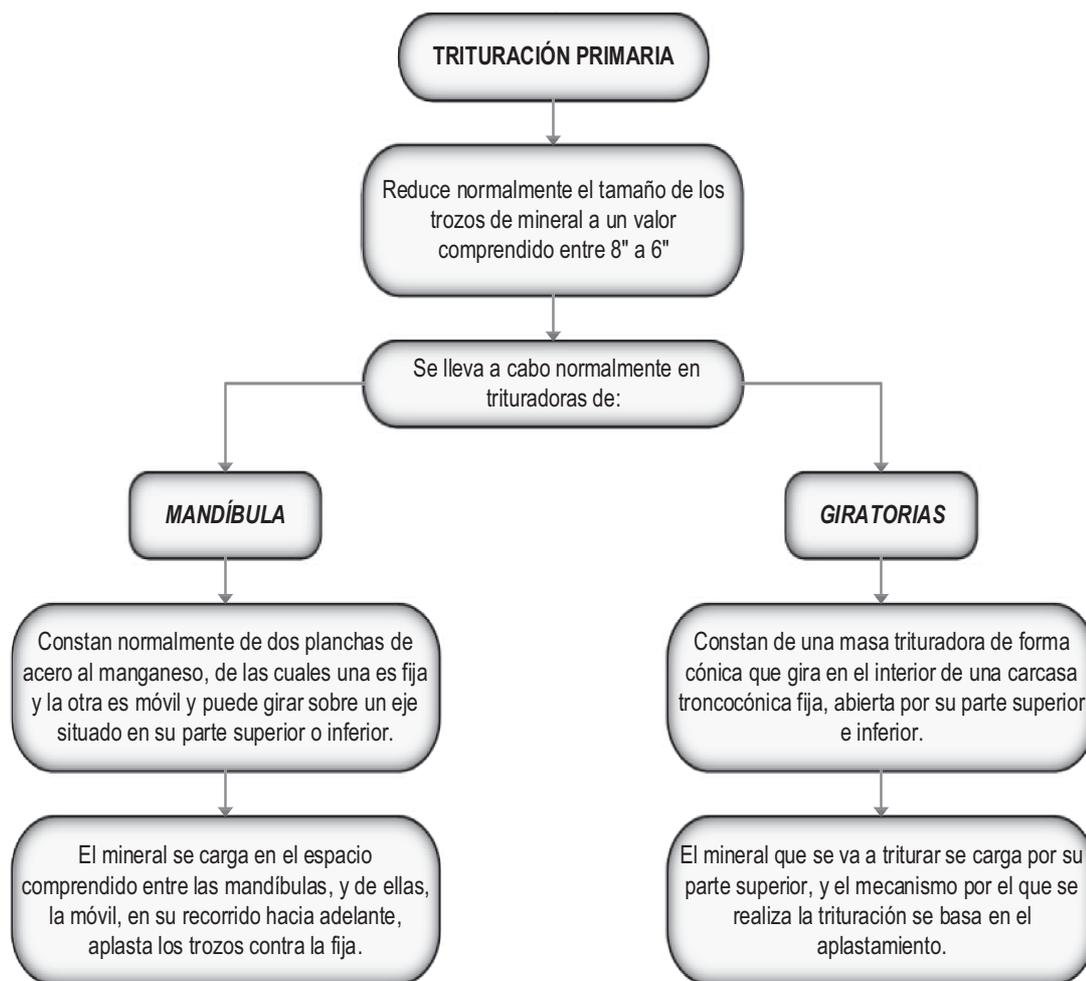


Figura 50. Trituración Primaria

Fuente: (Grupo Los Piratas, 2011)

Elaborado por: Vanessa Perez

6.2.2.5. Trituración Secundaria

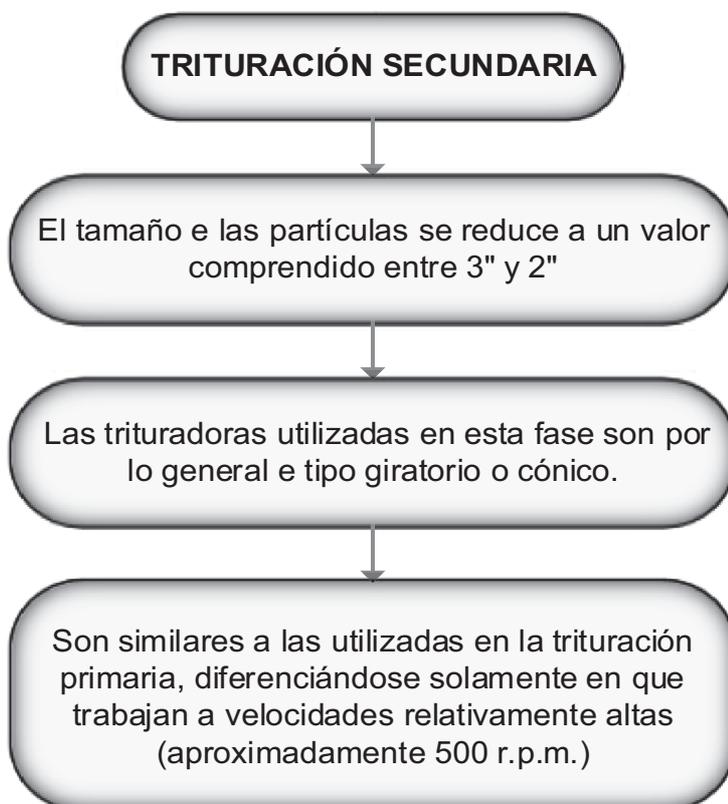


Figura 51. Trituración Secundaria

Fuente: (Grupo Los Piratas, 2011)

Elaborado por: Vanessa Perez

6.3. EXPLORACIÓN DE FUENTES DE MATERIALES

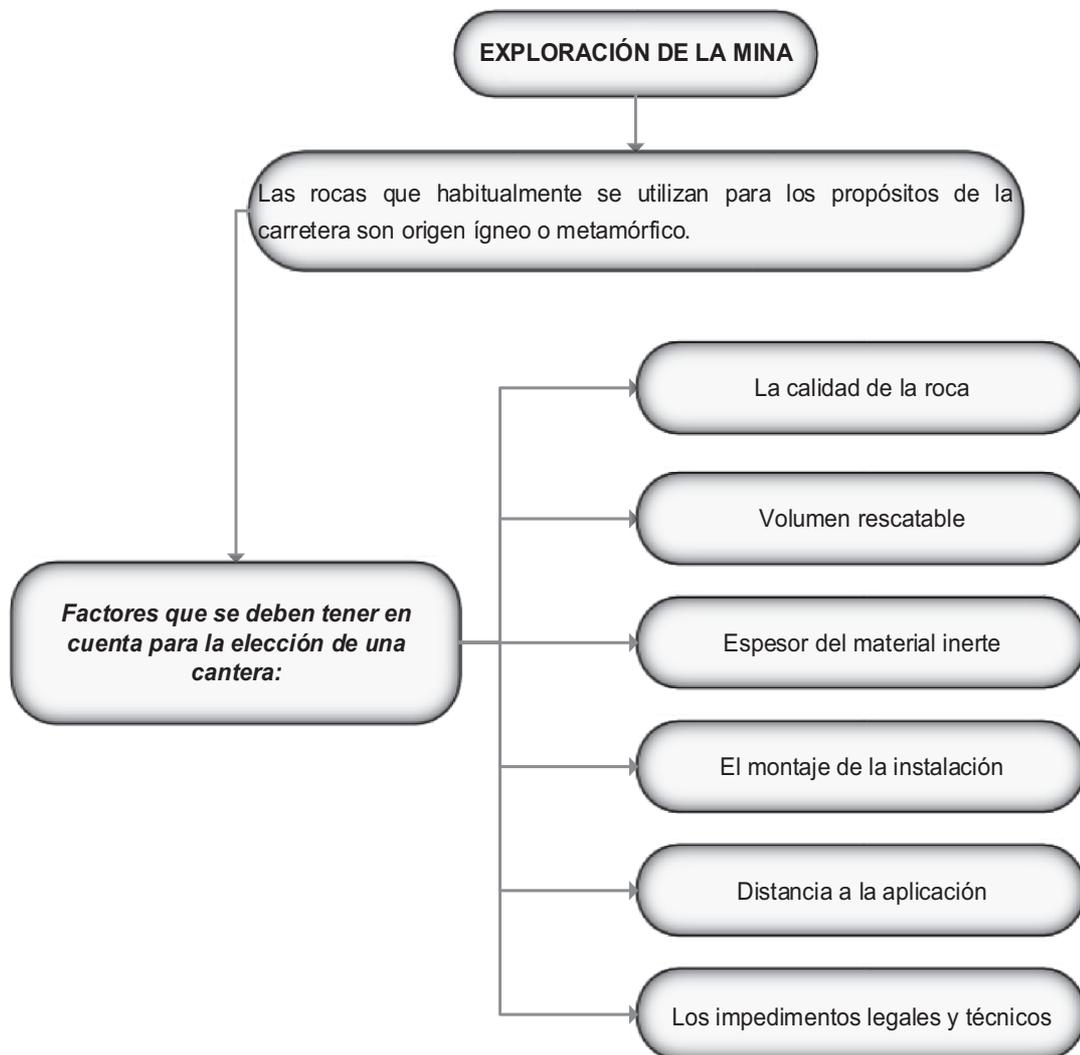


Figura 52. Exploración de la Mina

Fuente: (Ministerio de Transportes. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, 1996)

Elaborado por: Vanessa Perez

6.3.1. Investigación

Las primeras indicaciones se realizan a través de mapas y fotografías aéreas. En el campo, la fase de diseño, se recogen muestras de los pozos y

sondeos rotativos y pequeñas detonaciones, ya que la colección es indispensable para la realización de las pruebas necesarias para la aprobación de la ocurrencia. (Ministerio de Transportes. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, 1996)

6.3.2. Plan Ataque

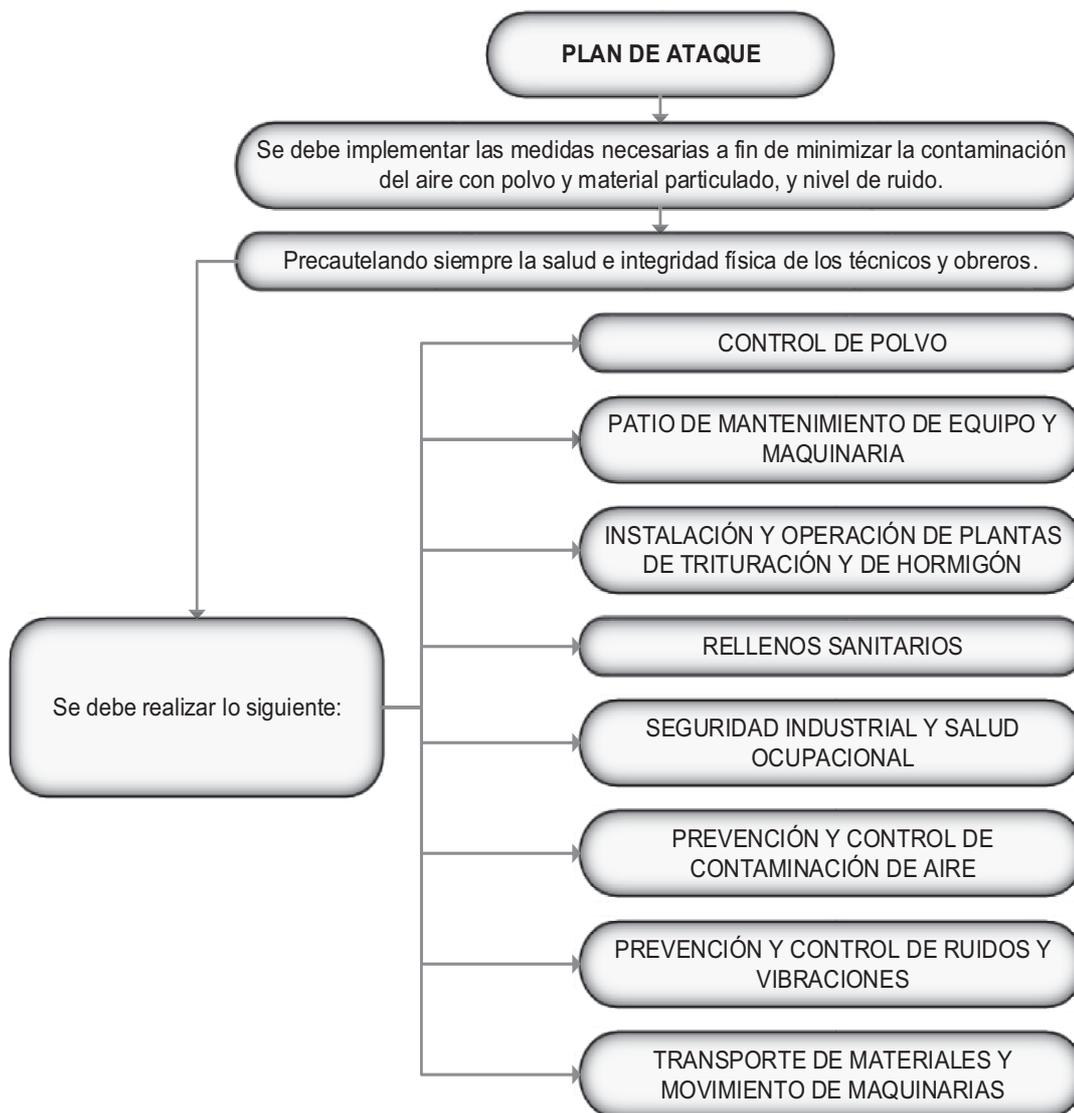


Figura 53. Plan de Ataque

Fuente: (Ministerio de Obras Públicas y Comunicación, 2002)

Elaborado por: Vanessa Perez

6.3.3. Exploración

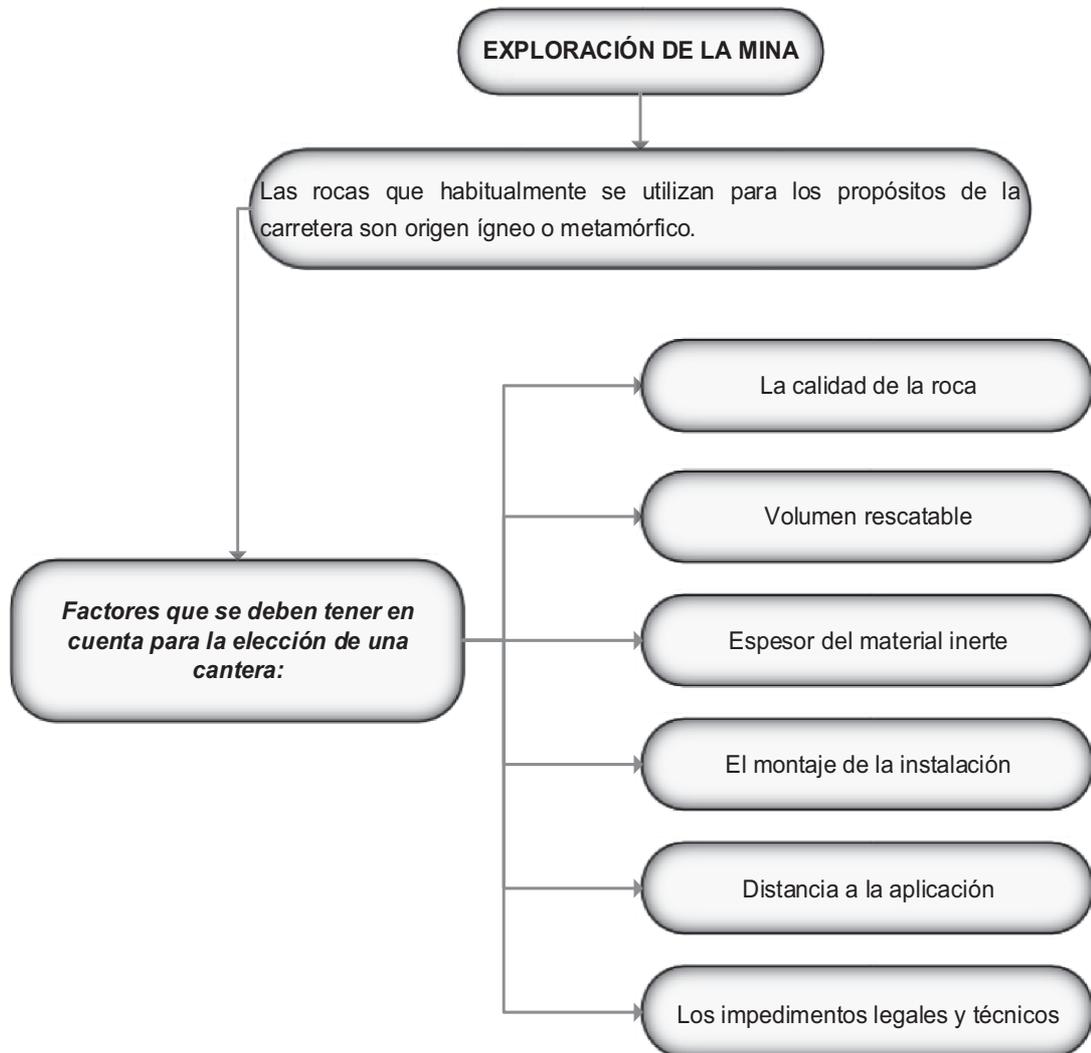


Figura 54. Exploración de la Mina

Fuente: (Ministerio de Transportes. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, 1996)

Elaborado por: Vanessa Perez

6.4. PLANTAS DE ASFALTO

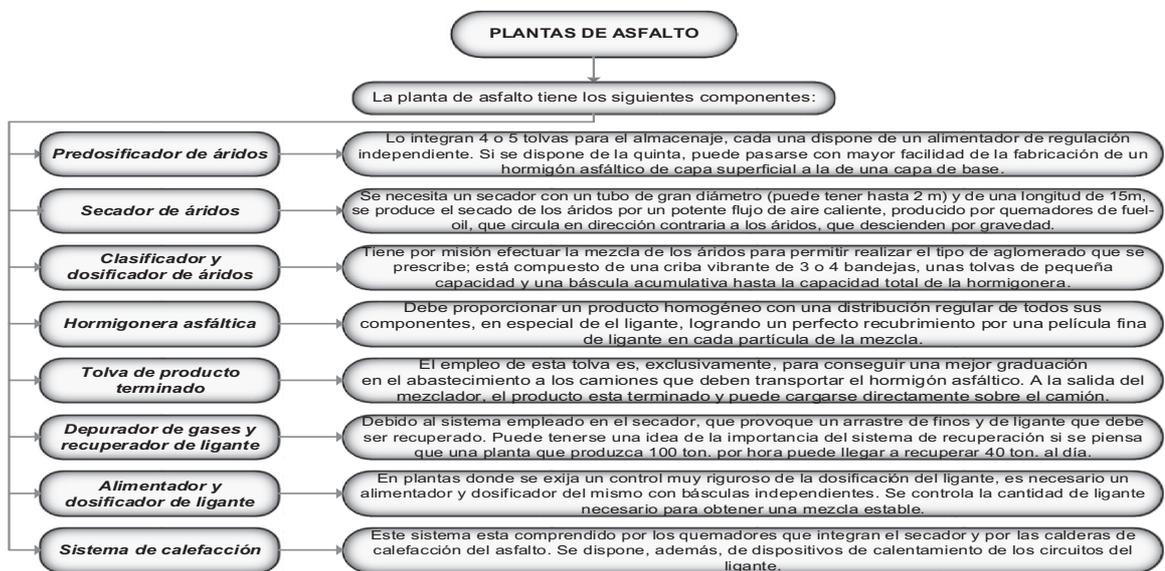


Figura 55. Plantas de Asfalto

Fuente: (Díaz del Río, 2001)

Elaborado por: Vanessa Perez

6.5. EQUIPOS

6.5.1. Generalidades

Los servicios de pavimentación requieren proceso un proceso mecánico con el uso de maquinaria pesada.

Tabla 47.

Clasificación de Maquinaria Pesada

CLASIFICACIÓN DE MAQUINARIA PESADA	MAQUINARIA
Movimiento de tierras	Tractor Bulldozer sobre orugas
	Tractor Bulldozer sobre ruedas
	Tractor forestal
	Motoniveladoras
Excavación	Excavadoras de empuje
	Excavadoras dragalina
	Retroexcavadoras
	Cuchara de almeja
	Excavadoras sobre ruedas
Carga	Cargador sobre orugas
	Cargadora frontal de llantas
	Cargadora mixta de llantas
Acarreo y Transporte	Traillas
	Carrocería
	Volquetas
	Camiones de alto tablón
	Camiones con remolque cisterna para las carpetas
	Camiones todo terreno
Dispersión de Materiales terrosos	Motoniveladoras
	Excavadoras con cuchilla
Humedecer el suelo	Camiones cisterna
Mezclas de tierra y homogeneización de humedad	Pulvi-mezcladoras
	Arados y gradas de discos
Tratamiento de áridos	Alimentadoras
	Trituradoras de mandíbulas
	Trituradoras giratorias
	Trituradoras de impacto y persecución
	Trituradoras de cilindros
	Molinos de bolas

CONTINÚA 

CLASIFICACIÓN DE LA MAQUINARIA PESADA	MAQUINARIA
Compactación	Compactadores vibratorios
	Compactadores de ruedas neumáticas
	Compactadores por impacto
Distribución de materiales bituminosos	Camiones con tanque distribuidor de asfalto

6.5.2. Mantenimiento de Equipos



Figura 56. Mantenimiento de Equipos

Fuente: (Prando, 1996)

Elaborado por: Vanessa Perez

6.5.3. Constitución de Equipos

Tabla 48.
Rubros de la Estructura del Pavimento

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	EQUIPO
401-1	Superficie de grava-arcilla	m ³	<ul style="list-style-type: none"> • Motoniveladora con escarificador • Pulverizadora-mezcladora de paletas rotativas un arado de disco • Rodillos lisos de ruedas de acero o neumáticos • Equipo de transporte
401-2	Superficie de agregados no tratados	m ³	<ul style="list-style-type: none"> • Motoniveladoras • Vehículos de transporte de material • Equipo de cribado • Tanqueros para hidratación • Rodillos lisos de 3 ruedas de acero • Rodillos vibratorios • Rodillos neumáticos
401-3	Suelo estabilizado con material bituminoso	m ³	<ul style="list-style-type: none"> • Planta central de mezclado o mezclas portátiles de paletas rotatorias o de tambor. • Equipo de transporte • Distribuidor de asfalto • Motoniveladoras con escarificador • Pulverizadoras-mezcladoras • Rodillos lisos de ruedas de acero
401-4	Adoquinado	m ²	<ul style="list-style-type: none"> • Rodillos lisos • Rodillos vibratorios
401-5	Empedrado	m ²	<ul style="list-style-type: none"> • Rodillos lisos • Rodillos vibratorios
402-2	Mejoramiento de la subrasante	m ³	<ul style="list-style-type: none"> • Equipo de transporte • Equipo de compactación
402-3	Subrasante estabilizada con Cal	m ³	<ul style="list-style-type: none"> • Motoniveladora con escarificador • Pulverizadora-mezcladora de paletas rotativas un arado de disco • Rodillos para de cabra • Rodillos lizos • Neumáticos • Equipo de transporte para cal • Esparcidores mecánicos • Tanques para hidratación

CONTINÚA



CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	EQUIPO
402-9	Estabilización de Subrasante con Enzimas Orgánicas	m ³	<ul style="list-style-type: none"> • Motoniveladora con puntas escarificadoras. • Camión tanque • Máquina compactadora de rodillo metálico • Equipo medidor de humedad en campo
402-10	Estabilización de subrasante con otros químicos	m ³	<ul style="list-style-type: none"> • Recuperadora de calzada. • Motoniveladora convencional con puntas escarificadoras. • Camión tanque • Máquina compactadora de rodillo metálico • Equipo medidor de humedad en campo
403-1.	Sub-base de Agregados	m ³	<ul style="list-style-type: none"> • Planta de trituración o de cribado • Equipo de transporte • Maquinaria para esparcimiento, mezclado y conformación • Tanqueros para hidratación • Rodillos lisos de tres ruedas • Rodillos vibratorios
403-2	Sub-base Modificada con Arena o Limo.	m ³	<ul style="list-style-type: none"> • Planta de trituración o de cribado • Equipo de transporte • Maquinaria para esparcimiento, mezclado y conformación • Tanqueros para hidratación • Rodillos lisos de tres ruedas • Rodillos vibratorios • Rodillos neumáticos
403-3	Sub-base Modificada con Cal.	m ³	<ul style="list-style-type: none"> • Planta de trituración o de cribado • Equipo de transporte • Motoniveladora • Pulverizadora-mezcladora de paletas rotatorias • Tanqueros o volquetas para cal • Esparcidores mecánicos para cal • Tanqueros para hidratación • Rodillos lisos de tres ruedas • Rodillos vibratorios • Rodillos neumáticos

CONTINÚA



CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	EQUIPO
404-1	Base de agregados	m ³	<ul style="list-style-type: none"> • Planta de trituración y cribado • Planta para mezclado • Equipo de transporte • Maquinaria para distribución, mezclado, esparcimiento y conformación • Tanqueros para hidratación • Rodillos lisos o vibratorios
404-2	Base de agregados estabilizada con cemento Portland	m ³	<ul style="list-style-type: none"> • Planta de trituración y cribado • Planta dosificadora-mezcladora • Mezcladoras móviles o rastras de discos • Motoniveladoras • Equipo de transporte • Distribuidoras de base • Tanqueros para hidratación • Rodillos lisos de tres ruedas, vibratorios y neumáticos
404-3	Base de agregados estabilizada con Cal	m ³	<ul style="list-style-type: none"> • Planta de trituración y cribado • Planta dosificadora-mezcladora • Mezcladoras móviles o rastras de discos • Motoniveladoras • Equipo de transporte • Distribuidoras de base • Tanqueros para hidratación • Rodillos lisos de tres ruedas, vibratorios y neumáticos
404-4	Base de hormigón asfáltico mezclado en sitio	m ³	<ul style="list-style-type: none"> • Plantas mezcladoras • Equipo para manejo de asfalto • Secador • Cribas y tolvas de recepción • Dispositivos para dosificación de asfaltos
404-5	Base de hormigón asfáltico mezclado en Planta	m ²	<ul style="list-style-type: none"> • Plantas mezcladoras • Secador • Cribas y tolvas de recepción • Dispositivos para la dosificación de asfalto • Equipo para manejo de la emulsión • Dispositivos para dosificación de la emulsión

CONTINÚA



CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	EQUIPO
404-6	Base de Suelo - Cemento	m ³	<ul style="list-style-type: none"> • Motoniveladoras con escarificador • Mezcladoras móviles o planta mezcladora central • Distribuidores mecánicos • Tanqueros para agua • Volquetas • Rodillos pata de cabra, lisos o neumáticos
405-4	Hormigón Asfáltico Mezclado en Sitio	m ³	<ul style="list-style-type: none"> • Distribuidor de asfalto autopropulsado • Equipo calentador de asfalto portátil adicional • Barredora mecánica • Esparcidor de agregados • Motoniveladoras • Mezcladora móvil si es del caso • Rodillos lisos y neumáticos • Equipo para el transporte de agregados
405-5	Hormigón Asfáltico Mezclado en planta	m ²	<ul style="list-style-type: none"> • Distribuidor de asfalto autopropulsado • Equipo calentador de asfalto portátil adicional • Barredora mecánica • Esparcidor de agregados • Motoniveladoras • Mezcladora móvil si es del caso • Rodillos lisos y neumáticos • Equipo para el transporte de agregados
405-5E	Hormigón Asfáltico Mezclado en Planta y en frío.	m ²	<ul style="list-style-type: none"> • Equipo para manejo de la emulsión • Cribas y tolvas de recepción • Dispositivos para dosificación de la emulsión • Camiones para el transporte • Máquina terminadora autopropulsada • Rodillos lisos de ruedas de acero y neumáticos autopropulsados
405-6	Capa Bituminosa de Sellado	m ²	<ul style="list-style-type: none"> • Distribuidor de asfalto autopropulsado • Barredora mecánica • Distribuidor de agregados autopropulsado • Rodillos lisos o neumáticos • Equipo de transporte compatible con el distribuidor de agregados

CONTINÚA



CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	EQUIPO
405-7	Capa de Sellado con lechada Asfáltica	m ²	<ul style="list-style-type: none"> • Tanquero de agua con barra de riego • Barredora mecánica • Mezcladora de paletas amasadoras o rotativas • Máquina distribuidora de lechada
405-8	Pavimento de Hormigón de Cemento Portland	m ³	<ul style="list-style-type: none"> • Planta central de dosificación y mezclado • Equipo especial de transporte de hormigón • Mezcladoras portátiles con balanzas para dosificación • Camiones mezcladores (mixer) • Máquinas para la distribución • Equipo para abastecimiento de agua • Máquinas para el proceso de curado • Vehículos para el transporte de cemento y los agregados
405-9	Pavimento de Hormigón Compactado con Rodillo (HCR) y de Hormigón Compactado con Pavimentadora (HCP)	m ³	<ul style="list-style-type: none"> • Plantas centrales de dosificación • Rodillo liso vibratorio pesado • Camión tanquero con barra esparcidora de agua
406-1	Geotextil no tejido termo fundido	m ²	<ul style="list-style-type: none"> • Rodillos tensores • Cepillos de cerda rígida
406-2	Recuperación de pavimentos con Emulsiones Asfálticas en sitio	m ³	<ul style="list-style-type: none"> • Recuperador mecánico • Tanquero para emulsión • Motoniveladora • Rodillos lisos tándem y neumáticos
406-3	Reciclaje de pavimentos con hormigón asfáltico mezclado en planta	m ²	<ul style="list-style-type: none"> • Recicladora y/o fresadora autopropulsada • Equipo de trituración completo • Camiones de transporte de hormigón asfáltico • Máquina terminadora autopropulsada • Rodillos lisos de ruedas de acero, vibratorios y de neumáticos • Planta de mezclado en caliente

CONTINÚA



CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	EQUIPO
406-4	Capa de hormigón asfáltico para Controlar la Reflexión de Fisuras (Capa de alivio)	m ²	<ul style="list-style-type: none"> • Motoniveladora o terminadora • Rodillos lisos de compactación
406-6	Recuperación de Pavimentos con Asfáltico Expandido en sitio	m ³	<ul style="list-style-type: none"> • Recuperador mecánico con cámara o reactor de expansión incluida • Un tanquero para cemento asfáltico caliente • Motoniveladora • Tanquero de agua • Rodillos vibratorios • Distribuidora de agregados
406-8	Fresado de pavimento asfáltico	m ³	<ul style="list-style-type: none"> • Maquina fresadora

Fuente: (Ministerio de Obras Públicas y Comunicación, 2002)

Elaborado por: Vanessa Perez

CAPITULO 7

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La información recopilada referente a los materiales de la subrasante, base y sub-base están referenciadas a las normas ASTM o AASHTO, por lo tanto se recomienda mejorar las especificaciones técnicas de los materiales de acuerdo a las restricciones y condiciones climáticas que tenemos en el Ecuador.

Al tener claro los tipos de pavimentos, clasificación y las diversas capas que conforman su estructura, se pudo observar la gran importancia que tiene conocer las características de los materiales que lo componen, porque de eso depende el comportamiento de nuestro pavimento.

Para el diseño y construcción de pavimentos, no basta sólo con hacer un buen diseño de éste, también influye su diseño geométrico, especialmente el peralte y sobreancho, para asegurar la durabilidad de nuestro pavimento es necesario que la vía cuente con un buen drenaje tanto superficial como subsuperficial.

Al revisar bibliografía nacional acerca de drenaje para carreteras, no se encontró mucho al respecto solo lo que se encuentra en la MOP-2002 que tiene más referencia al cálculo de cunetas.

Se recomienda hacer una segunda versión o un complemento a éste manual donde se considere el control de calidad, observación y aceptación de obras, mantenimiento del pavimento, estimación de costos de obra.

Es necesario que se incorpore al complemento de éste manual, los nuevos estudios realizados con nanotecnología en la carpeta asfáltica y otras técnicas que aún falta por incorporarse en el país.

Se recomienda una investigación complementaria, porque al momento de recopilar información para éste proyecto no se encontró datos acordes a la realidad geológica del país.

CAPITULO 8

BIBLIOGRAFIA

AASHTO. (2000). CURSO DE DISEÑO DE PAVIMENTOS MÉTODO AASHTO –1997.

AASHTO T78. (1996). standard method of test for distillation of cutback asphaltic bituminous products twentieth edition. American Association of State Highway and Transportation Officials.

Administradora Boliviana de Carreteras. (2009). Manual de Ensayos de Suelos y Materiales: Suelos. Bolivia: APIA XXI.

Agnusdei, J. (2007). ASFALTOS MODIFICADOS Y SUS APLICACIONES. En E. C. Ingeniería., Ingeniería de pavimentos (págs. 163-83). Santa Fé de Bogotá, Colombia: CORASFALTOS : ECOPETROL.

ALCAL.org. (1976). Pliego de prescripciones técnicas generales para obras de carreteras y puentes.

Alda, F. (Mayo de 2014). Sedimentación y Ambientes sedimentarios. Recuperado el 27 de Noviembre de 2015, de <http://entenderlaciencia.blogspot.com/2014/01/sedimentacion%ADy%ADambientes%ADsedimentarios.html>?

- Alonso, M., Puertas, F., & Palacios, M. (2009). Aditivos para el hormigón: compatibilidad cemento-aditivos basados en policarboxilatos. Madrid: CSIC.
- American Association of State Highway and Transportation Officials. (1993). AASHTO Guide for Design of Pavement Structures. Washington, D.C.: Copyright.
- Asphalt Institute. (2001). Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en caliente MS-22. Estados Unidos.
- ASTM D 113. (1999). Standard Test Method for Ductility of Bituminous Materials. American Association State Highway and Transportation Officials Standard.
- ASTM D- 2170. (1995). Standard Test Method for Kinematic Viscosity of Asphalts (Bitumens). American Association State Highway and Transportation Officials Standard.
- ASTM D 402. (1997). Standard Test Method for Distillation of Cut-Back Asphaltic (Bituminous) Products. American Association State Highway and Transportation Officials Standard.
- Ayllon Acosta, J. (2004). Guía para el diseño de pavimentos de concreto asfáltico. Cochabamba Bolivia.
- B Mallick, R., & El-Korchi, T. (2013). Pavement Engineering Principles and Practice (Second ed.). Boca Raton: CRC Press Taylor & Francis Group.
- Badillo, J. (2005). Mecánica de Suelos Tomo 1. México: Limusa.
- Berry, P. (2000). Mecánica de Suelos. Reino Unido: McGraw-Hill.

- Blásquez, L. B., & Beviá García, J. F. (2000). Manual de carreteras. Volumen II: construcción y mantenimiento (Vol. 2). (C. d. Ortiz e Hijos, Ed.) Alicante, España.
- Bosch, M., & Escobar, S. (2002). Pavimentos. Nuevos Revestimientos. Barcelona: UPC.
- Braja, M. D. (1999). Fundamentos de Ingeniería geotécnica. México: Thomson.
- Columbia University Press. (2012). The Columbia Electronic Encyclopedia.
- Covo, A. I. (2003). Introducción a la Mecánica de Suelos. Cartagena.
- Crespo, C. (1996). Vías de comunicación: caminos, ferrocarriles, aeropuertos, puentes y puertos. Mexico: Limusa.
- Crespo, C. (2004). Vías de comunicación. Caminos, ferrocarriles, aeropuertos, puentes y puertos. México: Limusa. Grupo Noriega Editores.
- Das, B. M. (1998). Principles of Geotechnical Engineering. Boston: International Thomson Publishing Inc.
- Departamento de Geotecnia de la MOP. (2001). Diseño de Pavimentos flexibles. Quito: Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones.
- Díaz del Río, M. (2001). Manual de Maquinaria de Construcción. España: Mc Graw Hill.
- Duque, G. (2002). Mecánica de Suelos. Manizales.

- Edgeworth, R., Dalton, B. J., & Parnell, T. (s.f.). The Pitch Drop Experiment. The University of Queensland.
- Escuela de Ingeniería en Construcción. (11 de Enero de 2016). Universidad Católica de Valparaíso. Obtenido de http://icc.ucv.cl/geotecnia/03_docencia/03_clases_catedra/clases_catedra_ms1/05_terzaghi_3.pdf
- Félix, J. (1998). Construcción de Carreteras. México: Universidad de Sonora.
- Fernandez, M. (1998). Materiales bituminosos. Madrid: Dossat.
- Fierro Carrasco, P., Malqui Alayo, F., Paucar Escalente, U., Rivera Tello, P., Valenzuela Gutierrez, R., & Zubieta Lizarme, P. (2012). Viscosímetro de Engler. Bellavista.
- Fonseca, A. (2002). Ingeniería de Pavimentos. Colombia: Universidad Católica de Colombia.
- García, Y. (2015). Materiales de Construcción. Guatemala: Universidad Mariano Galvez.
- Garnica, P., Pérez, N., & Gómez, J. A. (2001). Modulos de Resiliencia en suelos finos y materiales granulares. México.
- Gonzales Sandoval, F. (2004). Manual de supervision de obras de concreto. Mexico: Limusa, S.A.
- González Escobar, W., Jiménez Angulo, M. E., & López Cornejo, R. J. (2007). Guía básica para el uso de emulsiones asfálticas en la estabilización de bases en caminos de baja intensidad en El Salvador. Universidad de El Salvador, San Salvador.

Gonzalo, S. (2014). Pavimentos flexibles.

Grupo Los Piratas. (2011). ProIndustriales. Obtenido de <http://proindustriales.blogspot.com/2013/05/trituracion.html>

Guerrero, R. L. (2 de Febrero de 2014). slideshare. Obtenido de <http://es.slideshare.net/lanosguerrero/matbituminosos>

Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2010). NTE INEN 694: Hormigón y Áridos para elaborar hormigón. Terminología. Quito.

Instituto Mexicano de Transporte. (2001). Módulos de resiliencia en Suelos Finos y Materiales Granulares. Mexico.

Instituto Nacional de vías. (2009). Manual de Drenaje para Carreteras. Colombia.

Instituto Tecnológico deAeronáutica. (2000). Ingeniería de Pavimentos. Brasil.

La Rueda Eléctrica. (8 de Noviembre de 2014). La Rueda Eléctrica. Obtenido de <http://laruedaelectrica.com/tecnologia-quimica-que-reduce-la-contaminacion/>

Lambe, W. (2012). Mecánica de Suelos. Limusa.

Lazo, R. (2013). Materiales Bituminosos. Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/175687971/MATERIALES-BITUMINOSOS-V1-0>

Leal Noriega, M. H. (2010). Relación entre el Módulo Resiliente hallado por retrocalculo y el encontrado en ensayos de laboratorio. Bogotá.

- Londoño, C. (2002). Mecánica de Suelos para Ingenieros de Vías. Notas Técnicas ICPC.
- Medina Sanchez, E. (2008). Construcción de estructuras de hormigón armado. Madrid: DELTA.
- Medrano, K. (10 de Enero de 2010). Arquitectura y Construcción. Obtenido de <http://katiuskamedranodiaz.blogspot.com/2010/01/revestimiento.html>
- Mendoza, M. d., & Guadarrama, J. I. (2008). Bases y Sub-bases.
- Mercado, R., Bracho, C., & Avendaño, J. (2008). Emulsiones Asfálticas. Usos-Rompimiento. Recuperado el 3 de Noviembre de 2015, de <http://www.firp.ula.ve/archivos/cuadernos/S365A.pdf>
- Minaya, S., & Ordoñez, A. (2006). Diseño Moderno de Pavimentos Asfálticos. Lima: Instituto de la Construcción y Gerencia.
- Ministerio de Economía y Finanzas Públicas Bolivia. (s.f.). Tratamientos bituminosos. Obtenido de https://www.sicoes.gob.bo/documentos/12-0291-00-323020-1-1_EM_20120810175805.pdf
- Ministerio de Obras Públicas. (2002). Especificaciones Generales para la construcción de caminos y puentes (MOP-001-F2002). Quito.
- Ministerio de Obras Públicas. (2003). Manual de diseño geométrico de carreteras. Quito.
- Ministerio de Obras Públicas y Comunicación. (2002). Especificaciones Generales para la construcción de caminos y puentes. Quito.

- Ministerio de Obras Publicas y Comunicaciones. (2011). Manual de carreteras del Paraguay. Normas para materiales y ensayos de materiales. Asunción.
- Ministerio de Transportes. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. (1996). Manual de Pavimentación. Río de Janeiro: División de Capacitación Tecnológica.
- Miro Recasens, J. R. (1994). METODOLOGIA PARA LA CARACTERIZACION DE LIGANTES ASFALTICOS MEDIANTE EL EMPLEO DEL ENSAYO CANTABRO. Barcelona: Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.
- Monsalve, L., Giraldo, L., & Maya, J. (2012). Diseño de Pavimento flexible y rígido. Armenia.
- Morales Sosa, H. A. (2006). Ingeniería Vial I. Santo Domingo, Republica Dominicana: CEP/INTEC.
- Morales, A. (2015). Generalidades de los pavimentos.
- Muelas, A. (Febrero de 2015). Manual de Mecánica de Suelo y Cimentaciones. Obtenido de http://www.uned.es/dpto-icf/mecanica_del_suelo_y_cimentaciones/images/mecansueloycimentacionescap_1.pdf
- Norma DNIT, Instituto de Pesquisas Rodoviárias - IPR . (2009). Pavimentos flexíveis – Macadame hidráulico –Especificação de serviço . Río de Janeiro.
- NTE INEN 2-061. (1996). Productos derivados del petroleo. Asfalto. Ecuador: NORMA TÉCNICA ECUATORIANA.

NTE INEN 2062. (1996). Productos derivados del petróleo. Emulsiones asfálticas catiónicas. Requisitos. Recuperado el 2 de Noviembre de 2015, de <https://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.nte.2062.1996.pdf>

NTE INEN 2515. (2010). PRODUCTOS DERIVADOS DEL PETRÓLEO. CEMENTO ASFÁLTICO (CLASIFICACIÓN POR VISCOSIDAD). REQUISITOS. (Primera ed.). NORMA TÉCNICA ECUATORIANA.

NTE INEN 916. (2013). Materiales bituminosos Determinación de la ductilidad. Ecuador: Norma Técnica Ecuatoriana.

NTE INEN 925. (1984). Materiales bituminosos. Determinación de la solubilidad en solventes orgánicos.

NTE INEN-808. (1987). Productos de petróleo. Determinación de los puntos de inflamación y combustión en vaso abierto Cleveland. Recuperado el 2 de Noviembre de 2015, de <https://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.nte.0808.1987.pdf>

NTE INEN-901. (1983). Emulsiones Asfálticas. Determinación del residuo por destilación. Recuperado el 2 de Noviembre de 2015, de <https://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.nte.0901.1983.pdf>

Núñez Villalón, Á. S. (2008). ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO CON EMULSIONES Y CENIZAS FBC PARA LA FABRICACIÓN DE ADOQUINES. Recuperado el 3 de Noviembre de 2015, de <https://repositorio.uc.cl/bitstream/handle/11534/1379/538598.pdf?sequence=1>

Organización Internacional del Trabajo. (2004). Manual Andino para la construcción y mantenimiento de empedrados. Quito - Ecuador.

- Padilla, A. (2009). Universidad Politécnica de Catalunya. Obtenido de <http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3334/34065-13.pdf?sequence=13>
- Polanco, A. (2012). Prácticas de Laboratorio de Mecánica de Suelos I. Chihuahua.
- Prando, R. (1996). Manual de Gestión de Mantenimiento a la medida. Uruguay.
- Públicas, M. d. (2003). Normas de Diseño Geométrico de Carreteras. Quito.
- Puero, B., Lucas, V., Galarza, J., & Zambrano, D. (2013). Viscosidad.
- Reyes, F. (2005). Diseño Racional de Pavimentos. Bogotá: Centro Editorial Javeriano.
- Rico Rodríguez, A. (2005). Ingeniería de suelos en las vías terrestres 2 (Vol. 2). México: Limusa.
- Rico Rodríguez, A., & Castillo Mejía, H. (2014). CONSIDERACIONES SOBRE COMPACTACIÓN DE SUELOS EN OBRAS DE INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE. México.
- Rico Rodríguez, A., & del Castillo, H. (1998). La ingeniería de suelos en las vías terrestres: carreteras, ferrocarriles y aeropistas. D.F, Mexico: Limusa.
- Rodriguez Talavera, R., Castaño Meneses, V. M., & Martínez Madrid, M. (2001). Emulsiones Asfálticas. Sanfandila, Queretaro, Mexico: Instituto Mexicano de Transporte.

- Rojas, F., Bonifaz, H., & Jairo, T. (2012). Control de calidad de cementos asfálticos tipo AP-3 utilizados en la fabricación de hormigón asfáltico para capas de rodadura de las carreteras del Ecuador, mediante ensayos de laboratorio. Quito, Pichincha, Ecuador: ESPE repositorio digital.
- Salazar Delgado, J. (2011). Guía para la realización de ensayos y clasificación de asfaltos, emulsiones asfálticas y asfaltos rebajados según el Reglamento Técnico Centroamericano (Vol. I). Costa Rica: Universidad de Costa Rica.
- Sánchez De Guzmán, D. (2001). TECNOLOGIA DEL CONCRETO Y DEL MORTERO. Colombia: BHANDAR.
- Sanchez Sabogal, F. (2008). Ligantes Bituminosos (Vol. Módulo 8).
- Sanchez Sabogal, F. (2014). Consideraciones sobre el drenaje de los pavimentos.
- Sánchez, F. (2001). Materiales para base y sub-base.
- Sánchez, F. (2009). Revestimientos Bituminosos. Bogotá- Colombia.
- Sociedad Cubana de Ingenieros. (1999). Revista de la Sociedad Cubana de Ingenieros, Volumen 33.
- Sosa Cárdenas, J. C. (2012). Análisis cromatográfico del asfalto producido en la refinería estatal de Esmeraldas. Universidad Central del Ecuador, Quito.
- Suárez, J. (2012). Deslizamientos: Análisis geotécnico. Colombia.
- Tomala Magallanes, J. C., & Laica Pino, J. E. (2011). Mantenimiento de la Capa de Rodadura de Concreto Asfáltico en un Pavimento Flexible.

Recuperado el 2 de Noviembre de 2015, de www.cib.espol.edu.ec/digipath/d_tesis_pdf/d-91872.pdf

Torres, M. (2010). Pavimentos de Carreteras. Quito.

Universidad Católica del Norte. (s.f.). Identificación de los Suelos. Recuperado el 3 de 12 de 2015, de <http://www3.ucn.cl/FacultadesInstitutos/laboratorio/IdentiM2.htm>; <http://www3.ucn.cl/FacultadesInstitutos/laboratorio/mecanica7.htm>

Universidad Mayor de San Simón. (2015). Manual Completo de Diseño de Pavimentos. Bolivia.

Valenzuela, M. (2003). El asfalto, en la conservación de pavimentos. Valdivia, Chile: UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE, Facultad de Ciencias de la Ingeniería.

Villalobos, R. (2012). Diseño de Pavimentos.

Villarino Otero, A. (2012). Ciencia y Tecnología de los Materiales. Ávila.

Villarino Otero, A. (S.f.). Materiales bituminosos. Escuela Politécnica Superior de Ávila. España: Escuela Politécnica Superior de Ávila.