



**UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

**Trabajo de Titulación previa a la obtención del título de Ingeniero  
Civil**

**Manual Práctico de Optimización Para la Revisión de Estudio de Diseño de  
Pavimentos**

**Autor: Wilson Geovanny Villacís Machuca**

**Director: Ing. Byron Morales MSc.**

**Quito, Diciembre de 2014**

## APROBACIÓN DEL DIRECTOR

Yo, Ingeniero Byron Morales, tutor designado por la Universidad Internacional del Ecuador UIDE para revisar el Proyecto de Investigación Científica con el tema: “MANUAL PRÁCTICO DE OPTIMIZACIÓN PARA LA REVISIÓN DE ESTUDIO DE DISEÑO DE PAVIMENTOS” del estudiante Wilson Geovanny Villacís Machuca, alumno de Ingeniería Civil, considero que dicho informe investigativo reúne los requisitos de fondo y los méritos suficientes para ser sometido a la evaluación del Comité Examinador designado por la Universidad.

Quito, Diciembre de 2014

EL DIRECTOR,

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Byron Morales', is written over a horizontal line. The signature is enclosed within a faint, light-colored rectangular border.

Msc. Ing. Byron Morales  
C.I.: 1712565900

## AUTORÍA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Yo, Wilson Geovanny Villacís Machuca, declaro que el trabajo de investigación denominado: MANUAL PRÁCTICO DE OPTIMIZACIÓN PARA LA REVISIÓN DE ESTUDIO DE DISEÑO DE PAVIMENTOS es original, de mi autoría y exclusiva responsabilidad legal y académica, habiéndose citado las fuentes correspondientes y en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes.

Cedo mis derechos de propiedad intelectual a la Universidad Internacional del Ecuador, sin restricción a ningún género o especial.

Quito, Diciembre de 2014

Estudiante,

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Geovanny Villacís M.', is written over a circular stamp or seal. The signature is fluid and cursive.

Geovanny Villacís M.  
C.I.180399962-0

## **AGRADECIMIENTO**

*A Dios por estar siempre conmigo y darme fuerzas en mis tiempos de lucha y así alcanzar una meta más en mi vida.*

*A mis padres por haberme dado su apoyo moral y económico, por siempre estar pendientes de mis estudios.*

*A mis maestros de la Universidad Internacional del Ecuador, a la Facultad de Ingeniería Civil por haberme compartido sus conocimientos y así llegar a ser un profesional.*

## **DEDICATORIA**

*El presente trabajo está dedicado a mis padres y hermanos por haberme dado ese apoyo moral, en especial a mi hermano Carlos por darme esa fuerza y ejemplo de lucha, para demostrarle que todo es posible en la vida pese a los problemas uno siempre tiene que seguir adelante.*

## CONTENIDO

PORTADA .....	i
APROBACIÓN DEL DIRECTOR .....	ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN.....	iii
AGRADECIMIENTO .....	iv
DEDICATORIA .....	v
CONTENIDO .....	vi
LISTA DE TABLAS .....	xi
LISTA DE FIGURAS.....	xiii
LISTA DE ECUACIONES .....	xiv
RESUMEN.....	xvi
INTRODUCCIÓN.....	xviii
CAPITULO I .....	1
1. EL PROBLEMA .....	1
1.1. EL OBJETO DE LA INVESTIGACIÓN .....	1
1.2. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA .....	1
1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	2
1.4 HIPÓTESIS .....	2
1.4.1. Hipótesis general .....	2
1.5 OBJETIVOS .....	3
1.5.1. Objetivo general.....	3
1.5.2. Objetivos específicos.....	3
1.6. JUSTIFICACIÓN .....	3
1.7. IMPACTO DE LA INVESTIGACIÓN.....	4
1.7.1. Impacto Social .....	4
1.7.2. Impacto Práctico .....	4
1.7.3. Impacto Ecológico y Ambiental.....	4

CAPÍTULO II .....	5
2. MARCO REFERENCIAL .....	5
2.1 MARCO TEÓRICO.....	5
2.1.1. Breve evolución Histórica .....	5
2.1.2. Breve reseña en el Ecuador .....	11
2.2. MARCO CONCEPTUAL .....	14
2.3. FUNDAMENTACIÓN LEGAL.....	15
2.4. GENERALIDADES DE PAVIMENTOS .....	17
2.4.1. Definición de pavimento .....	17
2.4.2. Tipos de pavimentos.....	17
2.5. DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES .....	21
2.5.1. Factores que intervienen en el diseño .....	21
2.5.1.1. Capacidad de la sub-rasante .....	21
2.5.1.2. Materiales de la estructura del pavimento.....	29
2.5.1.3. Estudio del tráfico.....	31
2.5.1.4. Drenajes.....	37
2.5.1.5. Período de diseño .....	38
2.5.1.6. Capa de rodadura .....	38
2.5.2 Ecuaciones utilizadas .....	40
2.5.2.1. Ecuación de comportamiento.....	41
2.5.2.2. Número estructural.....	41
2.6. DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS .....	44
2.6.1. Factores que intervienen en el diseño .....	44
2.6.1.1. Capacidad de la sub-rasante .....	44
2.6.1.2. Tráfico promedio diario anual (TPDA).....	44
2.6.1.3. Material de la sub-rasante.....	44
2.6.1.4. Drenajes y periodo de diseño.....	45

2.6.1.5 Material de la capa de rodadura.....	45
2.6.1.6 Transferencia de carga .....	45
2.6.1.7 Serviciabilidad .....	46
2.6.2. Ecuaciones utilizadas .....	46
2.6.2.1. Ecuación de comportamiento.....	46
2.7. DISEÑO DE PAVIMENTOS ARTICULADOS.....	47
2.7.1 Factores que intervienen en el diseño .....	47
2.7.2 Ecuaciones utilizadas .....	49
2.8. EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS EXISTENTES.....	50
2.8.1. Aspectos generales .....	50
2.8.2. Daños en los pavimentos .....	52
2.8.3. Tipos de evaluación de pavimentos.....	56
CAPITULO III .....	70
3. FLUJOGRAMAS .....	70
3.1. FLUJOGRAMAS DE DISEÑO.....	70
3.1.3. Pavimentos flexibles .....	70
3.2.3. Pavimentos rígidos .....	74
3.3.3. Pavimentos articulados.....	75
3.2. FLUJOGRAMAS PARA REVISIONES.....	76
3.2.1. Ensayo CBR .....	76
3.2.2. Tráfico y ejes equivalentes .....	78
3.2.3. Drenajes .....	79
3.2.4. Serviciabilidad.....	79
3.2.5. Pavimentos flexibles .....	80
3.2.6. Pavimentos rígidos .....	81
3.2.7. Pavimentos articulados.....	82
3.3. FLUJOGRAMAS PARA EVALUACIÓN Y DESEMPEÑO .....	83

3.3.1. Evaluación y desempeño.....	83
3.3.2. Criterios y factores de diseño .....	84
CAPITULO IV.....	85
4. PROCEDIMIENTOS PARA REVISIONES. FORMULARIOS .....	85
4.1. PROCEDIMIENTO PARA LA REVISIÓN DE LOS ESTUDIOS DEL DISEÑO DE PAVIMENTOS.....	85
4.2. PROCEDIMIENTO PARA LA REVISIÓN DE MÉTODOS DE DISEÑO .	91
4.2.1 Pavimentos flexibles .....	91
4.2.2 Pavimentos rígidos .....	91
4.2.3 Pavimentos articulados.....	92
4.3. PROCEDIMIENTO PARA LA REVISIÓN DEL INFORME DE DISEÑO .	92
4.4. INSTRUMENTOS PARA REALIZAR LAS REVISIONES.....	93
4.5. FORMULARIOS GUÍAS PARA LAS REVISIONES.....	93
4.5.1 Diseños.....	93
4.5.2 Coeficientes de calificación .....	98
4.5.3. Informes de diseño .....	99
4.5.4. Coeficientes de calificación, informes.....	103
4.5.5. Evaluación de pavimentos existente. vizir .....	104
4.6. REVISIÓN DE PLANOS.....	105
4.6.1 Parámetros de revisión de planos .....	105
4.6.2 Formularios de revisión de planos .....	106
CAPITULO V .....	108
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	108
5.1. CONCLUSIONES.....	108
5.2. RECOMENDACIONES .....	110
BIBLIOGRAFIA: .....	111
LIBROS, TESIS Y CÓDIGOS: .....	111

REFERENCIAS ELECTRÓNICAS:..... 112

## LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1. Métodos de Compactación.....	25
Tabla 2.2. Clasificación de las sub-rasantes .....	26
Tabla 2.3. Propiedades comunes, suelos arcillosos.....	27
Tabla 2.4. Propiedades comunes, suelos granulares.....	27
Tabla 2.5. Coeficientes de permeabilidad .....	28
Tabla 2.6. Propiedades Elásticas Típicas .....	28
Tabla 2.7. Porcentaje en Peso Base .....	30
Tabla 2.8. Recomendaciones para uso de material de Base .....	30
Tabla 2.9. Porcentaje en Peso .....	31
Tabla 2.10. Tipos de Vehículos .....	32
Tabla 2.11. Repartición del tránsito .....	33
Tabla 2.12. Relación de ejes equivalentes (NEVI-12) .....	35
Tabla 2.13. Categorías de tráfico .....	36
Tabla 2.14. Coeficientes de drenajes de la superficie drenada, AASHTO .....	38
Tabla 2.15. Espesor mínimo de capas de mezcla bituminosa en caliente .....	40
Tabla 2.15a. Confiabilidad y Desviación Estándar .....	43
Tabla 2.15b. Coeficientes de Capas Típicas .....	43
Tabla 2.15c. Coeficientes de Capas Típicas .....	43
Tabla 2.16. Tamaño Nominal Máximo del Agregado Grueso.....	45
Tabla 2.17. Escala de Calificación de Serviciabilidad .....	51
Tabla 2.18. Causas y Soluciones a los Daños Frecuentes .....	55
Tabla 2.19. Niveles de Gravedad, Deterioros Tipo A .....	57
Tabla 2.20. Niveles de Gravedad, Deterioros Tipo B .....	58
Tabla 2.21. Intervalos de Calificación, VIZIR .....	60
Tabla 2.22. Índice de Fisuración, VIZIR .....	60
Tabla 2.23. Índice de Deformación, VIZIR .....	60

Tabla 2.24. Índice de Deterioro (sin corregir), VIZIR .....	61
Tabla 2.25. Corrección por Reparación, Índice de Deterioro, VIZIR .....	61
Tabla 3.1. Hoja de cálculo Método AASHTO 93 (1de3) .....	70
Tabla 3.2. Hoja de cálculo Método AASHTO 93 (2de3) .....	71
Tabla 3.3. Hoja de cálculo Método AASHTO 93 (3de3) .....	71
Tabla 4.1. FORMULARIO.- Revisión de Estudios de Diseño (1 de 2).....	88
Tabla 4.2. FORMULARIO.- Revisión de Estudios de Diseño (2 de 2).....	89
Tabla 4.3. CALIFICACIÓN, Revisión de Estudios .....	90
Tabla 4.4. Contenido de Informe de Diseño .....	92
Tabla 4.5. FORMULARIO.- Revisión de Diseño de Pavimentos Flexibles (1-2) ..	94
Tabla 4.6. FORMULARIO.- Revisión de Diseño de Pavimentos Flexibles (2-2) ..	95
Tabla 4.7. FORMULARIO.- Revisión de Diseño de Pavimentos Rígidos.....	96
Tabla 4.8. FORMULARIO.- Revisión de Diseño de Pavimentos Articulado.....	97
Tabla 4.9. Calificación, Revisión de Diseños.....	99
Tabla 4.10. FORMULARIO.- Revisión de Informe de Diseño (1 de 3) .....	100
Tabla 4.11. FORMULARIO.- Revisión de Informe de Diseño (2 de 3) .....	101
Tabla 4.12. FORMULARIO.- Revisión de Informe de Diseño (3 de 3) .....	102
Tabla 4.13. Calificación, Informe .....	103
Tabla 4.14. FORMULARIO, Deterioros tipo A y B, VIZIR.....	104
Tabla 4.15. FORMULARIO, Revisión de Planos (1 de 2).....	106
Tabla 4.16. FORMULARIO, Revisión de Planos (2 de 2).....	107

## LISTA DE FIGURAS

Figura. 2.1 Pavimentos Flexibles .....	7
Figura. 2.2 Pavimentos Rígidos .....	9
Figura. 2.3 Pavimentos Articulado.....	10
Figura. 2.4. Estado actual de las carreteras de Ecuador.....	13
Figura. 2.5. Pavimentos flexibles, secciones transversales .....	18
Figura.2.6. Construcción Pavimentos Flexibles.....	19
Figura. 2.7. Pavimentos Rígidos, secciones transversales .....	19
Figura.2.8. Construcción Pavimentos Rígidos.....	20
Figura. 2.9. Construcción Pavimentos Articulado.....	21
Figura. 2.10. Curva de Compactación de Suelos .....	26
Figura. 2.11. Correlación entre clasificación de suelos y CBR .....	29
Figura. 2.12. TPDA vs t (años) .....	32
Figura. 2.13. Ábaco para coeficiente estructural a1, AASHTO 93.....	42
Figura. 2.14. Aparejos, formación en bloques .....	48
Figura. 2.15. Aparejos, formación espina de pez .....	48
Figura. 2.16. Comportamiento de los Pavimentos.....	52
Figura. 2.17. Índice de Condición de Pavimento, Escala de Calificación .....	62
Figura. 2.18. Hoja de Registro PCI, ASTM D 6433 .....	63
Figura. 2.19. CDV vs. DV, PCI .....	67
Figura. 2.20. Corrección de los Valores Deducidos .....	67
Figura. 3.1. Evaluación y Desempeño de Pavimentos .....	83
Figura.3.2. Elementos, Criterios, Factores de Diseño .....	84

## LISTA DE ECUACIONES

Ec. 2.1.- Cálculo del CBR.....	22
Ec. 2.2.- Ensayo de Carga, Placas Flexibles.....	22
Ec. 2.3.- Ensayo de Carga, Placas Rígidas .....	23
Ec. 2.4.- Penetrómetro Dinámico de Cono .....	23
Ec. 2.5.- Módulo de resiliencia .....	24
Ec. 2.6.- Módulo de resiliencia, correlación CBR .....	24
Ec. 2.7.- Módulo de resiliencia, correlación CBR .....	24
Ec. 2.8.- Módulo de resiliencia, correlación CBR .....	24
Ec. 2.9.- Número de ejes equivalente inicial (MOP-NEVI-12; 2B.102.3.1) .....	33
Ec. 2.10.- Número de ejes equivalente final.....	33
Ec.2.11.- Número de ejes equivalentes de 12 T.....	34
Ec. 2.12.- Número de ejes equivalentes de 120 KN.....	34
Ec. 2.13.- Ecuación de Comportamiento, Pavimentos Flexibles .....	41
Ec. 2.14.- Número Estructural, Pavimentos Flexibles .....	41
Ec. 2.15.- D1, Pavimentos Flexibles.....	42
Ec. 2.16.- SN1, Pavimentos Flexibles .....	42
Ec. 2.17.- D2, Pavimentos Flexibles.....	42
Ec. 2.18.- SN1, SN2, Pavimentos Flexibles .....	42
Ec. 2.19.- D3, Pavimentos Flexibles.....	42
Ec. 2.20.- Ecuación de Comportamiento, Pavimentos Rígidos .....	46
Ec. 2.21.- Ecuación de Comportamiento, Pavimentos Flexibles-Articulados .....	49
Ec. 2.22.- Número Estructural, Pavimentos Articulado.....	49
Ec. 2.23.- Número Mínimo de Unidades .....	64
Ec. 2.24.- Desviación estándar, PCI.....	64
Ec. 2.25.- Intervalo de espaciamiento, PCI .....	65
Ec. 2.26.- Número Admisible Máximo de DV .....	66

Ec. 2.27.- Obtención del PCI.....	68
Ec. 2.28.- PCI de la Sección.....	68
Ec. 2.29.- PCla de la Sección.....	68
Ec. 2.30.- PCI.....	68
Ec. 4.1.- Índice de Calificación, Revisión de Estudios.....	90
Ec. 4.2.- Índice de calificación, Flexibles.....	98
Ec. 4.3.- Índice de calificación, Rígidos.....	98
Ec. 4.4.- Índice de calificación, Articulados.....	98
Ec. 4.5.- Índice de calificación, Informe.....	103

## RESUMEN

Este manual tiene en su primera sección una base teórica extensa en donde se trata de resumir todos los factores que intervienen en el diseño de los pavimentos tales como: Capacidad de sub-rasante, estudio de tráfico, drenajes, período de diseño, capas de rodadura, materiales de base y sub-base, transferencia de carga, sevicibilidad y aparejo; en cada caso se resalta la importancia, forma de obtención, recomendaciones de diseño y las citas literarias a la norma correspondiente, para que de esta forma sea fácil su búsqueda.

Posteriormente, se incluyen flujo-gramas de diseño de pavimentos que facilitan la comprensión y ayudan a la programación del diseño de cualquier tipo de pavimentos. Existe también flujo-gramas que ayudan a las revisiones de los estudios de los parámetros necesarios para diseños y la evaluación del desempeño.

Finalmente, se realizan flujo-gramas y formularios para las revisiones de todo lo que involucra trabajar con pavimentos; esto es: revisión de estudios, revisión de métodos de diseño, informes de diseño, instrumentos para realizar revisiones, evaluación de pavimentos existentes, revisión de planos.

Toda esta información se ha compilado para que sirva de utilidad a todas aquellas personas que de una u otra forma están relacionadas con actividades en todas las etapas de proyecto de un pavimento.

**PALABRAS CLAVE:** PAVIMENTO / MANUAL / DISEÑO DE PAVIMENTOS / FLUJOGRAMAS / EVALUACIÓN DE DISEÑOS / TRÁFICO / DRENAJES / INFORMES / REVISIÓN

## **ABSTRACT**

The first section of the manual an extensive theoretical base where it is to summarize all factors involved in the design of pavements such as: Capacity subgrade, traffic study, drainage, design period, surface course, materials base and sub-base, load transfer, serviceability, rig; in each case the importance, method of production, design recommendations and literary quotations to the relevant standard is highlighted, for your easy search.

Subsequently, flow-grams pavement design to facilitate understanding and programming help design for any pavement type are included. There is also flow-grams that help reviews studies to parameters needed for design and performance evaluation.

Finally, flow-grams and forms for reviews of everything that involves working with pavements are made; this is review of studies, review of design methods, design reports, tools for conducting reviews, assessment of existing pavements, plan review.

This information has been summary to serve useful to all those who in one way or another are related to activities at all stages of a pavement project.

**KEY WORDS:** PAVEMENT / MANUAL / PAVEMENT DESIGN / FLOW-GRAMS / EVALUATION DESIGN / TRAFIC / DRAIN / REPORT / REVIEW

## INTRODUCCIÓN

Nuestro país, el Ecuador, atraviesa una etapa de desarrollo en infraestructura de todo tipo es decir existe inversión pública y privada distribuida en varios proyectos de construcción y demás.

Frente a la necesidad de realizar las actividades relacionadas con todas las etapas de un proyecto como son: planificación, construcción, operación y mantenimiento; es imperioso en las personas que se involucran en estas tareas obtengan rapidez en la realización de sus ocupaciones diarias y para el efecto se requieren documentos que ayuden a realizar trabajos eficaces y eficientes.

Este trabajo, trata de ser una herramienta práctica, sencilla y verás cuando el profesional tenga como actividad diaria la revisión de lo pertinente a: métodos de diseño, estudios, evaluación, informes de diseño y planos de pavimentos.

La ayuda que brinda este manual es su enfoque en la realización de flujogramas que recomienden los procedimientos a seguir en cada caso y actividad. De igual manera tiene formularios checklist que permitirán al usuario realizar evaluaciones de forma rápida y sin necesariamente ser un experto en el tema.

# CAPITULO I

## 1. EL PROBLEMA

### 1.1. EL OBJETO DE LA INVESTIGACIÓN

Como objeto de la investigación propuesta en este trabajo de titulación establecemos que en la planificación, diseño, construcción y mantenimiento de la infraestructura vial y por ende de los pavimentos que sobre estas reposan, es necesario e imperioso seleccionar el diseño del pavimento más adecuado para condiciones planteadas en cada caso de análisis. El manual práctico optimiza el adecuado diseño de los pavimentos y con esto una aproximación real del costo de inversión para un beneficio exitoso del proyecto; a su vez pretende brindar una ayuda y guiar a las personas que se involucran con este tema en su labor profesional diaria.

### 1.2. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

Desde la creación de los primeros vehículos y las crecientes necesidades de desarrollo ha contribuido en la necesidad de buscar soluciones perdurables a la demanda de contar con caminos duraderos y resistentes al desgaste producido por el tráfico y las condiciones climáticas, esto con el objetivo de lograr que en la modernización y ampliación de la red vial a nivel nacional se esté especificando el uso de pavimentos flexibles y rígidos, bajo estándares de calidad.<sup>1</sup>

Esto ha generado la necesidad de contar con un manual práctico que nos permita comprender y analizar los estudios que se han realizado dentro de la consultoría para el diseño de pavimentos.

Existen una gran variedad de estudios destinados a comprender el comportamiento de los materiales usados en la construcción de pavimentos tanto rígidos como flexibles, con el fin de prever posibles causas de las fallas, entre las

---

<sup>1</sup> (<http://www.libros.publicaciones.ipn.mx/PDF/1534.pdf>)

más comunes están los agrietamientos, hundimientos, desgaste, ahuellamientos, etc.

### **1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Las red vial ecuatoriana, RVE, en sus componentes de vías troncales, transversales, secundarias y rurales tienen deficiencias de tipo funcional y estructural, por esa razón se requiere de una mejora integral, considerando lo mencionado se ha observado la necesidad de elaborar un manual práctico de optimización para la revisión de estudios de diseños de pavimentos, con la finalidad de proporcionar un documento técnico que agilite la revisión de dichos estudios considerando los factores de influencia en los pavimentos, como se desarrollan en el país así como: clima, materiales, tráfico y así se evite el uso indiscriminado de los pavimentos.

Este documento servirá para establecer los procesos de revisión de los estudios y diseños de las alternativas de implementación de un pavimento, debido a que en nuestro país la revisión de estos estudios aún no están normados y no se rigen bajo un mismo procedimiento que siga criterios unificados para el efecto; de esta manera la revisión de los procesos que ayudan a seleccionar el mejor diseño de pavimento deja mucho que desear, por lo tanto para satisfacer la necesidad de un procedimiento estandarizado y técnicamente adecuado en las etapas de diseño de espesores de las capas del pavimento, nos conducen al manual mencionado anteriormente.

### **1.4 HIPÓTESIS**

#### **1.4.1. Hipótesis general**

La correcta evaluación de los factores que intervienen en el cálculo de espesores de las capas de los pavimentos permite obtener un óptimo diseño de los pavimentos.

## **1.5 OBJETIVOS**

### **1.5.1. Objetivo general**

Desarrollar un manual práctico que permita analizar una carretera y contemple información metodológica y sistemática de las labores de revisión de un determinado estudio de diseño de pavimentos.

### **1.5.2. Objetivos específicos**

1. Elaborar una herramienta práctica para mejorar y estandarizar el procedimiento de revisión de los documentos.
2. Revisar los procesos de estudio, y criterios a considerar en un diseño de pavimentos.
3. Desarrollar un procedimiento metodológico que permita las fases del estudio e informe respectivo.

## **1.6. JUSTIFICACIÓN**

En un afán virtuoso de optimizar recursos en la revisión de un estudio adecuado de los pavimentos desde el punto de vista técnico y económico, además de establecer procedimientos que permitan la revisión integral de los estudios y diseños de este tipo de construcciones, trabajo que indudablemente se convierte en una herramienta para los profesionales dedicados a esta rama de la ingeniería, mismos que deben conocerlo y utilizarlo con fluidez, indudablemente el trabajo mejoraría la calidad de los pavimentos por la metodología sencilla y paulatina que se propone.

El manual, ayudará a revisar de mejor manera los estudios realizados para la construcción o el mejoramiento de las vías que conforman la red nacional, al desarrollo regional, local e internacional, ya que la infraestructura vial es un indicador muy predominante en el desarrollo económico y de bienestar de un país, con redes viales de primera calidad, durables y eficientes.

En la revisión de los estudios pertinentes al diseño de un pavimento se debe tomar en cuenta el tipo de diseño utilizado, el tipo de pavimento, tipo de tráfico vehicular, período de diseño, etc. En consideración a lo mencionado anteriormente este manual ayudará a la correcta revisión de los estudios realizados para la construcción o mejoramiento de un pavimento.

## **1.7. IMPACTO DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.7.1. Impacto Social**

En el desarrollo integral de una sociedad es importante su movilidad de un sector a otro con eficiencia, para dinamizar la economía, es por eso que este manual en su afán por obtener los pavimentos en buen estado y con estudios técnicos responsables, tendrá este mencionado impacto.

### **1.7.2. Impacto Práctico**

En la revisión de los estudios de ingeniería en lo referente a diseños y selección de pavimentos el manual propone una metodología adecuada para el efecto, por esta razón el documento es práctico y sirve de apoyo en el desarrollo de la ingeniería vial del país.

### **1.7.3. Impacto Ecológico y Ambiental**

Con la optimización en la utilización de materiales y proponiendo adecuado mantenimiento de los pavimentos, se pretende mitigar los impactos negativos que intervienen en la extracción de materiales y materias primas, para la elaboración de los pavimentos.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO REFERENCIAL

#### 2.1 MARCO TEÓRICO

##### 2.1.1. BREVE EVOLUCIÓN HISTÓRICA

Para exponer lo relacionado a este acápite hemos utilizado información expuesta por el sitio (<http://es.scribd.com/doc/18190693/Historia-de-Los-Pavimentos>), por ser conciso y mostrar datos relacionados con el objeto de la presente investigación:

Los primeros indicios de la construcción de caminos datan del año 4,000 A.C. son calles pavimentadas con piedra en la ciudad de Ur, en el actual territorio de Irak, y caminos de madera, preservados en un pantano en Glastonbury, Inglaterra.<sup>2</sup>

La necesidad de la comunicación entre pueblos y comunidades obligaron a dar un paso muy importante en la utilización de pavimentos dentro de la calzadas así la primera vez que se utiliza en Asia, en las vías que discurre desde la proximidad del mar hasta el palacio de Knossos, mediante grandes losas de piedras asentadas sobre capas de arcilla, piedra y yeso; así como también ocurrió en Babilonia (600a.c) en la avenida procesional de Aibur –Shuba.<sup>3</sup>

En Egipto para la construcción de las pirámides, fue necesario construir caminos que además de ser resistentes tuvieran una superficie lisa e indeformable para transportar los materiales pesados, empleando para ello losas de piedra toscamente labradas asentadas sobre terreno firme. Las vías griegas eran de carácter muy localizado, normalmente religioso y para facilitar el acceso a los templos utilizaron también losas de piedra como pavimento.

El sistema de urbanización y comunicación más perfecto de la Edad Antigua corresponde al Imperio Romano, los técnicos romanos construyeron vías con grandes alineaciones rectas. En las ciudades, se adoquinaban o cubrían con

---

<sup>2</sup> (<http://es.scribd.com/doc/18190693/Historia-de-Los-Pavimentos>)

<sup>3</sup> (<http://www.slideshare.net/lisandrromani/apunte-pavimentos>)

losas de piedra dispuestas de forma regular. En otros lugares se rellenaban con arena y grava, extraídas de canteras abiertas en las proximidades.

En la Edad Media aunque en menor escala es frecuente la pavimentación con losas de piedra más o menos concentradas y también el empleo de piedras de tamaño más reducido (empedrados) para el tránsito de caballerías y ganado. A finales del siglo XVIII se inicia una nueva visión tecnológica sobre los pavimentos urbanos por razón de higiene, considerando la variedad de pavimentos de piedra en las ciudades españolas, entre los que se destacan pavimentos de adoquín redondo, pavimento de adoquín mosaico, pavimentos de hormigón blindado, entre otros.<sup>4</sup>

A principios del siglo XIX se comienza a pavimentar calles utilizando alquitrán en riegos, la cual es una sustancia bituminosa, grasa, oscura y de olor fuerte, que se obtiene de la destilación de ciertas materias orgánicas, principalmente de la hulla, el petróleo, la turba, los huesos y de algunas maderas resinosas; en algunas calles de Londres, Madrid y posteriormente en Estados Unidos se emplearon mezclas fabricadas a partir de rocas asfálticas y asfaltos naturales. (<http://www.arqhys.com/contenidos/carreteras-historia.html>).

Como consecuencia del desarrollo industrial del petróleo se comenzó a emplear los betunes asfálticos para la fabricación de mezclas asfálticas, siendo el norteamericano Richardson el que estableció las bases de la tecnología de las citadas mezclas que en la actualidad son básicas para la pavimentación. Sin embargo el desarrollo tecnológico de estos materiales se produce durante la segunda Guerra Mundial por las urgentes necesidades de construcción de pistas de aeropuertos militares; como pavimentos más característicos de aquellas épocas citan: pavimento de losetas de asfalto comprimido, pavimento Warren.

La primera vez que se usó el asfalto fue en 1824, para pavimentar la famosa avenida Campos Elíseos de París, y la resistencia era muy baja para climas húmedos.

A mediados del siglo XX, en las vías urbanas se empiezan a cubrir los antiguos pavimentos de piedra con capas de mezcla asfáltica, y a finales de este siglo se

---

<sup>4</sup> (<http://es.scribd.com/doc/18190693/Historia-de-Los-Pavimentos>)

emplearon a gran escala innovaciones particularmente adaptadas a las necesidades urbanas como son pavimentos drenantes, microaglomerados, fonoabsorbentes, etc

El asfalto moderno, de máxima densidad, fue desarrollado por Edward de Smedt en la Universidad de Columbia, Estados Unidos. Se estrenó en la no menos famosa Quinta Avenida de Nueva York, en 1877.

Actualmente la mayoría de los caminos del mundo están pavimentados con asfalto. Su nombre recuerda el Lago Asfaltites en el Mar Muerto, donde se encuentra en estado natural, así como en otras cuencas petroleras, como el lago Guanoco en Venezuela y el lago La Brea, en la isla de Trinidad. (<http://360gradosblog.com/index.php/historia-y-origen-de-los-pavimentos-de-concreto-en-colombia/>).

Otro material utilizado en pavimentación vial es el hormigón o concreto, material resultante de la mezcla de cemento u otro conglomerante con áridos como grava, gravilla o arena y agua.



**Figura. 2.1 Pavimentos Flexibles**

Fuente: Vía Panzaleo – Ambato

Excavaciones arqueológicas indican el amplio uso del asfalto natural hacia el año 3.800 A.C. en Mesopotámia, Valle del Indo y en Egipto. Los habitantes de estas regiones lo utilizaron para impermeabilizar estanques y depósitos de agua o como

mortero para unir ladrillos o piedras. Las rocas asfálticas, que son simplemente rocas porosas que se han saturado de asfalto natural a lo largo de su vida geológica, se utilizan hacia el 1.880 D.C. en Francia, Inglaterra y en Filadelfia para pavimentar suelos, puentes y aceras. Los materiales bituminosos obtenidos de la destilación del petróleo son los que más se utilizan en la actualidad.<sup>5</sup>

A principios del siglo XIX se comienzan a pavimentar calles utilizando alquitrán en riegos. Las primeras mezclas con alquitrán in situ se extendieron en algunas calles de Londres y más tarde en zonas peatonales de la Puerta del Sol, (Madrid).

Posteriormente, en Estados Unidos se emplearon mezclas fabricadas a partir de rocas asfálticas y de asfaltos naturales. Como consecuencia del desarrollo de la industria del petróleo, se comenzó a emplear los betunes asfálticos para la fabricación de mezclas alifáticas, siendo el norteamericano Richardson el que estableció las bases de la tecnología de las citadas mezclas, que en la actualidad son básicas para la pavimentación. Sin embargo, el desarrollo tecnológico de estos materiales se produce durante la II Guerra Mundial por las urgentes necesidades de construcción de pistas de aeropuertos militares.

Como pavimentos más característicos de aquella época podemos citar: Pavimento de losetas de asfalto comprimido de 20 x 20 x 4 cm colocadas con mortero de cemento o con riego asfáltico en algunos casos, sobre una base de hormigón de unos 20 cm de espesor. Pavimento de asfalto fundido en capa de 5 cm sobre base de hormigón de unos 20 cm de espesor Pavimento Warren, llamado así por ser Warrenite la casa especializada en la construcción de estos pavimentos en los que se empleaban grandes dotaciones de betún. La sección de este firme era la siguiente

30 cm. de zahorras naturales

10 cm. de piedra machacada

Riego profundo de 7 kg /m<sup>2</sup> de betún 180/200 y extensión de árido rodado.

Riego superficial de 3 kg /m<sup>2</sup> de betún 180/200 y extensión de árido rodado.

---

<sup>5</sup> (<http://es.scribd.com/doc/18190693/Historia-de-Los-Pavimentos>)

A mediados del siglo XX, en las vías urbanas se comienzan a cubrir los antiguos pavimentos de piedra con capas de mezcla asfálticas, a pesar de su durabilidad y capacidad de soporte en algunos casos para resistir cargas pesadas, siendo entre otras causas las siguientes:

Refuerzos necesarios por aumento de las cargas de tráfico.

Por ser su rodadura incómoda y ruidosa.

Convertirse en un peligro al hacerse deslizantes.

Su elevado costo de conservación tanto de materiales como de mano de obra.

Hacer más visible la señalización horizontal, etc.

A finales del tercio del siglo XX, se emplean a gran escala innovaciones particularmente adaptadas a las necesidades urbanas, como son los micros aglomerados, pavimentos drenantes, etc.



**Figura. 2.2 Pavimentos Rígidos**

Fuente: Avenida Circunvalación (Tramo 1). Riobamba – Ecuador

El método de diseño, originalmente conocido como AASHTO, fue desarrollado en los Estados Unidos en la década de los 60, basándose en un ensayo a escala real realizado durante 2 años en el Estado de Illinois.

Aproximadamente después de un año de terminar la prueba AASHTO para 1961 salió publicada la primera "Guía AASHTO para Diseño de Pavimentos Rígidos y Flexibles". Posteriormente para 1972 se realizó una revisión y se publicó como la "Guía AASHTO para Diseño de Estructuras de Pavimento - 1972". Para 1981 se hizo una Revisión al Capítulo III, correspondiente al Diseño de Pavimentos de Concreto con Cemento Portland. Para 1986 se publicó una revisión de la "Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimento". En 1993 se realizó una Revisión del Diseño sobre carpetas de pavimento. Para 1998 se publicó un método alternativo para diseño de pavimentos, que corresponde a un "Suplemento a la guía de diseño de estructuras de pavimento".<sup>6</sup>



**Figura. 2.3 Pavimentos Articulados**

Fuente: Correos del Ecuador (Quito – Pusuqui)

Su origen se remonta hace 25 siglos. Los cartagineses y romanos los utilizaban en sus grandes vías para dotarlas de rapidez y duración. Para lograr un transporte más cómodo se vió la necesidad de conseguir una superficie de rodamiento más continua y esto no se podía lograr con el empedrado anterior, que consistía en piedras sin tallar en estado natural.

El adoquinado se utilizó de modo funcional hasta finales del siglo XIX. En tiempos de Napoleón se construyeron grandes avenidas en las ciudades, entre otras cosas para posibilitar que las grandes piezas de artillería circularan por las calles.

---

<sup>6</sup> (AASHTO 93, 1993)

Más adelante los franceses construyeron las carreteras del país. La aparición del automóvil hizo crecer el ritmo de pavimentación y el adoquinado dejó de ser rentable.<sup>7</sup>

Hoy se utilizan los adoquinados con motivos estéticos y todavía muchos de los antiguos se encuentran en servicio y en buen estado, prueba de la gran robustez de este sistema. De igual manera, se han desarrollado adoquines de hormigón, los cuales se utilizan de manera similar a los antiguos adoquines de piedra y dan origen a lo que se denomina pavimentos articulados.

A veces, a los adoquinados modernos se les añaden colorantes buscando un mejor resultado estético.

### **2.1.2. BREVE RESEÑA EN EL ECUADOR**

El Ministerio de Obras Públicas, fue creado en el régimen del Dr. Isidro Ayora, mediante la firma del Decreto Supremo No. 92, del 9 de julio de 1929, posteriormente, en el gobierno del Ing. León Febres Cordero, el titular del Ministerio de Obras Públicas, Ing. Alfredo Burneo, mediante Acuerdo Ministerial No. 037, del 15 de octubre de 1984, declara al 9 de julio de 1929 como fecha oficial de creación de la cartera de Estado.

El 15 de enero del 2007 se creó el Ministerio de Transporte y Obras Públicas, con el interés de instituir una verdadera política integral del transporte, que posibilite la planificación, definición de estrategias y la debida coordinación multimodal e intermodal para que el Ecuador participe en los circuitos globales del transporte.

La red de carreteras de Ecuador alcanzaba en 1997 los 43.197 km, de los cuales aproximadamente el 19% estaban pavimentados, siendo desastrosa la situación de las mismas provocando gran cantidad de accidentes. En los últimos tiempos se ha mejorado considerablemente, según cifras oficiales del Ministerio de Transporte y Obras Públicas.

Las carreteras en diferentes momentos han llegado a estar seriamente deterioradas, para el Ing. Marcelo Ponce ex asesor del Ministerio de Obras Públicas, esto sucedió por "la mala calidad de los asfaltos que se colocaban y que

---

<sup>7</sup> (LEÓN, 2010)

tenían que ser arreglados cada año". El experto acató que "el precio de una vía de hormigón vs una de asfalto es superior" sin embargo explicó que "el tiempo de duración de un asfalto de buena calidad es de 10 a 15 años, mientras el hormigón armado tiene una durabilidad de 20 años".

El plan estratégico de Movilidad (PEM) consolida la movilización marina, terrestre, fluvial y aérea, consta de cuatro casos puntuales:

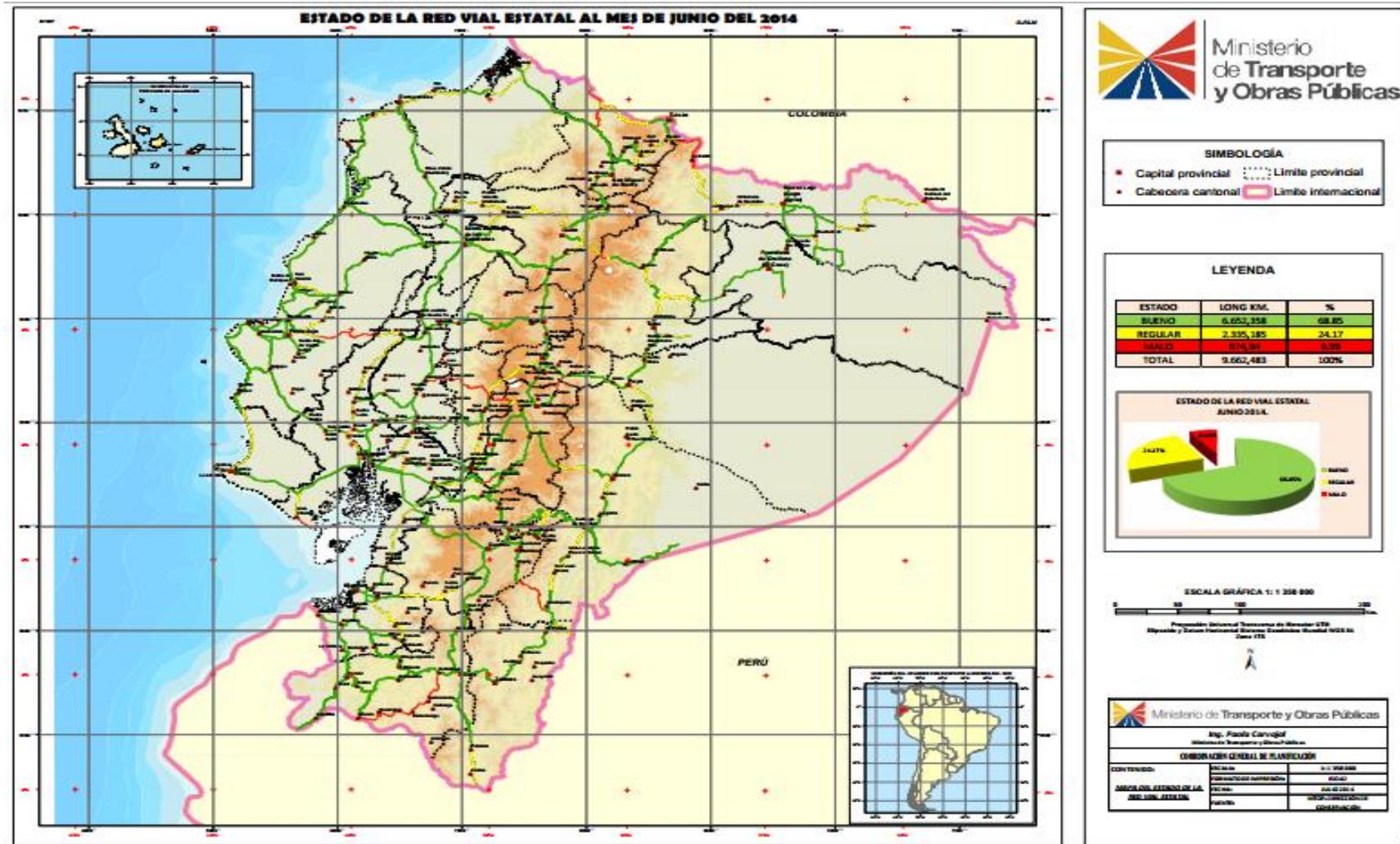
Unidad (la aplicación de un sistema nacional).

Integración (se ejecutará en todo el territorio).

Conexión (la red tendrá continuidad), multimodal (abarca la movilización por aire, tierra, ríos y mares).

Totalidad (el plan contará con estándares ajustados a la movilidad en la época actual).

En el caso del transporte terrestre, se establecen 13.500 kilómetros de vías a ser construidas con equipamiento logístico. No obstante, esa solamente es una parte de la interconexión, ya que el Gobierno Nacional ha determinado trabajos de ejecución durante 25 años (al 2037), bajo una inversión estatal y privada, estimada en \$118 mil millones.



**Figura. 2.4. Estado actual de las carreteras de Ecuador.**  
Fuente: Sitio oficial del Ministerio de Transporte y Obras Públicas.

Se han realizado importantes obras que han cambiado la vida de los ecuatorianos y sobre todo el desarrollo económico del país al lograr la interconexión de importantes regiones para el intercambio comercial, así como el desarrollo del turismo al brindar la posibilidad de acceso a lugares con gran atracción turística. Pero sobre todo por lograr la seguridad vial que se requiere para poder transportarse las personas haciendo uso de su derecho ciudadano de movilidad.

Por ello es tan importante la presente investigación, siendo el aporte principal “El Manual” una herramienta necesaria y de invaluable valía en los momentos del Ecuador actual.

## 2.2. MARCO CONCEPTUAL

**Absorción:** Es el proceso mediante el cual un sólido poroso (a nivel microscópico) es capaz de retener partículas de un fluido en su superficie tras entrar en contacto con éste.

**Antideslizante:** Elemento que tiende a impedir los desplazamientos longitudinales de los carriles.

**Asfalto:** Es un material viscoso, pegajoso y de color negro, usado como aglomerante en mezclas asfálticas para la construcción de carreteras, autovías o autopistas.<sup>8</sup>

**Carpeta asfáltica:** Es la parte superior del pavimento flexible que proporciona la superficie de rodamiento, es elaborada con material pétreo seleccionado y un producto asfáltico dependiendo del tipo de camino que se va a construir.

**Cimentación:** Es el conjunto de elementos estructurales cuya misión es transmitir las cargas de la edificación o elementos apoyados a este al suelo distribuyéndolas de forma que no superen su presión admisible ni produzcan cargas zonales.<sup>9</sup>

**Esfuerzos:** Son las fuerzas internas, debido a las cargas, sometidas a un elemento resistente.

---

<sup>8</sup> (<http://es.wikipedia.org>, s.f.)

<sup>9</sup> (REYES, 2011)

**Fricción:** Es una fuerza de contacto que actúa para oponerse al movimiento deslizante entre superficies. Actúa paralela a la superficie y opuesta al sentido del deslizamiento. Se denomina como  $F_f$ . La fuerza de fricción también se le conoce como fuerza de rozamiento.

**Hormigón hidráulico:** Es el producto resultante de la mezcla en proporciones adecuadas de áridos y de la pasta de cemento y agua obteniéndose una piedra artificial de determinada resistencia a la compresión y forma, agregándole en algunas ocasiones aditivos.<sup>10</sup>

### **2.3. FUNDAMENTACIÓN LEGAL**

La presente investigación basa su sustento legal primeramente en la Constitución Política de la República del Ecuador de 2008, en el siguiente artículo:

#### **Capítulo quinto**

##### **Sectores estratégicos, servicios y empresas públicas**

Art. 314.- El Estado será responsable de la provisión de los servicios públicos de agua potable y de riego, saneamiento, energía eléctrica, telecomunicaciones, infraestructuras portuarias y aeroportuarias, y los demás que determine la ley. El Estado garantizará que los servicios públicos y su provisión respondan a los principios de obligatoriedad, generalidad, uniformidad, eficiencia, responsabilidad, universalidad, accesibilidad, regularidad, continuidad y calidad.<sup>11</sup>

En la Ley Orgánica de Transporte Terrestre y Seguridad Vial de 2008 en los siguientes artículos:

Art. 1.- La presente Ley tiene por objeto la organización, planificación, fomento, regulación, modernización y control del Transporte Terrestre, Tránsito y Seguridad Vial, con el fin de proteger a las personas y bienes que se trasladan de un lugar a otro por la red vial del territorio ecuatoriano, y a las personas y lugares expuestos

---

<sup>10</sup> (<http://es.wikipedia.org>, s.f.)

<sup>11</sup> (ASAMBLEA NACIONAL CONSTITUYENTE, 2002)

a las contingencias de dicho desplazamiento, contribuyendo al desarrollo socio-económico del país en aras de lograr el bienestar general de los ciudadanos.

Art. 2.- La presente Ley se fundamenta en los siguientes principios generales: el derecho a la vida, al libre tránsito y la movilidad, la formalización del sector, lucha contra la corrupción, mejorar la calidad de vida del ciudadano, preservación del ambiente, desconcentración y descentralización.

En cuanto al transporte terrestre, tránsito y seguridad vial, se fundamenta en: la equidad y solidaridad social, derecho a la movilidad de personas y bienes, respeto y obediencia a las normas y regulaciones de circulación, atención al colectivo de personas vulnerables, recuperación del espacio público en beneficio de los peatones y transportes no motorizados y la concepción de áreas urbanas o ciudades amigables.

Art. 6.- El Estado es propietario de las vías públicas, administrará y regulará su uso.

Art. 7.- Las vías de circulación terrestre del país son bienes nacionales de uso público, y quedan abiertas al tránsito nacional e internacional de peatones y vehículos motorizados y no motorizados, de conformidad con la Ley, sus reglamentos e instrumentos internacionales vigentes. En materia de transporte terrestre y tránsito, el Estado garantiza la libre movilidad de personas, vehículos y bienes, bajo normas y condiciones de seguridad vial y observancia de las disposiciones de circulación vial.<sup>12</sup>

Así como otros artículos que hacen referencia al tema en cuestión objeto de estudio.

De forma general el Reglamento a la Ley de Transporte Terrestre Tránsito y Seguridad Vial.

---

<sup>12</sup> (ASAMBLEA NACIONAL CONSTITUYENTE, 2002)

## **2.4. GENERALIDADES DE PAVIMENTOS**

### **2.4.1. DEFINICIÓN DE PAVIMENTO**

Se llama pavimento al conjunto de capas de material seleccionado que reciben en forma directa las cargas del tránsito y las transmiten a los estratos inferiores en forma disipada, proporcionando una superficie de rodamiento, la cual debe funcionar eficientemente. Las condiciones necesarias para un adecuado funcionamiento son las siguientes: anchura, trazo horizontal y vertical, resistencia adecuada a las cargas para evitar las fallas y los agrietamientos, además de una adherencia adecuada entre el vehículo y el pavimento aun en condiciones húmedas. Deberá presentar una resistencia adecuada a los esfuerzos destructivos del tránsito, de la intemperie y del agua. Debe tener una adecuada visibilidad y contar con un paisaje agradable para no provocar fatigas.<sup>13</sup>

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

### **2.4.2. TIPOS DE PAVIMENTOS**

Básicamente existen dos tipos de pavimentos: rígidos y flexibles; aunque podemos también acoplar a los pavimentos articulados (adoquinados).

#### **➤ Pavimento flexible**

Resulta más económico en su construcción inicial, tiene un período de vida de entre 10 y 15 años, pero tienen la desventaja de requerir mantenimiento constante para cumplir con su vida útil; este tipo de pavimento está compuesto principalmente de una carpeta asfáltica, de la base y de la sub-base.

---

<sup>13</sup> (RICO RODRIGUEZ, 2010)

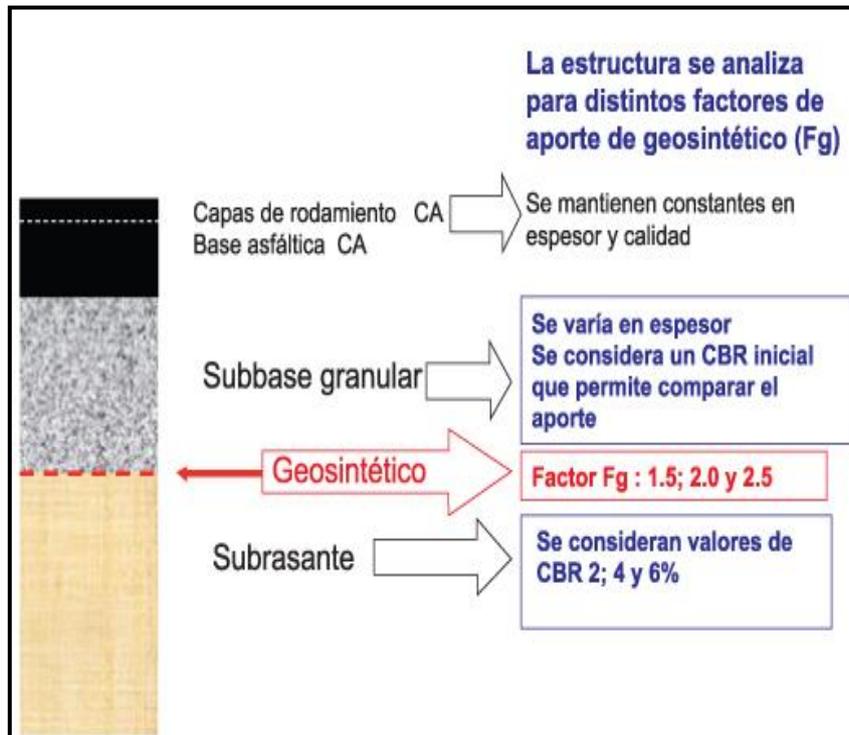


Figura. 2.5. Pavimentos flexibles, secciones transversales

Fuente: (MINAYA & ORDOÑEZ, 2006)<sup>14</sup>

<sup>14</sup> (MINAYA & ORDOÑEZ, 2006)



**Figura.2.6. Construcción Pavimentos Flexibles**

Fuente: Vía Panzaleo – Ambato

➤ **Pavimento rígido**

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



**Figura. 2.7. Pavimentos Rígidos, secciones transversales**

Fuente: Cámara Nacional de Concreto. Nicaragua



**Figura.2.8. Construcción Pavimentos Rígidos**

Fuente: Avenida Circunvalación (Tramo 1). Riobamba – Ecuador

### ➤ Pavimentos articulados

Los pavimentos articulados son aquellos en los cuales la capa superior o acabado del pavimento está constituida por elementos prefabricados de concreto (adoquines).

Estos se elaboran mecánicamente lo que permite obtener un producto de gran homogeneidad, en sus dimensiones, forma, resistencia a la compresión, desgaste y a la absorción de agua, lo que le asegura una larga vida útil. Sobre una base adecuada, conforman una superficie para soportar la acción del rodamiento de vehículos y facilitar el escurrimiento de las aguas. Así se consigue que la fracción de carga transmitida a la base por elemento, sea igual al 40% de la carga que le es aplicada.<sup>15</sup>

---

<sup>15</sup> (<http://es.scribd.com/doc/24569132/Pavimentos-articulados-adoquines>)



**Figura. 2.9. Construcción Pavimentos Articulados**

Fuente: Correos del Ecuador (Quito – Pusuqui)

## **2.5. DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES**

El diseño de Pavimentos Flexibles según lo recomendado en la NEVI 12 en el ítem 2b.102.4 es el método AASHTO-93, para exponer el procedimiento de una forma explícita, simple y de fácil aplicación se ha dividido la información en los factores que intervienen para establecer los parámetros que afectan en el diseño y su vida útil, un resumen de ecuaciones que permitirá facilitar el entendimiento y finalmente un flujo-grama para resumir de forma sintética y adecuada.

### **2.5.1. FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL DISEÑO**

Dentro de los factores que intervienen en el diseño de pavimentos se puede enumerar los siguientes:

#### **2.5.1.1. CAPACIDAD DE LA SUB-RASANTE**

Debido a que los pavimentos son estructuras de cimentación que se encuentran sometidas a cargas repetidas, su capacidad de carga puede estimarse con el Índice de Soporte de California CBR como lo establece la NEVI 12.

A continuación se presenta la descripción del método del ensayo CBR como lo expone la NEVI 12 en su ítem 2B.102.3.2 b).

El CBR es una medida indirecta de la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo bajo dadas condiciones de humedad y densidad, se expresa como la relación porcentual entre el esfuerzo requerido para penetrar un pistón de 2 pulgadas dentro de una probeta de 6 pulgadas de diámetro y 7 pulgadas de altura, y el esfuerzo requerido para introducir el mismo pistón hasta la misma profundidad de una muestra patrón de grava partida.

La expresión del CBR es la siguiente:

$$CBR = \frac{\text{Esfuerzo que produce una deformación de 0.1 en el suelo ensayado}}{\text{Esfuerzo que produce una deformación de 0.1 en la muestra patrón}} * 100$$

#### **Ec. 2.1.- Cálculo del CBR**

Presión estándar para 0.1'' = 70.3 kg/cm<sup>2</sup>

Presión estándar para 0.2'' = 105.5 kg/cm<sup>2</sup>

Ecuación tomada de la NEVI 12 (ec. 2B.102-07).

#### **Ensayo de Carga con Placa (ASTM E2835)**

Se expone a continuación el ensayo de carga con placa como lo describe la NEVI 12 en su ítem 2B.102.3.2 (2) c):

El ensayo se realiza sobre la sub-rasante o rasantes terminadas, sigue el esquema que se indica a continuación y el cálculo establecido con las siguientes expresiones:

Placas Flexibles:

$$E_s = \frac{2(1 - u^2) \cdot \Delta\sigma x r}{\Delta\varepsilon_r}$$

#### **Ec. 2.2.- Ensayo de Carga, Placas Flexibles**

Placas Rígidas:

$$E_s = \frac{\pi(1 - u^2) \cdot \Delta\sigma \chi r}{2 \cdot \Delta\varepsilon_r}$$

#### **Ec. 2.3.- Ensayo de Carga, Placas Rígidas**

Dónde:

r: Radio de la placa metálica,

$\Delta\sigma$ : Diferencia de presión en el dominio de la linealidad escogida expresada en kg/cm<sup>2</sup>,

$\Delta\varepsilon_r$ : Diferencia entre las deformaciones recuperables en el dominio de la linealidad,

u: Coeficiente de Poisson (0.35-0.50).

#### **El Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP) ; (ASTM D6951-03)**

Se expone el método del Penetrómetro Dinámico de Cono como lo expone la NEVI 12 en su ítem 2B.102.3.2 (2) d):

El ensayo se basa en dejar caer una masa de 10 kg desde una altura de 50 cm determinando el N (número de golpes) necesario para introducir en el suelo la punta del barrenado una longitud de 10 cm (E) caracterizándose la capa de suelo atravesada por el hundimiento medido por el golpe.

$$X = \frac{E}{N}$$

#### **Ec. 2.4.- Penetrómetro Dinámico de Cono**

Una ampliación del ensayo DCP se expone en el anexo 2 de este documento.

#### **Módulo de resiliencia (Mr); (AASHTO T307-99)**

Representa la relación entre el esfuerzo desviador y la deformación recuperable obtenida en el ensayo triaxial dinámico, utilizándose en el análisis estructural de

sistemas multicapa (módulo de elasticidad de la sub-rasante); como lo describe la NEVI 12 en su ítem 2B.102.3.2 (3). Puede calcularse a partir de la siguiente ecuación:

$$Mr = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{\epsilon_r} = \frac{\sigma_d}{\epsilon_r}$$

#### **Ec. 2.5.- Módulo de resiliencia**

Dónde:

$\sigma_d$ : Esfuerzo desviador aplicado =  $\sigma_1 - \sigma_3$ ,

$\epsilon_r$ : Deformación axial resiliente (recuperable),

Se puede adicionalmente determinar el módulo de resiliencia a través de correlaciones con el CBR.

$Mr = 1500 \text{ CBR}$  si  $\text{CBR} < 10\%$ ,

#### **Ec. 2.6.- Módulo de resiliencia, correlación CBR**

$Mr = 3000 \text{ CBR}^{0.65}$  si  $10\% < \text{CBR} < 20\%$ ,

#### **Ec. 2.7.- Módulo de resiliencia, correlación CBR**

$Mr = 4326 \times \ln \text{CBR} + 241$  suelos granulares.

#### **Ec. 2.8.- Módulo de resiliencia, correlación CBR**

### **Compactación del Suelo (ASTM D-698 Y ASTM D1557)**

Existen dos tipos de ensayos que permiten evaluar la compactación del suelo y estos son los ensayos: proctor estándar y proctor modificado; la diferencia esencial entre esos dos procedimientos de ensayo es la energía de compactación que se utiliza para la preparación de las muestras motivo del ensayo. Se presenta en forma sintética la forma de realización del ensayo.

El objetivo es determinar la Densidad Seca Máxima y el Contenido de Humedad Óptimo del suelo, el ensayo debe realizarse bajo los procedimientos descritos en la norma ASTM D698.

El equipo que se utiliza para el ensayo es: Moldes metálicos, Martillo, Balanza, Horno, Recipientes, Equipo misceláneo.

Las diferencias significativas entre el proctor estándar y modificado se exponen en la siguiente tabla:

<b>MÉTODOS DE COMPACTACIÓN</b>					
<b>PROCTOR</b>		<b>MODIFICADO</b>		<b>ESTÁNDAR</b>	
<b>MÉTODO</b>		<b>A</b>	<b>D</b>	<b>A</b>	<b>D</b>
Cilindro	Altura	4,6''	4,6''	4,6''	4,6''
	Diámetro	4,0''	6,0''	4,0''	4,0''
	Volumen	947 cm <sup>3</sup>	2131 cm <sup>3</sup>	947 cm <sup>3</sup>	947 cm <sup>3</sup>
Martillo	Peso	10 lb.	10 lb.	5,5 lb.	10 lb.
	Caída	18''	18''	12''	18''
Número de Capas		5	5	3	5
Número de Golpes		25	56	25	25
Energía de Compactación		56,25 lb/pe <sup>3</sup>	55,986 lb/pe <sup>3</sup>	12,375 lb/pe <sup>3</sup>	12,316 lb/pe <sup>3</sup>

**Tabla 2.1. Métodos de Compactación**

Fuente: ALFARO Luis; Geotecnia

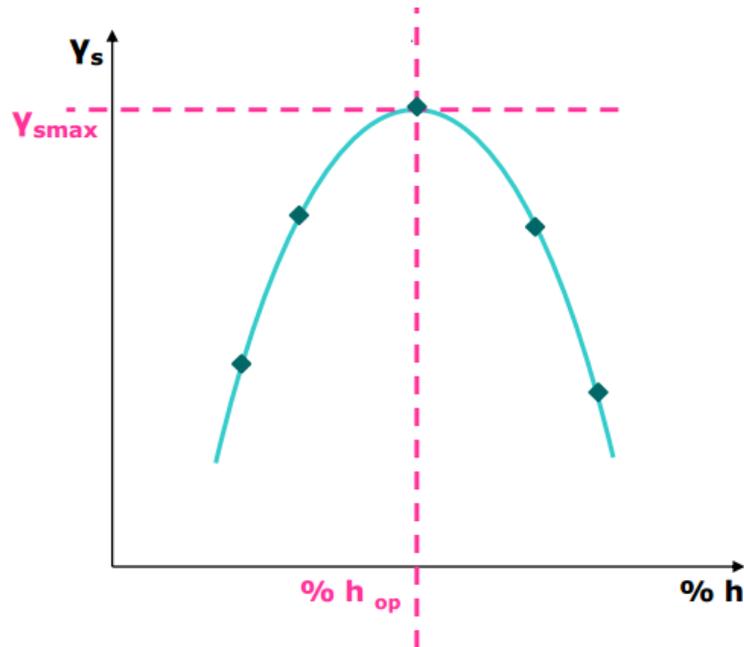
Con el equipo utilizado y las características de cada tipo de ensayo se calcula lo siguiente:

Peso específico húmedo y seco de la muestra,

Contenido de humedad,

Curva de compactación

De la curva de compactación se obtienen la densidad máxima y la humedad óptima objetivos del ensayo, como se ve en la siguiente figura:



**Figura. 2.10. Curva de Compactación de Suelos**

Fuente: (MINAYA & ORDOÑEZ, 2006)

Dónde:

$\Gamma_{smax}$ : Densidad seca máxima,

$\%h_{opt}$ : Humedad óptima.

**Clasificación de las Sub-rasantes:**

CLASIFICACIÓN DE SUBRASANTES	
S1	CBR = 5 a 10%
S2	CBR = 10 a 20%
S3	CBR = > 20%

**Tabla 2.2. Clasificación de las sub-rasantes**

Fuente: CORPECUADOR NORMAS INTERNAS

**2.5.1.1.1 VALORES TÍPICOS DE PROPIEDADES DE SUELOS**

Como una ayuda en la revisión de información de suelos se presenta información tabulada acerca de valores característicos de las propiedades de los suelos de acuerdo a su clasificación SUCS y AASHTO del suelo.

### a.- Propiedades comunes de suelos arcillosos

CONSISTENCIA	N (SPT)	Prueba Manual	$\gamma_{sat}$ (g/cm <sup>3</sup> )	Uc (kPa)
Dura	> 30	Difícil de mellar	> 2,0	> 400
Muy firme	15 a 30	Mellada con las uñas	2,08 - 2,24	200 - 400
Firme	8 a 15	Mellada con el pulgar	1,92 - 2,08	100 - 200
Medianamente firme	4 a 8	Moldeada con presión fuerte	1,76 - 1,92	50 - 100
Suave	2 a 4	Moldeada con presión leve	1,60 - 1,76	25 - 50
Muy suave	< 2	Se estruje entre los dedos	1,44 - 1,60	0 - 25

**Tabla 2.3. Propiedades comunes, suelos arcillosos**

Fuente: ALFARO Luis; Geotecnia

Dónde:

N (SPT): Número de golpes corregido del SPT,

$\gamma_{sat}$ : Peso específico saturado del suelo,

Uc: Resistencia a compresión no confinada.

### b.- Propiedades comunes de suelos granulares

MATERIAL	COMPACIDAD	N (SPT)	$\gamma_{seco}$ (g/cm <sup>3</sup> )	Relación de vacíos	Angulo de fricción interna
GW	Densa	90	2,21	0,22	40
	Media	55	2,08	0,28	36
	Suelta	<28	1,97	0,36	32
GP	Densa	70	2,04	0,33	38
	Media	50	1,92	0,39	35
	Suelta	<20	1,83	0,47	32
SW	Densa	65	1,89	0,43	37
	Media	35	1,79	0,49	34
	Suelta	<15	1,7	0,57	30
SP	Densa	50	1,76	0,52	36
	Media	30	1,67	0,6	33
	Suelta	<10	1,59	0,65	29
SM	Densa	45	1,65	0,62	35
	Media	25	1,55	0,74	32
	Suelta	<8	1,49	0,8	29
ML	Densa	35	1,49	0,8	33
	Media	20	1,41	0,9	31
	Suelta	<4	1,35	1	27

**Tabla 2.4. Propiedades comunes, suelos granulares**

Fuente: ALFARO Luis; Geotecnia

Dónde:

$\gamma_{seco}$ : Peso específico seco del suelo

### c.- Coeficientes de Permeabilidad Típicos de suelos

MATERIAL	COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (cm/s)
Grava fina a gruesa limpia	10
Grava fina mal gradada	5
Arena muy gruesa, limpia	3
Arena gruesa uniforme	0,4
Arena media uniforme	0,1
Arena fina uniforme	$40 \times 10^{-4}$
Arena limosa y grava	$4 \times 10^{-4}$
Arena limosa	$1 \times 10^{-4}$
Limo uniforme	$0,5 \times 10^{-4}$
Arcilla arenosa	$0,05 \times 10^{-4}$
Arcilla limosa	$0,01 \times 10^{-4}$
Arcilla (30 a 50% arcilla)	$0,001 \times 10^{-4}$
Arcilla (>50% arcilla)	$1 \times 10^{-9}$

**Tabla 2.5. Coeficientes de permibilidad**

Fuente: ALFARO Luis; Geotecnia

### d.- Propiedades elásticas típicas

MATERIAL	MODULO DE YOUNG (Mpa)	COEFICIENTE DE POISSON
Arcilla suave	2-4	
Arcilla firme a dura	4-8	0,40-0,50
Arcilla muy dura	8-20	
Limo	2-20	0,30-0,35
Arena fina suelta	8-12	
Arena fina medio densa	12-20	0,25
Arena fina densa	20-30	
Arena suelta	10-30	0,20-0,35
Arena medio densa	30-50	
Arena densa	50-80	0,30-0,40
Grava suelta	30-80	
Grava medio densa	80-100	
Grava densa	100-200	

**Tabla 2.6. Propiedades Elásticas Típicas**

Fuente: ALFARO Luis; Geotecnia

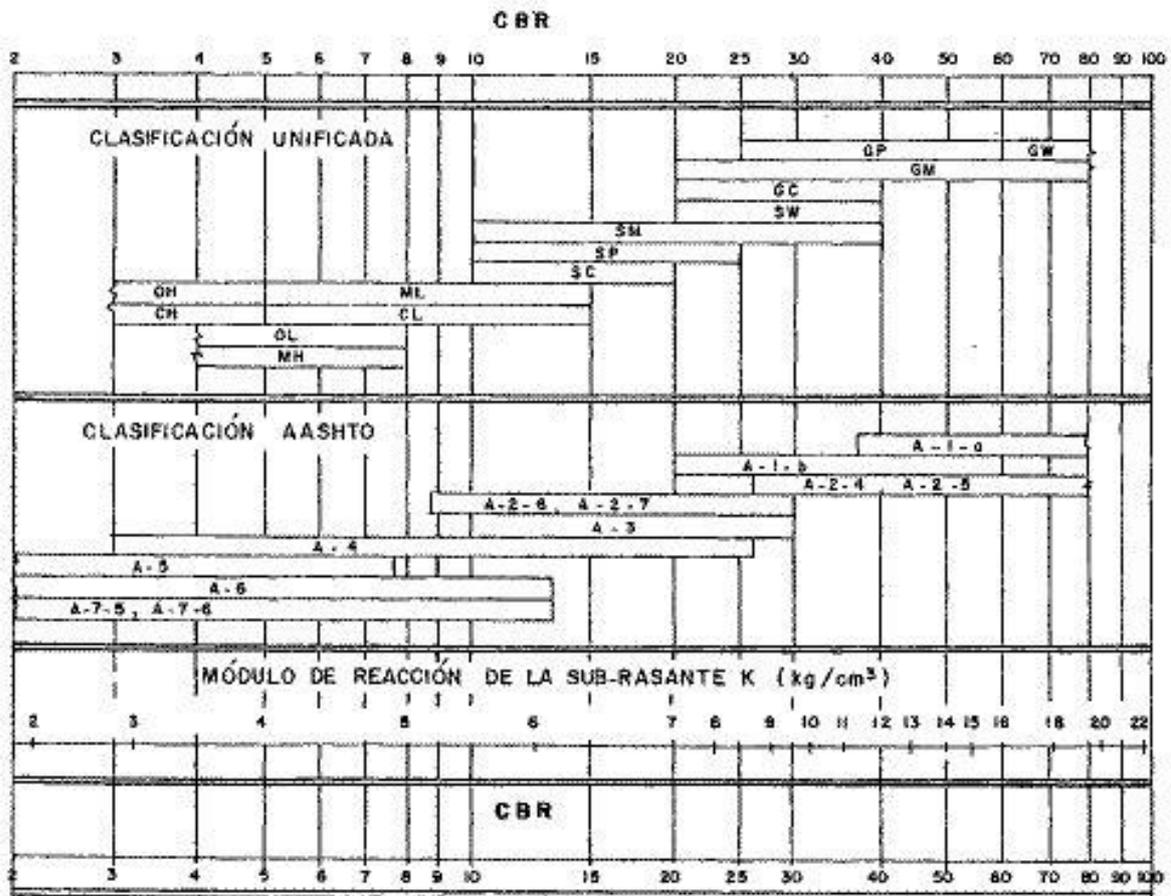


Figura. 2.11. Correlación entre clasificación de suelos y CBR

Fuente: (<http://www.camineros.com/docs/cam060.pdf>)

## 2.5.1.2. MATERIALES DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO

### 2.5.1.2.1. SUB-BASE

Esta capa se colocará sobre el material de la sub-rasante y su espesor dependerá de los resultados que arroje el diseño, La Norma Ecuatoriana Vial clasifica a los materiales en Clase 1, Clase 2 y Clase 3 según su granulometría, los límites de la misma se encuentran descritos en la siguiente tabla:

TAMIZ		SUBBASE CLASE 1		SUBBASE CLASE 2		SUBBASE CLASE 3	
		Min	Max	Min	Max	Min	Max
3''	76,2mm						100
2''	50,4 mm	-	-		100		-
1 1/2''	38,1 mm		100	70	100		-
Nº 4	4,75 mm	30	70	30	70	30	70
Nº 40	0,425 mm	10	35	15	40		-
Nº 200	0,075 mm	0	15	0	20	0	20

**Tabla 2.7. Porcentaje en Peso que pasa por los tamices de malla cuadrada, Sub-Base**

Fuente: (NEVI 12-MTOP, 2013)

### 2.5.1.2.2. BASE<sup>16</sup>

La capa de base se coloca por encima de la capa de sub-base y su espesor dependerá de los resultados de diseño. La Norma Ecuatoriana Vial clasifica a este material en Clase 1 Tipo A, Clase 1 Tipo B, Clase 2, Clase 3, Clase 4; además realiza recomendaciones de la clase de material especificado de acuerdo al TPDA de la carretera y expuesta a continuación:

MATERIAL ESPECIFICADO	TIPO DE CARRETERA	No. CARRILES	TPDA
BASE CLASE 1	Para uso principalmente en aeropuertos y carreteras con intenso nivel de tráfico	8 a 12	>50,000
BASE CLASE 2	Carreteras de 2 hasta 6 carriles con un ancho mínimo por carril de 3,65m. Se incluye franja central desde 2 a 4m.	2 a 6	8,000-50,000
BASE CLASE 3	Vías internas de urbanizaciones con bajo nivel de tráfico	2 a 4	1,000-8,000
BASE CLASE 4	Caminos vecinales	2	<1,000

**Tabla 2.8. Recomendaciones para uso de material de Base**

Fuente: (NEVI 12-MTOP, 2013)

Las características de la clasificación de los materiales se exponen a continuación:

<sup>16</sup> (NEVI 12-MTOP, 2013)

TAMIZ		BASE CLASE 1 TIPO A		BASE CLASE 1 TIPO B		BASE CLASE 2		BASE CLASE 3		BASE CLASE 4	
		Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
2''	50mm		100		100		100		100		100
1 1/2''	37,5mm	70	100	70	100	70	100				
1''	25mm	55	85	60	90	55	85	70	100	60	90
3/4''	19mm	50	80	45	75	47	75	60	90		
3/8''	9,5mm	35	60	30	60	35	65	40	75		
Nº4	4,75mm	25	50	20	50	25	55	30	60	20	50
Nº10	2mm	20	40	10	25	15	45	15	45		
Nº40	0,425mm	10	25	2	12	5	25	10	30		
Nº200	0,075mm	2	12			0	10	0	15	0	15

**Tabla 2.9. Porcentaje en Peso que pasa por los tamices de malla cuadrada, Base**

Fuente: (NEVI 12-MTOP, 2013)

### 2.5.1.3. ESTUDIO DEL TRÁFICO

La estructura de los pavimentos se encuentra en función del número y características de los vehículos pesados que se prevea vayan a circular por este al final del período de diseño.

#### 2.5.1.3.1. TIPOS DE VEHÍCULOS

Debe considerarse las características de operación de los vehículos de acuerdo a su tamaño y peso de los mismos, en función de estos parámetros se los ha clasificado en los siguientes:

Vehículos Livianos (A).- Motocicletas y automóviles,

Buses y Busetas (B).- Para transporte de pasajeros en forma masiva,

Camiones (C).- Transporte de Carga,

Remolques (R).- Con uno o dos ejes verticales de giro y una unidad completamente remolcada.

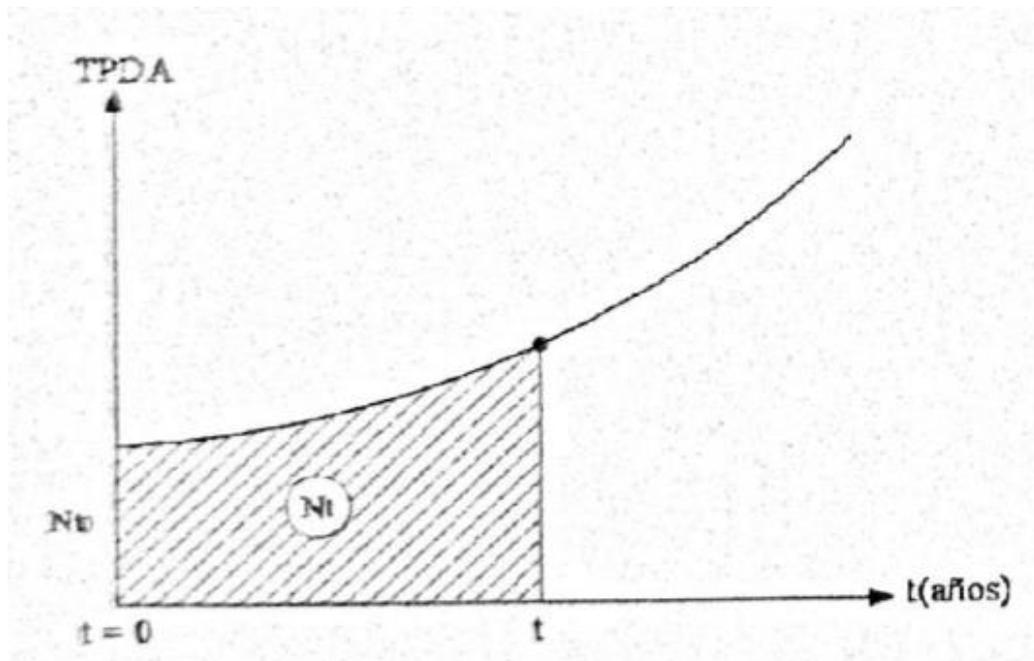
Se tiene a continuación una tabla de las características por tipos de vehículos como lo expone la NEVI-12 en su volumen 2A:

VEHÍCULO DE DISEÑO	A	B	C	R
Altura máxima (m)	2,40	4,10	4,10	4,30
Longitud máxima (m)	5,80	13,00	20,00	> 20,50
Anchura máxima (m)	2,10	2,60	2,60	3,00
Radios mínimos de giro(m)				
Rueda interna	4,70	8,70	10,00	12,00
Rueda externa	7,50	12,80	16,00	20,00
Esquina externa delantera	7,90	13,40	16,00	20,00

**Tabla 2.10. Tipos de Vehículos**

Fuente: (NEVI 12-MTOP, 2013)

Para la determinación del TPDA se realizará estudios de tráfico considerando aforos e intensidades de cargas por eje, ahora bien se necesita adicionalmente la determinación de un número de ejes equivalentes inicial y final, para encontrar estos parámetros se utiliza un diagrama con el estudio de tráfico, es decir desde un diagrama donde en el eje de las abscisas representa el tiempo y el eje de las ordenadas representa el Trafico Promedio Diario Anual, se determina que el área bajo la gráfica involucra directamente el número de ejes equivalentes al final del período de diseño, entonces:



**Figura. 2.12. TPDA vs t (años)**

Fuente: (NEVI 12-MTOP, 2013)

$$\text{Si } N_{to} = 365 \times FEx \times TPDAo$$

**Ec. 2.9.- Número de ejes equivalente inicial (MOP-NEVI-12; 2B.102.3.1)**

Dónde:

FE: Factor de equivalencia de carga,

TPDAo: Trafico promedio diario anual inicial,

Nto: Número de ejes equivalentes inicial.

Si se estima un crecimiento exponencial de la curva de estudio de tráfico se tiene:

$$N_t = N_{to} \left[ \frac{(1+r)^x - 1}{\ln(1+r)} \right]^t_0$$

**Ec. 2.10.- Número de ejes equivalente final**

Dónde:

Nt: Número de ejes equivalentes al final del período de diseño,

r: Tasa de crecimiento vehicular general o por tipo de vehículo,<sup>17</sup>

t: Período de diseño,

Ecuación para el cálculo del Nt, Número de ejes equivalentes al final del período de diseño. Ecuación tomada de la NEVI -12 ítem 2B.102.3.1.

Se necesita adicionalmente establecer el número de vehículos que se considera actuando en cada carril, para el efecto la NEVI-12 establece la siguiente tabla:

Número de carriles	Porcentaje de vehículos pesados en el carril de diseño
2	50
4	45
6 o mas	40

**Tabla 2.11. Repartición del tránsito**

Fuente: (NEVI 12-MTOP, 2013)

<sup>17</sup> (NEVI 12-MTOP, 2013)

Además, para el diseño se debe involucrar a un número de ejes equivalentes de 12T o 120KN que utilizarán el carril del proyecto, para el cálculo del número de ejes equivalentes se utiliza las siguientes ecuaciones:

$$n = \left(\frac{P}{12}\right)^4$$

**Ec.2.11.- Número de ejes equivalentes de 12 T**

$$n = \left(\frac{P}{120}\right)^4$$

**Ec. 2.12.- Número de ejes equivalentes de 120 KN**

Dónde:

n: Número de ejes de 12 T equivalentes a un eje de peso P,

Cada eje tándem de peso P se considera como equivalente a 1.4 ejes simples de peso P/2 y los tridem a 1.8 veces el peso P/2.

La NEVI-12 establece una tabla para la relación de equivalencias del número de ejes equivalentes de 12 T o 120 KN correspondientes a un eje simple, expuesta a continuación:

Carga por eje P(t) P'(KN)		Ejes simples de 12t (120kN)	Tándem 17t (170kN)	Tridem 22t (220kN)
1	10	0,000048	0,000120	0,000004
2	20	0,000772	0,000192	0,000068
3	30	0,003906	0,000970	0,000346
4	40	0,012346	0,003065	0,001093
5	50	0,030141	0,007483	0,002668
6	60	0,062500	0,015517	0,005532
7	70	0,115789	0,028747	0,010249
8	80	0,197531	0,049042	0,017485
9	90	0,316406	0,078555	0,028008
10	100	0,482253	0,119730	0,042688
11	110	0,706067	0,175297	0,062500
12	120	1,000000	0,248273	0,088519
13	130	1,377363	0,341962	0,121922
14	140	1,852623	0,459956	0,163992
15	150	2,441406	0,606135	0,216110
16	160	3,160494	0,784665	0,279762
17	170	4,027826	0,000000	0,356537
18	180	5,062500	1,256882	0,448125
19	190	6,284770	1,560338	0,556319
20	200	7,716049	1,915686	0,683013
21	210	-	2,328528	0,830207
22	220	-	2,804756	1,000000
23	230	-	-	1,194595
24	240	-	-	1,416297
25	250	-	-	1,667513

**Tabla 2.12. Relación de ejes equivalentes (NEVI-12)**

Fuente: (NEVI 12-MTOP, 2013)

### 2.5.1.3.2. CATEGORÍAS DE TRÁFICO

Es necesario categorizar el tráfico que va a circular por una carretera, se lo ha clasificado en función del número de vehículos pesados de circulación al final del

período de diseño y al número de ejes equivalentes de 12t en el carril y período de proyecto, como sigue: <sup>18</sup>

<b>Categorías de Tráfico</b>			
<b>Categorías de Tráfico</b>	<b>Designación</b>	<b>Np</b>	<b>Número acumulado de ejes equivalentes de 12t (120kN) en el carril y periodo de proyecto</b>
T0	Muy pesado	>4000	>10 <sup>7</sup>
T1	Pesado	2000-4000	4.10 <sup>6</sup> -10 <sup>7</sup>
T2	Medio Alto	800-2000	8.10 <sup>5</sup> -4.10 <sup>6</sup>
T3	Medio Bajo	200-800	8.10 <sup>4</sup> -8.10 <sup>5</sup>
T4	Ligero	100-200	10 <sup>4</sup> -8.10 <sup>4</sup>

**Tabla 2.13. Categorías de tráfico**

Fuente: (NEVI 12-MTOP, 2013)

Dónde:

Np: Número de vehículos pesados al final del periodo de diseño.

### **2.5.1.3.3. RUEDA SIMPLE EQUIVALENTE**

La norma ecuatoriana vial establece que: “En el caso de utilizar métodos de diseño mecanisistas, se define como rueda simple equivalente de un grupo de dos o más ruedas relativamente próximas, a una rueda simple aislada que con la misma presión de los neumáticos de las ruedas del grupo determina en los pavimentos tensiones equivalentes a las determinadas por el grupo”.

### **2.5.1.3.4. CONTEO DE VEHÍCULOS Y VALORIZACIÓN DEL TRÁFICO**

Existen dos métodos de conteo de vehículos, un directo y un automático.

El método directo o también conocido como método manual se lo realiza ubicando estaciones de conteo en puntos terminales principales y secundarios a través de brigadas de campo. Los lapsos de conteo deben ser de 24 horas, 4 días a la semana (incluyendo sábados, domingos y feriados), 1 semana; con estos datos se calculan promedios y se determina: TPDA, TH (tráfico horario).

<sup>18</sup> (NEVI 12-MTOP, 2013)

El método automático de conteo puede ser de los siguientes tipos: neumático, hidráulico, magnético, radar, fotoeléctrico; sin embargo se debe hacer la verificación manual para establecer la composición del tráfico y flujo vehicular.

Si no existe carretera donde realizar el conteo del tráfico se establece una valorización del mismo, para ello deberán seguirse los siguientes pasos:

- Se limita la zona de influencia del camino propuesto,
- Clasifican los sectores según su producción,
- Se investiga el rendimiento anual por cada hectárea de cultivo,
- Se calcula la carga anual,
- Escoge el vehículo tipo para el transporte de esa carga, en función de las áreas de producción,
- Cálculo de número de viajes necesarios,
- Tipo de camino vecinal

#### **2.5.1.4. DRENAJES**

El objetivo de drenar la capa de rodadura es mantener las pistas de tránsito libres de inundación para la probabilidad de la precipitación de diseño.

Drenar la superficie de un pavimento es indispensable para que su vida útil sea la de diseño, para el efecto debe calcularse el caudal a drenar por la superficie del pavimento y encauzar el flujo en canales laterales.

Los métodos de cálculo del caudal constan en la NEVI-12 Volumen 2, ítem 2B.200 así como también en la norma CPE-INEN P9-1 Capítulo VIII, siendo de los más comunes el método racional cuya ecuación base es  $Q = C * I * A$ .

La pendiente de bombeo recomendada por la CPE-INEN P9-1 es de 3% pero no puede ser menor de 1%, entendiéndose como pendiente de bombeo a la pendiente transversal de la capa de rodadura para llevar el flujo hasta un canal lateral.

La AASHTO recomienda los siguientes valores de coeficientes de capas de base y sub-base granulares:

CALIDAD DE DRENAJE	% de tiempo de exposición de la estructura del pavimento a nivel de humedad próximos a la saturación			
	<1%	1-5%	5-25%	>25%
Excelente	1,40-1,35	1,35-1,30	1,30-1,20	1,2
Bueno	1,35-1,25	1,25-1,15	1,15-1,00	1
Aceptable	1,25-1,15	1,15-1,05	1,00-0,80	0,8
Pobre	1,15-1,05	1,05-0,80	0,80-0,60	0,6
Muy pobre	1,05-0,95	0,95-0,75	0,75-0,40	0,4

**Tabla 2.14. Coeficientes de drenajes de la superficie drenada, AASHTO**

Fuente: (NEVI 12-MTOP, 2013)

#### 2.5.1.5. PERÍODO DE DISEÑO

El período de diseño es aquel para el cual el pavimento debe tener utilidad de funcionamiento con un índice de serviciabilidad establecido previamente, este período de diseño se recomienda de 10 a 20 años; dependerá del tipo y orden de la carretera.

#### 2.5.1.6. CAPA DE RODADURA

Riego de Imprimación.- Es un ligante hidrocarburado sobre una capa granular, previa a la colocación sobre esta de una capa o de un tratamiento bituminoso<sup>19</sup>. Los materiales constitutivos de esta capa se describen en el ítem 405-1.02 del volumen 3 de la NEVI-12.

Riego de Adherencia.- Es la aplicación de una emulsión bituminosa sobre una capa tratada con ligantes hidrocarbурados, previa a la colocación sobre ésta de cualquier tipo de capa bituminosa que no sea tratamiento superficial con gravilla, o lechada bituminosa<sup>20</sup>. Los materiales del riego de adherencia deben cumplir con lo dispuesto en el ítem 405-2.02 del volumen 3 de la Norma Ecuatoriana Vial.

<sup>19</sup> (NEVI 12-MTOP, 2013)

<sup>20</sup> (NEVI 12-MTOP, 2013)

Tratamiento Bituminoso Superficial.- Consiste en la construcción de una o más capas de agregados embebidos en material bituminoso, sobre una base previamente imprimada o sobre una capa de rodadura existente<sup>21</sup>. Los materiales deben cumplir con lo expuesto en 405-3.02 del volumen 3 de la NEVI-12.

Capa de Rodadura de Hormigón Asfáltico Mezclado en Sitio.- Es la construcción de capas de rodadura de hormigón asfáltico mezclado en sitio y colocado sobre una base debidamente preparada o un pavimento existente. Los materiales de esta capa deben cumplir lo descrito en 405-4.02 del Volumen 3 de la NEVI-12.

Capa de Rodadura de Hormigón Asfáltico en Caliente.- Consiste en la colocación de una capa asfáltica bituminosa fabricada en caliente y construida sobre una superficie debidamente preparada e imprimada, las mezclas pueden ser de dos tipos: Mezcla Asfáltica Normal (MAC) y Mezcla Superpave Nivel 1; en cualquier caso los materiales deben cumplir lo especificado en el ítem 405-5.02 del volumen 3 de la NEVI-12.

Capa Bituminosa de Sellado.- Es la aplicación de una capa de material bituminoso solo o con la distribución de agregados de recubrimientos. Esta capa de sellado se efectuará con el objetivo de corregir pequeñas fisuras de la superficie, impermeabilizar la capa de rodadura y darle una rigurosidad conveniente para evitar deslizamiento de vehículos. Los materiales deben cumplir con lo establecido en 405-6.02 del Volumen 3 de la NEVI-12.

EL Volumen 2B de la NEVI-12 recomienda el espesor mínimo de capas de mezcla bituminosa en caliente en la siguiente tabla:

---

<sup>21</sup> (MOP, 2002)

TIPO DE CAPA	TIPO DE MEZCLA	CATEGORIA DE TRAFICO PESADO		
		T0 a T1	T2 a T3	T4
Rodadura	PA	4		
	M	3	2-3	
	F			
	D Y S		6-5	5
Intermedia	D Y S	5-10		
Base	S Y G	7-15		
	MAM	7-13		

Tabla 2.15. Espesor mínimo de capas de mezcla bituminosa en caliente

Fuente: (NEVI 12-MTOP, 2013)

Dónde:

PA: Mezcla bituminosa drenante,

M: Mezcla bituminosa discontinua, para categorías de tráfico T0 y T1,

F: Mezcla Bituminosa discontinua,

D: Mezcla bituminosa densa, para tráfico T4,

S: Mezcla bituminosa semidensa,

G: Mezcla Bituminosa discontinua,

MAM: Mezcla bituminosa de alto módulo.

## 2.5.2 ECUACIONES UTILIZADAS

Una vez que se ha revisado los factores que deben intervenir en el diseño de pavimentos flexibles, se realizará un análisis de las ecuaciones que se utilizan para el cálculo de los espesores de las capas de los elementos constitutivos del mismo.

Además de las ecuaciones: 2.5, 2.6, 2.7, 2.8, 2.11, 2.12 descritas en el ítem anterior, cabe exponer las siguientes ecuaciones para el diseño:

### 2.5.2.1. ECUACIÓN DE COMPORTAMIENTO

$$\log w_{18} = Z_R S_O + 9.36 \log(SN + 1) - 0.20 + \frac{\frac{\log \Delta PSI}{4.2-1.5}}{0.40 + \frac{1094}{(SN+1)^{2.19}}} + 2.312 \log M_R - 8.07$$

#### Ec. 2.13.- Ecuación de Comportamiento, Pavimentos Flexibles

Dónde:

W18: Número estimado de ejes simples,

ZR: Desviación estándar normal o confiabilidad,

So: Error estándar combinado de la predicción del tránsito y del Comportamiento,

ΔPSI: Diferencia entre el índice de servicio inicial y el final,

MR: Módulo resiliente,

SN: Número estructural.

Además:

### 2.5.2.2. NÚMERO ESTRUCTURAL

$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3 + a_4 D_4 m_4$$

#### Ec. 2.14.- Número Estructural, Pavimentos Flexibles

Dónde:

SN: Número estructural abstracto que representa la resistencia necesaria del pavimento total,

a1, a2, a3,...: Coeficientes estructurales de la resistencia del material utilizado en cada capa,

D1, D2, D3,...: Espesor de cada capa: de rodadura, de base, etc.

m2, m3, m4,...: Coeficiente de drenaje de la capa.

El método de solución y obtención de resultados de espesores de capas del pavimento es iterativo, incluyendo ábacos, y ecuaciones; los ábacos se exponen en la figura 2.12 y las ecuaciones de las iteraciones se exponen en las siguientes:

$$D1^* > \frac{SN1}{a1}$$

**Ec. 2.15.- D1, Pavimentos Flexibles**

$$SN1^* = a1D1^* > SN1$$

**Ec. 2.16.- SN1, Pavimentos Flexibles**

$$D2^* > \frac{SN2 - SN1^*}{a2 m2}$$

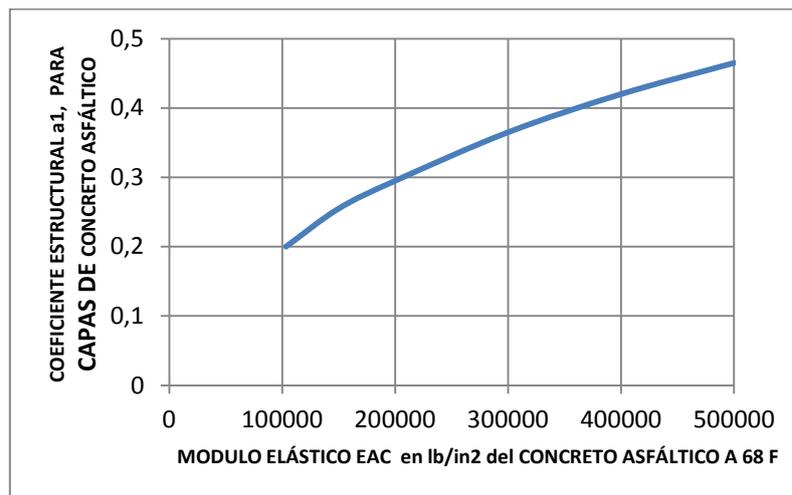
**Ec. 2.17.- D2, Pavimentos Flexibles**

$$SN1^* + SN2^* > SN2$$

**Ec. 2.18.- SN1, SN2, Pavimentos Flexibles**

$$D3^* > \frac{SN3 - (SN1^* + SN2^*)}{a3 m3}$$

**Ec. 2.19.- D3, Pavimentos Flexibles**



**Figura. 2.13. Ábaco para coeficiente estructural a1, AASHTO 93**

Fuente: (AVILA, 2001)<sup>22</sup>

<sup>22</sup> (AVILA, 2001)

En la figura 2.13 se expone el ábaco para la obtención del coeficiente estructural de acuerdo a la ecuación 2.13.

Las formas para la obtención de la Confiabilidad, Desviación estándar, Coeficiente de drenaje se encuentran detalladas en las tablas 2.15a, 2.15b, 2.15c; además, se muestra una tabla donde constan coeficientes estructurales típicos, todo lo anterior es extraído del método de diseño de pavimentos flexibles de la AASHTO (93).

<b>CONFIABILIDAD Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR</b>											
<b>Confiabilidad, R (%)</b>	50	60	75	75	80	85	90	95	97	99	99,99
<b>Desv. Est. Norma, Zr</b>	0	0,25	0,52	0,67	0,84	-1,037	-1,282	-1,645	-1,881	-2,237	-3,75

**Tabla 2.15a. Confiabilidad y Desviación Estándar**

Fuente: (AASHTO 93, 1993)

<b>COEFICIENTES DE CAPAS TÍPICAS</b>	
<b>Material</b>	<b>ai</b>
Curso de superficie de asfaltos	0,40 a 0,44
Curso de base de asfaltos	0,30 a 0,40
graduado Denso Agg. Base	0,12 a 0,14
Subbase Granular	0,08 a 0,12
Base de cemento tratada	0,12 a 0,28
Cal tratada del suelo	0,07 a 0,20

**Tabla 2.15b. Coeficientes de Capas Típicas**

Fuente: (AASHTO 93, 1993)

<b>COEFICIENTES DE DRENAJE, mi</b>				
<b>CALIDAD DEL DRENAJE</b>	<b>% del tiempo en que el pavimento esta cerca a la saturación</b>			
	<b>&lt; 1%</b>	<b>1-5 %</b>	<b>5-25 %</b>	<b>&gt; 25 %</b>
Excelente	1,40-1,35	1,35-1,30	1,30-1,20	1,20
Bueno	1,35-1,25	1,25-1,15	1,15-1,00	1,00
Justo	1,25-1,15	1,15-1,05	1,00-0,80	0,80
Pobre	1,15-1,05	1,05-0,80	0,80-0,60	0,60
Muy Pobre	1,05-0,95	0,95-0,75	0,75-0,40	0,40

**Tabla 2.15c. Coeficientes de Capas Típicas**

Fuente: (AASHTO 93, 1993)

## **2.6. DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS**

El diseño de Pavimentos Rígidos según lo recomendado en la NEVI 12 en el ítem 2b.102.4<sup>23</sup> es el método AASHTO-98 o el de la PCA; para exponer el procedimiento de una forma explícita, simple y de fácil aplicación se ha dividido la información en: los factores que intervienen en el diseño para establecer los parámetros que afectan en el diseño y su vida útil; un resumen de ecuaciones que permitirá facilitar el entendimiento de diseño y finalmente un flujo-grama para resumir de forma sintética y adecuada el diseño de este tipo de pavimentos.

### **2.6.1. FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL DISEÑO**

Dentro de los factores que intervienen en el diseño de pavimentos se puede enumerar los siguientes:

#### **2.6.1.1. CAPACIDAD DE LA SUB-RASANTE**

Debido a que la losa de concreto que conforma el pavimento rígido esta sobre la sub-rasante es necesario cuantificar su capacidad, la misma que puede hacerse mediante el ensayo CBR, el Ensayo de Carga con Placa, el Penetrómetro Dinámico de Cono, el Modulo de resiliencia, entre otros. La metodología de obtención de la capacidad de la sub-rasante mediante los ensayos antes expuestos se detalla en el ítem 2.5.1.1 de este documento.

#### **2.6.1.2. TRÁFICO PROMEDIO DIARIO ANUAL (TPDA)**

Dado que la finalidad de los pavimentos es soportar cargas principalmente de tráfico, es imperiosa la necesidad de cuantificar dicha solicitud; este factor de diseño se lo cuantifica de forma indiferente al tipo de pavimento a diseñarse.

#### **2.6.1.3. MATERIAL DE LA SUB-RASANTE**

Los materiales de la sub-rasante son indiferentes del tipo de pavimento a construirse, la Norma Ecuatoriana Vial establece parámetros detallados de cómo debe elaborarse y construirse la mencionada sub-rasante; en el ítem 2.5.1.2 de este documento se detalla la forma y las opciones que la NEVI-12 plantea como solución.

---

<sup>23</sup> (NEVI 12-MTOP, 2013)

#### 2.6.1.4. DRENAJES Y PERÍODO DE DISEÑO

Se establecen condiciones homogéneas de la influencia de estos parámetros en el diseño de los pavimentos.

#### 2.6.1.5 MATERIAL DE LA CAPA DE RODADURA

La capa de rodadura de pavimento rígido está conformada por la mezcla homogénea de cemento, agua, agregados finos gruesos y aditivos, cuando estos últimos se requieran<sup>24</sup>. Los materiales deberán cumplir con los requisitos básicos que se indican en la NEVI-12 ítem 405-8.02, la misma que expone la siguiente tabla para granulometría de agregado grueso:

Tamiz	Porcentaje que pasa	
	CH-1	CH-2
63,5 mm (2 1/2)	100	
50 mm (2)	95-100	100
37,5 mm (1 1/2)		95-100
25 mm (1)	35-70	
19 mm (3/4)		35-70
12,5 mm (1/2)	10_30	
9,5 mm (3/8)		10_30
4,75 mm (2)	0,5	0,5

**Tabla 2.16. Tamaño Nominal Máximo del Agregado Grueso**

Fuente: (NEVI 12-MTOP, 2013)

“La curva granulométrica obtenida al mezclar los agregados grueso y fino en el diseño y construcción del hormigón, deberá ser continua y asemejarse a las teóricas”, lo expone la NEVI-12.<sup>25</sup>

#### 2.6.1.6 TRANSFERENCIA DE CARGA

Es la capacidad de una losa de transferir la carga a su adyacente, esto se logra a través de la trabazón de agregados, pasadores y varillas de unión<sup>26</sup>; esto lo describe además la NEVI-12 en su Volumen 3 ítem 405-8.02 literal c); el diseño del refuerzo se lo realiza conforme lo describe el Volumen 2B ítem 2B.102.9 de la NEVI-12.

<sup>24</sup> (NEVI 12-MTOP, 2013)

<sup>25</sup> (NEVI 12-MTOP, 2013)

<sup>26</sup> (NEVI 12-MTOP, 2013)

### 2.6.1.7 SERVICIABILIDAD

Es la habilidad de un pavimento de servir al tipo de tráfico que circula en la vía, se mide en una escala de 1 a 5 en donde 0 significa un pavimento intransitable y 5 un pavimento excelente.

La serviciabilidad inicial es la condición que tiene un pavimento inmediatamente después de la construcción, los valores que recomienda la AASHTO son<sup>27</sup>:

Pavimento de concreto: 4.5

Pavimento de asfalto: 4.2

### 2.6.2. ECUACIONES UTILIZADAS

Una vez que se ha revisado los factores que deben intervenir en el diseño de pavimentos rígidos, se realizará un análisis de las ecuaciones que se utilizan para el cálculo de los espesores de las capas de los elementos constitutivos del mismo.

#### 2.6.2.1. ECUACIÓN DE COMPORTAMIENTO

$$\log E_{18} = Z_R S_o + 7.35 \log(D + 1) - 0.06 + \frac{\frac{\log \Delta PSI}{4.2 - 1.5}}{1.00 + \frac{1.624 \times 10^{0.7}}{(D+1)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32pt) \times \log \left[ \frac{S_c \times C \times D \times (D^{0.70} - 1.132)}{215.63 J \left[ D^{0.70} - \frac{18.42}{(Ec/k)^{0.25}} \right]} \right]$$

#### Ec. 2.20.- Ecuación de Comportamiento, Pavimentos Rígidos

Dónde:

E18: Número estimado de ejes simples,

ZR: Desviación estándar normal o confiabilidad,

So: Error estándar combinado de la predicción del tránsito y del

Comportamiento,

ΔPSI: Diferencia entre el índice de servicio inicial y el final,

D: Espesor,

---

<sup>27</sup> (AASHTO 93, 1993)

pt: Serviciabilidad final,

S´c: Módulo de rotura,

Cd: Coeficiente de drenaje,

J: Coeficiente de transferencia de carga,

Ec: Módulo de transferencia,

K: Módulo de reacción.

## **2.7. DISEÑO DE PAVIMENTOS ARTICULADOS**

El diseño de Pavimentos Articulados no está normado en la Norma Ecuatoriana de la Construcción, por tanto el diseño seguirá el procedimiento que expone la AASHTO-93 y como lo recomienda el “Manual para la Revisión de Diseños de Pavimentos”. Para exponer el procedimiento de una forma explícita, simple y de fácil aplicación se ha dividido la información en: los factores que intervienen en el diseño para establecer los parámetros que afectan en el diseño y su vida útil; un resumen de ecuaciones que permitirá facilitar el entendimiento de diseño y finalmente un flujo-grama para resumir de forma sintética y adecuada el diseño de este tipo de pavimentos.

### **2.7.1 FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL DISEÑO**

Los factores que intervienen en el diseño de los pavimentos articulados o adoquinados son los mismos que en el diseño de pavimentos flexibles y que se enumeran a continuación:

- a.- Capacidad de la Sub-rasante
- b.- Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA)
- c.- Material de la Sub-Rasante
- d.- Materiales del Pavimento
  - d.1.- Sub-Base

e.- Drenajes

f.- Período de Diseño

g.- Serviciabilidad

Las referencias técnicas de las normativas de estos literales constan en el ítem 2.5.1 de este documento.

Además se puede citar otros factores como:

### h.- Aparejo

El aparejo se refiere a la forma geométrica de disposición de los bloques de adoquines en el pavimento articulado, clasificándose de la siguiente forma:

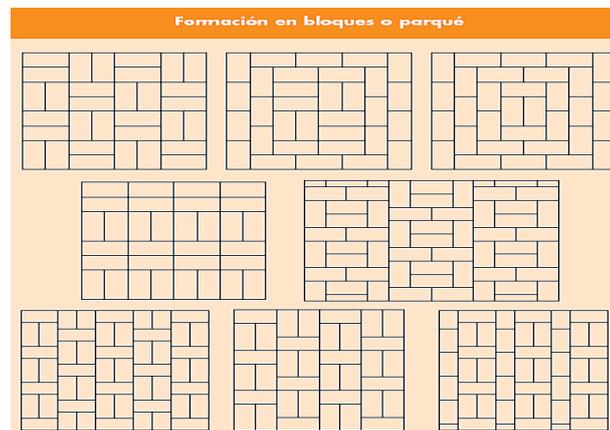


Figura. 2.14. Aparejos, formación en bloques

Fuente (REYES, 2011)

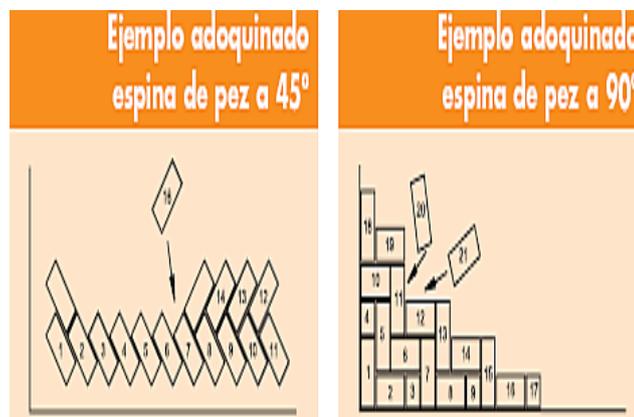


Figura. 2.15. Aparejos, formación espina de pez

Fuente: (REYES, 2011)<sup>28</sup>

<sup>28</sup> (REYES, 2011)

## 2.7.2 ECUACIONES UTILIZADAS

De acuerdo al método que propone la AASTHO se puede diseñar con las mismas ecuaciones del pavimento flexible, así:

$$\log w_{18} = Z_R S_O + 9.36 \log(SN + 1) - 0.20 + \frac{\frac{\log \Delta PSI}{4.2-1.5}}{0.40 + \frac{1094}{(SN+1)^{2.19}}} + 2.312 \log M_R - 8.07$$

### Ec. 2.21.- Ecuación de Comportamiento, Pavimentos Flexibles-Articulados

Dónde:

W18: Número estimado de ejes simples,

ZR: Desviación estándar normal o confiabilidad,

So: Error estándar combinado de la predicción del tránsito y del Comportamiento,

ΔPSI: Diferencia entre el índice de servicio inicial y el final,

MR: Módulo resiliente,

SN: Número estructural.

Además:

$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2$$

### Ec. 2.22.- Número Estructural, Pavimentos Articulado

Dónde:

SN: Número estructural abstracto que representa la resistencia necesaria del pavimento total,

a1, a2: Coeficientes estructurales de la resistencia del material utilizado en cada capa,

D1, D2: Espesor de cada capa: de rodadura, de base, etc.

m2: Coeficiente de drenaje de la capa.

De esta última se obtiene el espesor de la sub-base, conocida la resistencia de la sub-rasante y de los adoquines; el procedimiento se expone en el flujo-grama del ítem 3.3.3 de este documento.

## **2.8. EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS EXISTENTES**

Un aspecto de importancia en el estudio integral de las estructuras de los pavimentos es la evaluación de los mismos; con el objeto de determinar y cuantificar la funcionalidad del pavimento después de un cierto tiempo generalmente aproximado al período de diseño. Para el estudio de la evaluación de los pavimentos se sub-dividirá en generalidades, daños y métodos de evaluación de pavimentos.

### **2.8.1. APECTOS GENERALES**

#### **a.- Serviciabilidad**

Serviciabilidad es la percepción que tienen los usuarios del nivel de servicio del pavimento, por lo que la opinión de ellos es la que debe ser medida para calificar la mencionada magnitud.

Para la medida de esta serviciabilidad la AASTHO ha categorizado en una escala que varía del 0 al 5, misma que ha sido adoptada por todas las versiones de la AASHTO presentando las características expuestas a continuación.

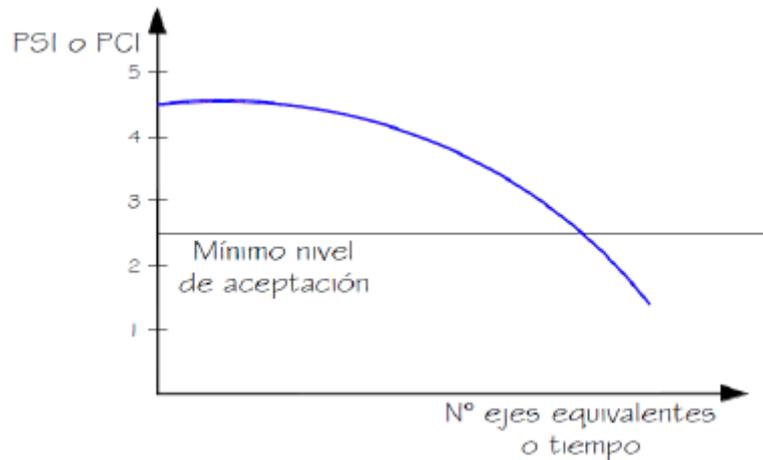
CALIFICACIÓN		DESCRIPCIÓN
NUMÉRICA	VERBAL	
5,0 - 4,0	MUY BUENA	Solo los pavimentos nuevos (o casi nuevos) son los suficientemente suaves y sin deterioro para calificar en sus categorías. La mayor parte de los pavimentos construidos o re-carpeteados durante el año de inspección normalmente se clasifican como muy buenos.
4,0 - 3,0	BUENA	Los pavimentos de esta categoría, si bien no son tan suaves como los "Muy Buenos", entregan un manejo de primera clase y muestran muy poco o ningún signo de deterioro superficial. Los pavimentos flexibles pueden estar comenzando a mostrar signos de ahuellamiento y figuración aleatoria. Los pavimentos rígidos pueden estar empezando a mostrar evidencias de un nivel de deterioro superficial, como desconches y fisuras menores.
3,0 - 2,0	REGULAR	En esta categoría la calidad de manejo es notablemente inferior a la de los pavimentos nuevos y puede presentar problemas para altas velocidades de tránsito. Los defectos superficiales en los pavimentos flexibles pueden incluir ahuellamientos, parches y agrietamiento. Los pavimentos rígidos en este grupo pueden presentar fallas en las juntas, agrietamientos, escalonamiento y pumping.
2,0 - 1,0	MALA	Los pavimentos en esta categoría se han deteriorado hasta un punto donde puedan afectar la velocidad del tránsito de flujo libre. Los pavimentos flexibles pueden tener grandes baches y grietas profundas; el deterioro incluye pérdida de áridos, agrietamiento y ahuellamientos; y ocurre en un 50% o más de la superficie. El deterioro en pavimentos incluye descoche de juntas escalonamiento, parches, agrietamientos y bombeo.
1,0 - 0	MUY MALA	Los pavimentos en esta categoría se encuentran en una situación de extremo deterioro. Los caminos se pueden pasar a velocidades reducidas y con considerables problemas de manejo. Existen grandes baches y grietas profundas. El deterioro ocurre en un 75% o más de la superficie.

**Tabla 2.17. Escala de Calificación de Serviabilidad**

Fuente: (REYES, 2011)

## b.- Comportamiento de los Pavimentos

Para entender de mejor manera el desarrollo en la vida útil de los pavimentos se presenta una gráfica que representa en el eje de las abscisas el número de ejes equivalentes o el tiempo de servicio y en el eje de las ordenadas la serviciabilidad.



**Figura. 2.16. Comportamiento de los Pavimentos**

Fuente: (HIGUERA, 2004)

Puede notarse claramente que el índice de serviciabilidad del pavimento decrece en una forma aproximadamente de una parábola de segundo grado, además se ve un límite en 2.5, esto indica que cuando llega a este límite es necesario un mantenimiento correctivo del pavimento.

### 2.8.2. DAÑOS EN LOS PAVIMENTOS

Cuando se ve comprometida la seguridad, comodidad y velocidad con la que debe circular el tránsito vehicular presente y futuro pueden estar presentes las siguientes causas de daño:

- Elevado incremento de las cargas y frecuencias con respecto a las del diseño inicial,
- Diseños deficientes, el método empleado para el diseño es inadecuado o la incorrecta valoración de parámetros que intervienen en el diseño,
- Deficiente mantenimiento,

- Factores climáticos muy severos.

### **a.- Clasificación de los Daños**

Los daños del pavimento son producidos por el tránsito, el intemperismo, materiales y métodos constructivos que afectan las características funcionales o estructurales del mismo.

Se pueden realizar diferentes clasificaciones respecto a los daños según el parámetro u objetivo elegido, como sigue:

- Daños funcionales o estructurales.- los primeros son los que afectan a la comodidad y percepción del usuario y los segundos deterioran la capacidad integral del pavimento;
- Según su origen; generados por repetición de cargas vehiculares o factores ambientales, diseño, etc.
- Según la geometría del área deteriorada; fisuras o grietas y en deformaciones.
- Según la capa en la cual se localizan los daños se tiene: daños superficiales, interface granular-capas cementada, capas granulares o sub-rasante.

Los daños en los pavimentos se identifican por la apariencia del área deteriorada, buscando que el término usado genere una imagen fácilmente identificable. Una buena guía de cuantificación de daños debe contener el estado del pavimento en función del tipo, severidad y magnitud en forma objetiva y no solo descriptiva; en la mayoría de los catálogos de daños las áreas deterioradas se agrupan en clases de acuerdo al tipo de pavimento, como sigue:

- Flexibles: grietas, fisuras, deformaciones, huecos, parches y deficiencias de su textura superficial,
- Rígidos: Agrietamientos, desniveles, daños de juntas y deficiencias en textura superficial.

Para realizar una evaluación adecuada de pavimentos se debe establecer la extensión y severidad de los daños existentes y a partir de esto elegir estrategias que permitan la solución de los problemas diagnosticados.

## **b.- Soluciones Frecuentes**

Los daños pueden categorizarse con el fin de establecer una prioridad de reparación, esto se lo realiza mediante la siguiente información:

- Prioridad de Reparación; huecos, desprendimiento, piel de cocodrilo, grietas parabólicas, grietas en bloque, grietas de borde, grietas de reflexión de juntas, grietas transversales, grietas longitudinales, desnivel carril-berma, parche, depresión, ondulación, desplazamiento, ahuellamiento, exudación y pulimiento de agregados.

- Condición Estructural del Pavimento; Piel de cocodrilo, ahuellamiento, huecos, parches, grietas en bloque, grietas longitudinales y otros.

A continuación se presenta una tabla que sintetiza las causas y soluciones más comunes en los daños frecuentes en los pavimentos. Cabe mencionar que la tabla 4.12 es una guía de solución y que para los casos de problemas debe realizarse un análisis de situación integral para determinar las mejores soluciones.

CLASE DE DAÑO	CAUSAS POSIBLES	ALTERNATIVAS DE REPARACIÓN
DESPRENDIMIENTOS	Bajo contenido de asfalto, excesivos de aire en la mezcla, endurecimiento del asfalto, susceptibilidad del agua, características de los agregados, dureza y durabilidad de los agregados	Emulsión diluida o sello rejuvenecedor, riego de sello con agregados, lechada asfáltica, sobre-carpeta delgada
EXUDACIÓN	Alto contenido de asfalto, densificación excesiva de la mezcla por el tránsito, bajo contenido de vacíos de aire en la mezcla, susceptibilidad térmica del asfalto, aplicación en exceso de "sello negro" o rejuvenecimiento, susceptibilidad al agua de las capas subyacentes estabilizadas con asfalto, unida a la migración de asfalto a la superficie.	Sobre-carpeta de graduación abierta, riego de sello, fresado en frío con o sin riego de sello o sobre-carpeta delgada, escarificación en caliente con riego de sello o sobre-carpeta delgada, calentamiento superficial y cilindrado con aplicación de agregado grueso.
GRIETAS TRANSVERSALES	Endurecimiento del cemento asfáltico, rigidez de la mezcla, cambios volumétricos en la base o la sub-base, propiedades inusuales de la sub-rasante	Sello de grietas, riego de sello, sobre-carpeta con tratamiento especial para el sello de las grietas y minimizar la reflexión de las mismas, aplicación de película de asfalto-caucho con sello con agregados o sobre-carpeta delgada, escarificación en caliente o sobre-carpeta delgada.
RUGOSIDAD	Presencia de daños físicos, cambios volumétricos en los terraplenes o sub-rasantes, construcción no uniforme.	Sobre-carpeta, Reciclado en frío o sin sobre-carpeta, escarificación en caliente con sobre-carpeta especial para áreas con corrugaciones, reciclado.
GRIETAS PIEL DE COCODRILO	Deficiencia estructural, excesivos vacíos de aire en la mezcla asfáltica, propiedades del cemento asfáltico, desprendimiento del asfalto de los agregados, deficiencias en la construcción	Riego de sello, sustitución, sobre-carpetas con espesor variable con o sin tratamiento para control de reflexión de grietas, reciclado, reconstrucción.
GRIETAS LONGITUDINALES	Asociadas a cargas: Deficiencia estructural, vacíos excesivos en la mezcla asfáltica, propiedades del cemento asfáltico, desprendimiento del asfalto de los agregados, deficiencia de construcción. No asociadas a las Cargas: Cambios volumétricos potenciales de la sub-rasante, estabilidad de los taludes, asentamientos de los terraplenes o de los materiales in situ como consecuencia del incremento de las cargas, segregación debida al equipo de compactación, mala construcción de la junta, otras deficiencias constructivas.	Sello de grietas, riego de sello, sustitución, sobre-carpeta delgada con tratamiento especial para sellar y minimizar la reflexión de grietas, aplicación película de asfalto caucho con sello con agregados o sobre-carpeta delgada, escarificación en caliente y sobre-carpeta delgada.
AHUELLAMIENTO	Deficiencia estructural, diseño de mezcla asfáltica, propiedades del cemento asfáltico, estabilidad de las capas asfálticas, compactación de las capas.	Fresado en frío incluyendo perfilado, con o sin sobre-carpeta; escarificación en caliente con tratamiento superficial o sobre-carpeta delgada, sustitución.

**Tabla 2.18. Causas y Soluciones a los Daños Frecuentes**

Fuente: (REYES, 2011)

### **2.8.3. TIPOS DE EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS**

Para la evaluación de pavimentos existen algunos métodos, dentro de los más utilizados son: de Vizir y la norma ASTM D 6433, de los cuales se realizará un resumen en los siguientes literal.

#### **a.- VIZIR**

Es un índice francés que representa la degradación superficial de un pavimento; éste es un índice desarrollado por el Laboratoire Central des Ponts et Chaussées – France o por sus siglas en inglés LCPC.

#### **a.1.- Generalidades**

Es un sistema de aplicación sencilla, que establece una diferenciación entre daños estructurales y funcionales; el método clasifica los deterioros de los pavimentos en dos marcadas categorías: A y B, con características que se describen a continuación:

Los daños tipo A, se refieren a la condición estructural del pavimento, se trata de degradaciones debidas a la insuficiencia en la capacidad estructural de la calzada, estos daños comprenden deformaciones y agrietamientos ligados a la fatiga del pavimento.

Los daños tipo B, se refieren en su mayoría a degradaciones de tipo funcional, dan lugar a reparaciones que generalmente no están ligadas a la capacidad estructural de la calzada. Su deficiencia se focaliza en motivos constructivos y condiciones locales particulares que el transito ayuda a poner en evidencia.

En las tablas siguientes se presenta los deterioros de tipo A y B con una descripción de cada uno de los daños identificados:

DETERIORO	NIVEL DE GRAVEDAD		
	1	2	3
			
Ahuellamiento y otras deformaciones estructurales	Sensible al usuario, pero poco importante. Flecha < 20mm	Deformaciones importantes, hundimientos localizados o ahuellamientos. 20mm < Flecha < 40mm	Deformaciones que afectan de manera importante la comodidad y la seguridad de los usuarios. Flecha > 40 mm
Grietas longitudinales por fatiga	Fisuras finas en la banda de rodamiento	Fisuras abiertas y a menudo ramificadas	Fisuras muy ramificadas y/o muy abiertas. Bordes de fisuras ocasionalmente degradados.
Piel de Cocodrilo	Piel de cocodrilo formada por mallas grandes (> 500mm) con fisuración fina, sin pérdida de materiales.	Mallas más densas (< 500mm), con pérdidas ocasionales de materiales, desprendimientos y ojos de pescado en formación.	Mallas con grietas muy abiertas y con fragmentos separados. Las mallas son muy densas (< 200mm), con pérdida ocasional o generalizada de materiales.
Bacheos y Parcheos	Intervención de superficie ligada a deterioros del tipo B	Intervenciones ligadas a deterioros tipo A	
		Comportamiento satisfactorio de la reparación	Ocurrencia de fallas en las zonas reparadas

**Tabla 2.19. Niveles de Gravedad, Deterioros Tipo A**

Fuente: Instituto Nacional de Vías INVIAS, Bogotá

DETERIORO	NIVEL DE GRAVEDAD					
	1		2		3	
						
Grieta longitudinal de junta de construcción	Fina y única		* Ancha (10 mm o más) sin desprendimientos, * Fina ramificada		Ancha con desprendimientos o ramificada	
Grietas de contracción térmica	Fisuras finas		Anchas sin desprendimientos		Anchas con desprendimientos	
Grietas parabólicas	Fisuras finas		Anchas sin desprendimientos		Anchas con desprendimientos	
Grietas de borde	Fisuras finas		Anchas sin desprendimientos		Anchas con desprendimientos	
Abultamientos	F < 20mm		20 mm < F < 40 mm		F > 40 mm	
Ojos de pescado (por cada 100 metros)	Cant.	< 5	5 a 10	< 5	> 10	5 a 10
	Φ mm	< 300	< 300	< 1000	< 300	< 1000
Desprendimientos: Pérdida de película de ligante, pérdida de agregado	Pérdidas aisladas		Pérdidas continuas		Pérdidas generalizadas y muy marcadas	
Descascaramiento	Prof. (mm)	< 25	< 25	> 25	> 25	
	Área (m <sup>2</sup> )	< 0.8	> 0.8	< 0.8	> 0.8	
Pulimento agregados	No se definen niveles de gravedad					
Exudación	Puntual		Continua sobre la banda de rodamiento		Continúa y muy marcada	
Afloramientos: de mortero, de agua	Localizado y poco perceptibles		Intensos		Muy intensos	
Desintegración de los bordes del pavimento	Inicio de la desintegración		La calzada ha sido afectada en un ancho de 500mm o mas		Erosión externa que conduce a la desaparición del revestimiento asfáltico	
Escalonamiento entre calzada y berma	Desnivel de 10 a 50 mm		Desnivel entre 50 y 100 mm		Desnivel superior a 100mm	
Erosión de las bermas	Erosión incipiente		Erosión pronunciada		La erosión pone en peligro la estabilidad de la calzada y la seguridad de los usuarios	

**Tabla 2.20. Niveles de Gravedad, Deterioros Tipo B**

Fuente: Instituto Nacional de Vías INVIAS, Bogotá

## **a.2.- Clasificación y Cuantificación de Daños**

Los daños tipo A caracterizan una condición estructural del pavimento, sea que ella esté ligada a las condiciones de las diversas capas y el suelo de sub-rasante o simplemente a las capas asfálticas. Se trata de daños debido a insuficiencia en la capacidad estructural de la calzada cuya solución suele requerir el conocimiento de otros criterios de valoración como ensayos de deformaciones, resistencia, etc.

Los tipo B, en su mayoría de tipo funcional, dan lugar a reparaciones que generalmente no están ligadas a la capacidad estructural de la calzada; entre estos daños se pueden citar los agrietamientos motivados por asuntos distintos a fatiga, los ojos de pescado, los desprendimientos y los afloramientos.

Para los estudios destinados al diseño de obras de mantenimiento y rehabilitación del pavimento, cada zona de análisis deberá tener una longitud de 100 m; en el caso de carreteras de doble calzada, se efectuarán evaluaciones independientes en cada calzada.

## **a.3.- Determinación del Índice de Deterioro Superficial (IS)**

El primer paso en la determinación del índice global, índice de deterioro superficial IS, consiste en el cálculo del índice de fisuración IF, el cual depende de la gravedad y la extensión de las fisuraciones y agrietamientos de tipo estructural en cada zona evaluada.

Luego se calcula un índice de deformación Id, el cual también depende de la gravedad y extensión de las deformaciones de origen estructural.

De la combinación de IF e Id, se tiene un primer índice de calificación de la calzada, el cual debe ser corregido en función de la extensión y calidad de los trabajos de bacheo. En este punto, se debe considerar que si bien algunos métodos de calificación de la condición del pavimento no incluyen las áreas con parches y bacheos, el VIZIR considera que ellas deben formar parte integrante de la evaluación, debido a que si una reparación localizada reciente enmascara un problema, las reparaciones frecuentes lo confirman.

El valor del IS varía de 1 a 7 de acuerdo a la tabla 2.21, no se debe olvidar que la valoración de las fallas del tipo A no constituye un criterio suficiente para definir las acciones que requiere la calzada para su rehabilitación.

<b>INTERVALOS DE CALIFICACIÓN</b>	
<b>RANGO</b>	<b>CALIFICACIÓN</b>
1 y 2	Bueno
3 y 4	Regular
5, 6 y 7	Deficiente

**Tabla 2.21. Intervalos de Calificación, VIZIR**

Fuente: Instituto Nacional de Vías INVIAS, Bogotá

Se tiene ahora las tablas auxiliares para la determinación del Índice de deterioro del pavimento, incluyendo las tablas para la obtención del Índice de Fisuración y el Índice de deterioro:

<b>ÍNDICE DE FISURACIÓN</b>			
Gravedad \ Extensión	0 a 10%	10 a 50%	> 50%
	1	1	2
2	2	3	4
3	3	4	5

**Tabla 2.22. Índice de Fisuración, VIZIR**

Fuente: Instituto Nacional de Vías INVIAS, Bogotá

<b>ÍNDICE DE DEFORMACIÓN</b>			
Gravedad \ Extensión	0 a 10%	10 a 50%	> 50%
	1	1	2
2	2	3	4
3	3	4	5

**Tabla 2.23. Índice de Deformación, VIZIR**

Fuente: Instituto Nacional de Vías INVIAS, Bogotá

Con la valoración de estos coeficientes, como ya se mencionó, se obtiene la Primera Clasificación de Índice de Deterioro IS, de la siguiente tabla:

ÍNDICE DE DETERIORO				
IF \ Id	0	1, 2	3	4, 5
0	1	2	3	4
1, 2	3	3	4	5
3	4	5	5	6
4, 5	5	6	7	7

**Tabla 2.24. Índice de Deterioro (sin corregir), VIZIR**

Fuente: Instituto Nacional de Vías INVIAS, Bogotá

Luego, es necesario realizar la corrección de este índice por motivo de reparaciones a través de la siguiente tabla:

CORRECCIÓN POR REPARACIÓN			
Extensión \ Gravedad	0 a 10%	10 a 50%	> 50%
1	0	0	0
2	0	0	+1
3	0	+1	+1

**Tabla 2.25. Corrección por Reparación, Índice de Deterioro, VIZIR**

Fuente: Instituto Nacional de Vías INVIAS, Bogotá

Entonces, con el valor obtenido de la tabla 2.18 y aumentando el valor correspondiente de la tabla 2.19, se obtiene finalmente el Índice de Deterioro IS para un pavimento.

Como se puede notar, esta metodología permite por medio de inspección visual de identificación, cualificación y cuantificación de los daños sean funcionales o estructurales de una vía, mediante el cálculo del IS dando sustento técnico que permita tomar decisión frente a priorización y tipo de intervención en vías a rehabilitar.

Debido a que esta metodología depende del juicio de las personas quienes realizan inspección visual, debe realizarse capacitación al personal a cargo además de un acompañamiento por personal con conocimiento en el área de

pavimentos para así garantizar que la información sea fidedigna y refleje la situación actual del pavimento.

**b.- Índice de Condición del Pavimento (ASTM D 6433)**

**b.1- Generalidades**

El Índice de Condición del Pavimento o PCI, es un índice que varía entre cero y cien, utilizado para indicar la condición de un camino, donde cero indica un pavimento fallado y cien indica un pavimento en excelente estado.

El índice de condición del pavimento (PCI) fue desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros de las Fuerzas Armadas de los Estados Unidos, basado en la inspección visual del pavimento, identificando las fallas que se presentan y su severidad.

La norma ASTM D6433 establece la siguiente escala de calificación y colores sugeridos para el efecto:

	Estándar PCI TM Escala de clasificación	Color Sugerido
100	Bueno	Verde oscuro
85	Satisfactorio	Verde claro
70	Justo	Amarillo
55	Pobre	Rojo claro
40	Muy pobre	Media rojo
25	Grave	Rojo oscuro
10	Fracasado	Gris oscuro
0		

**Figura. 2.17. Índice de Condición de Pavimento, Escala de Calificación y Colores Sugeridos**

Fuente: ASTM D 6433

El equipo que el técnico de campo requiere tener a su alcance para realizar una correcta evaluación del pavimento son: Hoja de datos de campo; odómetro, con una apreciación de +/- 30 mm; cordel, para delimitar las unidades muestra; regla de aluminio, para comprobar la horizontalidad y deformaciones en el pavimento esta debe medir mínimo 3m; plano de la vía

evaluada. La hoja de datos de campo debe contener la información como lo dispone el formulario dado por la ASTM D 6433 y se expone a continuación.<sup>29</sup>

ASFALTO EMERGIDO DE CARRETERAS Y APARCAMIENTOS										ESQUEMA:		
HOJA DE CONDICIÓN DE ENCUESTA DE DATOS PARA UNIDAD DE MUESTRA												
NOMBRE DE LA VÍA _____			SECCIÓN _____			UNIDAD DE MUESTRA _____						
ENCUESTADOS POR _____			FECHA _____			ÁREA DE LA MUESTRA _____						
1. Piel de cocodrilo		6. Depresión		11. Parches y parches de cortes utilitarios		16. Fisura parabólica o por deslizamiento						
2. Exudación		7. Fisura de borde		12. Agregado pulido		17. Hinchamiento						
3. Fisuras en bloqueo		8. Fisura de reflexión de junta		13. Baches		18. Peladura por intemperismo y desprendimiento de agregados						
4. Abultamientos y hundimientos		9. Desnivel carril-berma		14. Ahuellamiento								
5. Corrugación		10. Fisuras longitudinales y transversales		15. Desplazamiento								
SERIEDAD DE SOCORRO	CANTIDAD									Total	DENSIDAD %	Valor deducible

Figura. 2.18. Hoja de Registro PCI, ASTM D 6433  
Fuente: (AASHTO 93, 1993)

**b.2- Muestreo**

Para obtener muestras que representen un elevado nivel de confiabilidad se debe seguir este procedimiento:

Identificar tramos en el pavimento que tengan en planta diferentes usos, como caminos o estacionamientos,

<sup>29</sup> (AASHTO 93, 1993)

Dividir estos tramos en secciones de acuerdo a su tráfico, diseño y construcción,

Dividir las secciones en Unidades de Muestra,

Señalizar y seleccionar las unidades de muestra que serán analizadas, considerando que el número de unidades debe garantizar una confiabilidad del 95%.

El número mínimo de unidades para obtener una confiabilidad del 95% en la determinación del PCI es calculado en base a la siguiente expresión algebraica:

$$n = \frac{Ns^2}{\left(\frac{e^2}{4}\right)(N-1) + s^2}$$

**Ec. 2.23.- Número Mínimo de Unidades**

Dónde:

n: número mínimo de unidades,

e: error admisible en el cálculo del PCI de la sección,

s: desviación estándar del PCI de una muestra a otra en la misma sección,

N: número total de unidades en la sección.

Para calcular el valor de la desviación estándar se puede utilizar la siguiente expresión:

$$S = \left( \sum_{i=1}^n \frac{(PCI_i - PCI_s)^2}{n-1} \right)^{1/2}$$

**Ec. 2.24.- Desviación estándar, PCI**

Dónde:

PCI<sub>i</sub>: valor PCI de las unidades de muestra inspeccionadas i,

PCI<sub>s</sub>: valor PCI de la sección,

N: número total de unidades de muestra inspeccionadas.

Calcular el mínimo número revisado de unidades muestras a ser inspeccionadas utilizando la desviación calculada. Si el número de unidades de muestra revisado es mayor que el número de muestras inspeccionadas, se debe seleccionar unidades de muestra adicionales al azar. Estas unidades deben ser espaciadas uniformemente a través de la sección; se debe repetir el proceso hasta que el número mínimo requerido de unidades de muestra inspeccionadas sea mayor o igual al número mínimo requerido de unidades de muestra obtenido en 4.1, usando la desviación estándar real.

Calcular el intervalo de espaciamiento de las unidades utilizando el muestreo sistemático al azar. Las muestras deben ser igualmente espaciadas, así:

$$i = N/n$$

**Ec. 2.25.- Intervalo de espaciamiento, PCI**

Dónde:

i: intervalo de espaciamiento,

N: número total de unidades de muestra en la sección,

n: número de unidades de muestra a ser inspeccionada

Las unidades de muestra adicionales solo deben inspeccionarse cuando se observen fallas no representativas, son escogidas por el usuario.

**b.3- Inspección**

Debe realizarse las siguientes actividades:

- 1.- Inspeccionar cada unidad de muestra seleccionada. Registrar el tramo, número de sección, número y tipo de unidad de muestra.
- 2.- El tamaño de la unidad muestra será medido empleando el odómetro.
- 3.- Realizar la inspección de fallas y registrar su tamaño y severidad.

#### **b.4- Cálculo del PCI para Pavimentos Flexibles**

1.- Una vez registradas las fallas según el tipo y severidad, se suma la cantidad total de cada tipo de falla por cada nivel de severidad y se registra en la columna denominada Total.

2.- Para obtener la densidad porcentual para cada tipo de falla y nivel de severidad, se divide la cantidad total entre el área de la unidad muestra, este resultado se multiplica a su vez por 100.

3.- Determinar el valor deducido (DV) de cada tipo de falla y nivel de severidad empleando las curvas de valor deducido.

4.- Determinar el máximo valor deducido (CDV). Para ello es necesario seguir los siguientes pasos:

- Si ninguno o solo un valor deducido (DV) es mayor que dos. El valor total es usado en lugar del máximo CDV, sino el máximo CDV puede ser determinado como se describe a continuación.

- Se debe crear una lista de valores deducidos individuales ordenados de maneras descendente

- Determinar el número de deducciones permisibles (m) empleando la siguiente ecuación:

$$m = 1 + \left(\frac{9}{98}\right)(100 - HDV) < 10$$

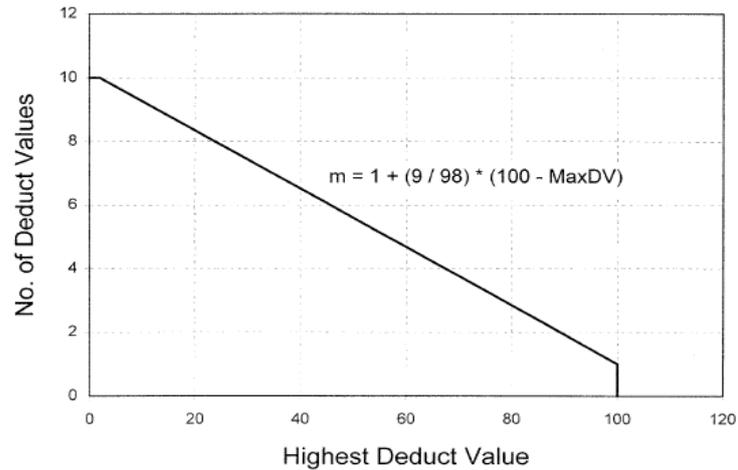
#### **Ec. 2.26.- Número Admisible Máximo de DV**

Dónde:

m: número admisible máximo de DV incluyendo fracciones,

HDV: el mayor valor deducido individual para la unidad de muestra,

- El número de valores deducidos individuales es reducido al máximo admisible de valores deducidos m, incluyendo su parte fraccionaria. Si se tiene un número valores deducidos menor a m, todos estos deben ser empleados.

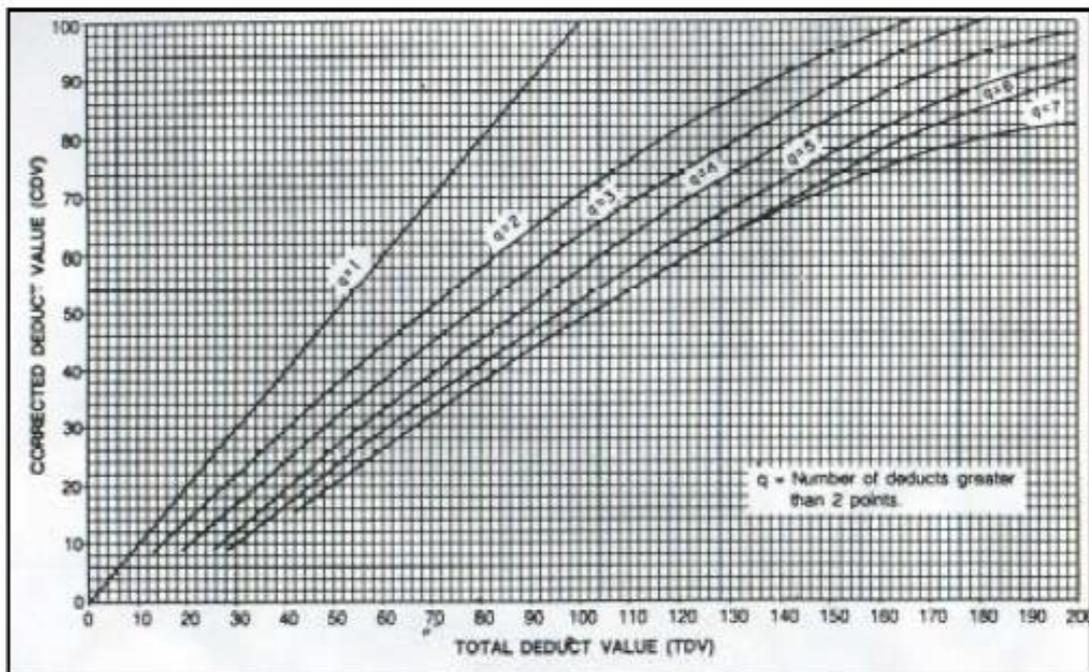


**Figura. 2.19. CDV vs. DV, PCI**

Fuente: (AASHTO 93, 1993)

Determinar el valor deducido total (CDT), este valor es la suma de los valores deducidos individuales.

- Hallar q como el número de valores deducidos mayores a dos.
- Determinar el valor de CDV en forma iterativa a partir de CDT y de q, empleando las gráficas de corrección, fig. 2.20:



**Figura. 2.20. Corrección de los Valores Deducidos**

Fuente: (AASHTO 93, 1993)

- El máximo Valor de CDV es el mayor,
- El PCI se halla de la siguiente manera:

$$PCI = 100 - CDV_{max}$$

**Ec. 2.27.- Obtención del PCI**

**b.5- Cálculo del PCI de la Sección**

Si las unidades de muestra inspeccionadas han sido escogidas al azar, entonces el PCI de la sección (PCIs) es calculado como el PCI ponderado del área en que se encuentran las unidades de muestra (PCIr) utilizando la siguiente ecuación:

$$PCIs = PCIr = \frac{\sum_{i=1}^n (PCIr_i * Ari)}{\sum_{i=1}^n Ari}$$

**Ec. 2.28.- PCI de la Sección**

Dónde:

PCIr: PCI ponderado del área de las unidades de muestra,

PCR<sub>i</sub>: PCI de la unidad de muestra aleatoria i,

Ari: Área de la Unidad de muestra aleatoria i,

n: número de unidades de muestra aleatoria inspeccionadas.

Si existen unidades de muestra adicionales inspeccionadas, el PCI ponderado de área de las unidades adicionales inspeccionadas (PCla) es calculado empleando la siguiente expresión:

$$PCla = \frac{\sum_{i=1}^m (PCla_i * Aai)}{\sum_{i=1}^m Aai}$$

**Ec. 2.29.- PCla de la Sección**

El PCI de la sección de pavimento es calculado mediante la siguiente ecuación:

$$PCIs = \frac{PCIr(A - \sum_{i=1}^m Aai) + PCla(\sum_{i=1}^m Aai)}{A}$$

**Ec. 2.30.- PCIs**

Dónde:

PCIa: PCI ponderado del área de las unidades de muestras adicionales,

PCIai: PCI de la unidad de muestra adicional i,

Aai: Área de la unidad de muestra adicional i,

A: Área de la sección,

m: Número de unidades de muestra adicionales inspeccionadas,

PCIs: PCI ponderado del área de la sección de pavimento.

## CAPITULO III

### 3. FLUJOGRAMAS

#### 3.1. FLUJOGRAMAS DE DISEÑO

##### 3.1.3. PAVIMENTOS FLEXIBLES

Con referencia a la hoja de cálculo desarrollada por (Águila, 97) en base al método de diseño AASHTO 93 se ha diseñado el flujograma que corresponde a pavimentos flexibles. En las siguientes figuras se expone la hoja de cálculo mencionada:

<b>DISEÑO DEL REFUERZO METODO AASHTO 1993</b>	
<b>PROYECTO :</b>	<b>TRAMO :</b>
<b>SECCION :</b> km - km	<b>FECHA :</b>
<b>DATOS DE ENTRADA (INPUT DATA) :</b>	
<b>1. CARACTERISTICAS DE MATERIALES</b>	<b>DATOS</b>
A. MODULO DE RESILIENCIA DE LA CARPETA ASFALTICA (ksi)	400,00
B. MODULO DE RESILIENCIA DE LA BASE GRANULAR (ksi)	30,00
C. MODULO DE RESILIENCIA DE LA SUB-BASE (ksi)	15,00
<b>2. DATOS DE TRAFICO Y PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE</b>	
A. NUMERO DE EJES EQUIVALENTES TOTAL (W18)	<b>2,32E+07</b>
B. FACTOR DE CONFIABILIDAD (R)	<b>95%</b>
STANDARD NORMAL DEVIATE (Zr)	<b>-1,645</b>
OVERALL STANDARD DEVIATION (So)	<b>0,45</b>
C. MODULO DE RESILIENCIA DE LA SUBRASANTE (Mr, ksi)	<b>6,00</b>
D. SERVICIABILIDAD INICIAL (pi)	<b>4,0</b>
E. SERVICIABILIDAD FINAL (pt)	<b>2,0</b>
F. PERIODO DE DISEÑO (Años)	<b>10</b>
<b>3. DATOS PARA ESTRUCTURACION DEL REFUERZO</b>	
A. COEFICIENTES ESTRUCTURALES DE CAPA	
Concreto Asfáltico Convencional (a <sub>1</sub> )	0,44
Base granular (a <sub>2</sub> )	0,14
Subbase (a <sub>3</sub> )	0,11
B. COEFICIENTES DE DRENAJE DE CAPA	
Base granular (m <sub>2</sub> )	1,10
Subbase (m <sub>3</sub> )	1,10

**Tabla 3.1. Hoja de Cálculo Método AASHTO 93 (1de3)**

Fuente: (Águila, 1997)

En la figura anterior constan los datos del pavimento del tramo de vía a diseñar, adicionalmente los datos de entrada tales como: características de los materiales, datos de tráfico, subrasante, coeficientes estructurales y de drenajes por cada capa del pavimento.

CALCULO DEL NUMERO ESTRUCTURAL :			
N18 NOMINAL	N18 CALCULO	SN	SN <sub>TOTAL</sub>
7,37	7,37	6,00	
7,37	7,37	3,54	
7,37	7,37	4,49	
FIJO	VARIABLE	AJUSTAR	

Tabla 3.2. Hoja de Cálculo Método AASHTO 93 (2de3)

Fuente: (Águila, 1997)

Por iteraciones la hoja de cálculo establece los números estructurales correspondientes a cada capa del pavimento;

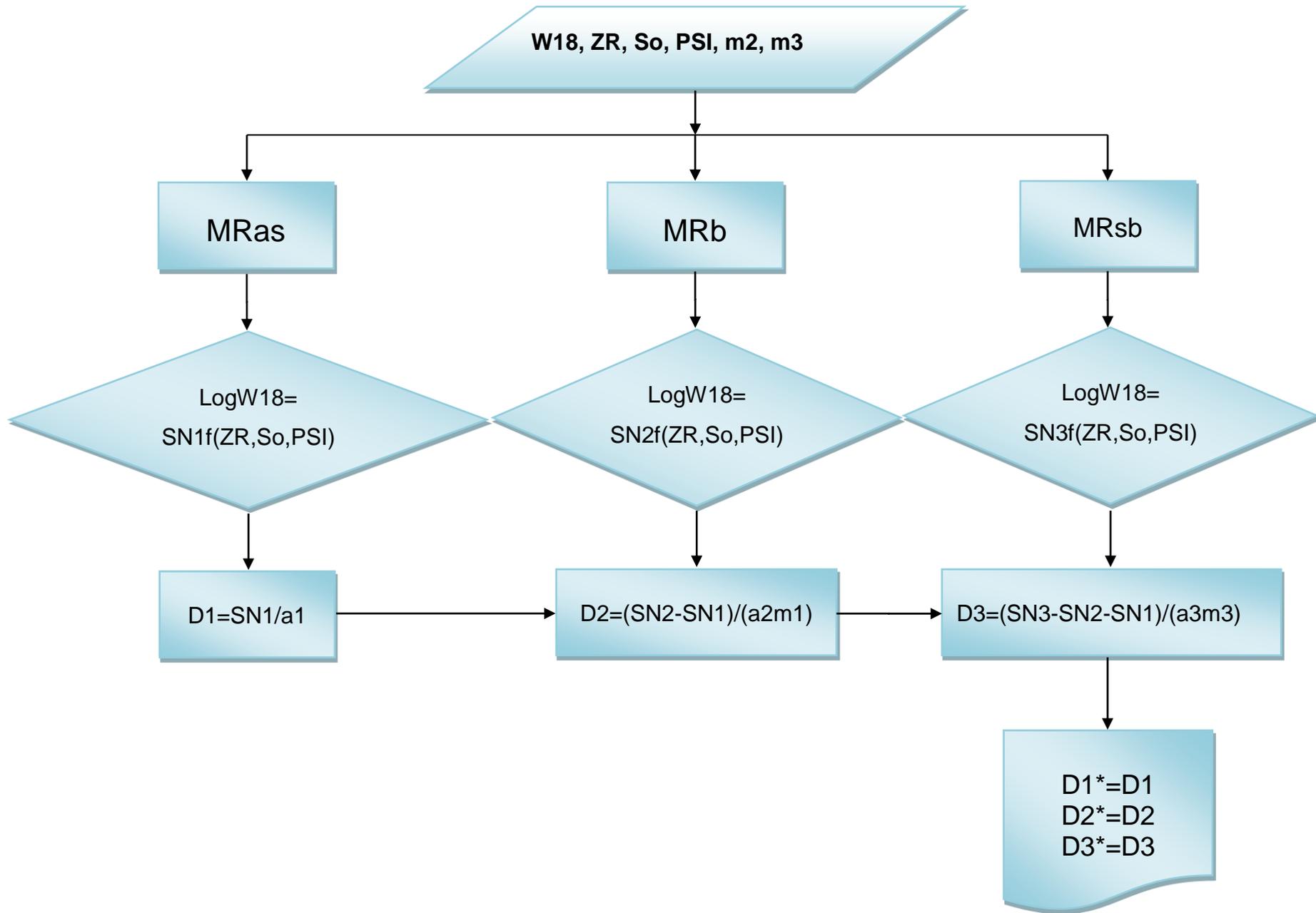
DATOS DE SALIDA (OUTPUT DATA) :		
NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO TOTAL (SN <sub>REQ</sub> )		6,00
NUMERO ESTRUCTURAL CARPETA ASFALTICA (SN <sub>CA</sub> )		3,54
NUMERO ESTRUCTURAL BASE GRANULAR (SN <sub>BG</sub> )		0,95
NUMERO ESTRUCTURAL SUB BASE (SN <sub>SB</sub> )		1,51
ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO PROPUESTA		
	TEORICO	PROPUESTO
ESPESOR CARPETA ASFALTICA (cm)	20,4	20,0
ESPESOR BASE GRANULAR (cm)	19,0	20,0
ESPESOR SUB BASE GRANULAR (cm)	38,4	35,0
ESPESOR TOTAL (cm)		75,0
RESPONSABLE :		
DISEÑADO POR:		

Tabla 3.3. Hoja de Cálculo Método AASHTO 93 (3de3)

Fuente: (Águila, 1997)

Finalmente, la última sección de la hoja expone los resultados del cálculo de los espesores del pavimento, el responsable del cálculo y del diseño de la hoja.

En base a lo descrito anteriormente se ha elaborado un flujograma para fácil comprensión del diseño:



El flujograma tiene la siguiente nomenclatura:

MRas: Módulo resiliente de la capa asfáltica,

MRb: Módulo resiliente de la base,

MRsb: Módulo resiliente de la subbase,

m2, m3: Coeficientes de drenaje,

W18: Número estimado de ejes simples,

R: Desviación estándar normal o confiabilidad,

So: Error estándar combinado de la predicción del tránsito y del comportamiento,

$\Delta$ PSI: Diferencia entre el índice de servicio inicial y el final,

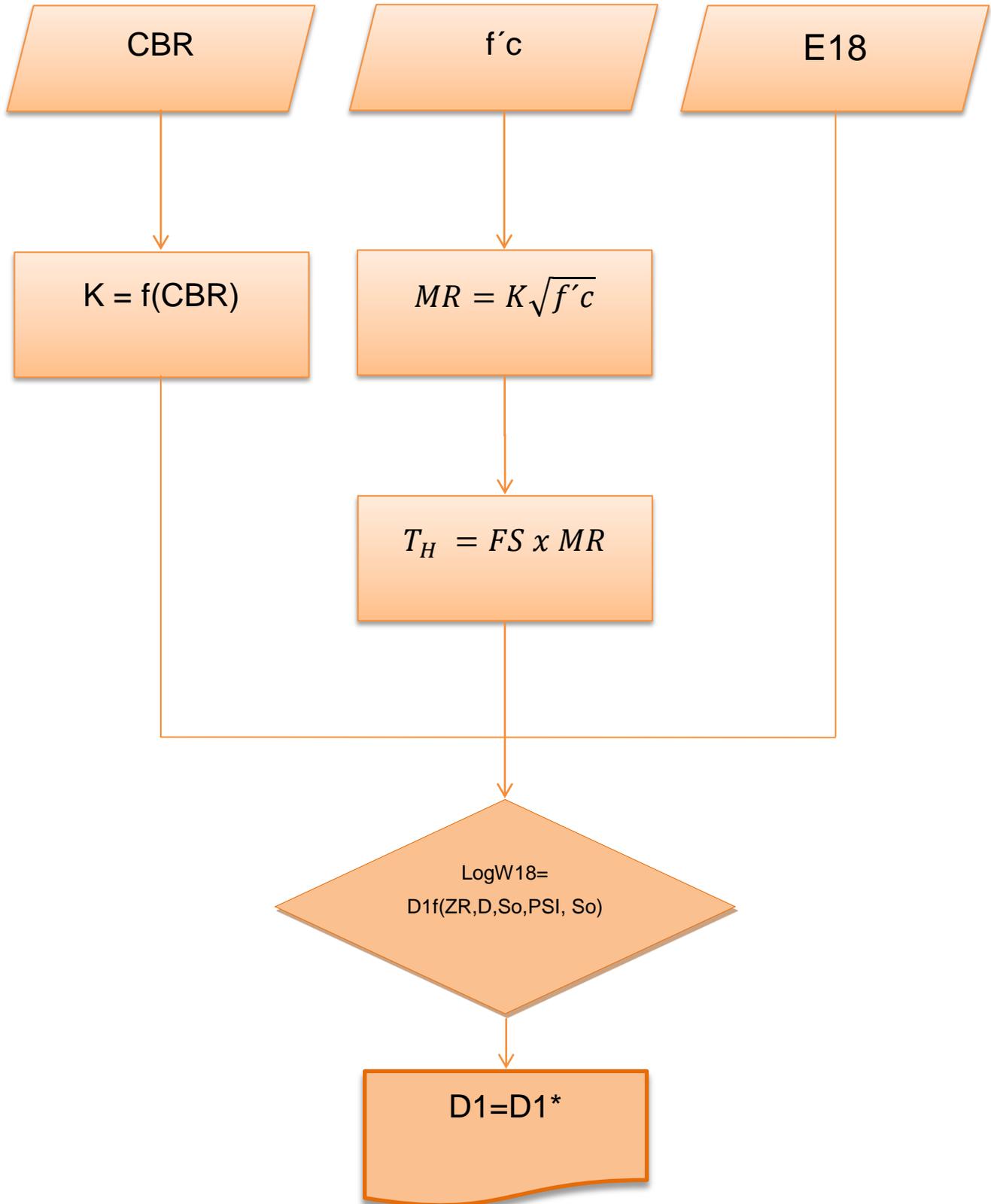
a1, a2, a3: Coeficiente estructural de la capa del pavimento,

SNi, Número estructural de cada capa del pavimento,

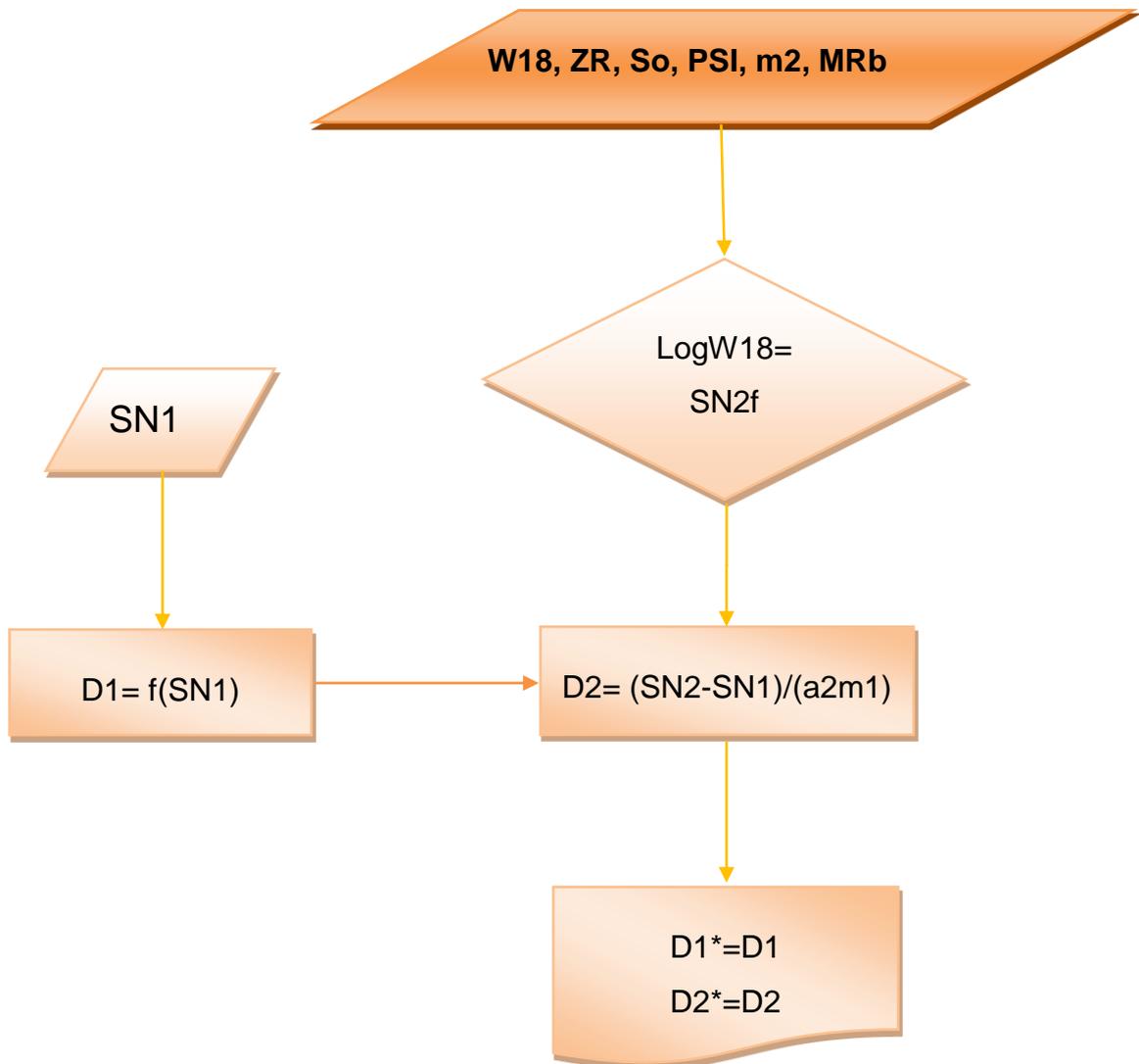
Di, Di\*: Espesor de la capa del pavimento.

### 3.2.3. PAVIMENTOS RÍGIDOS

Con la finalidad de obtener un procedimiento resumido y programable, se elabora un flujo-grama para el diseño de pavimentos rígidos, como sigue:

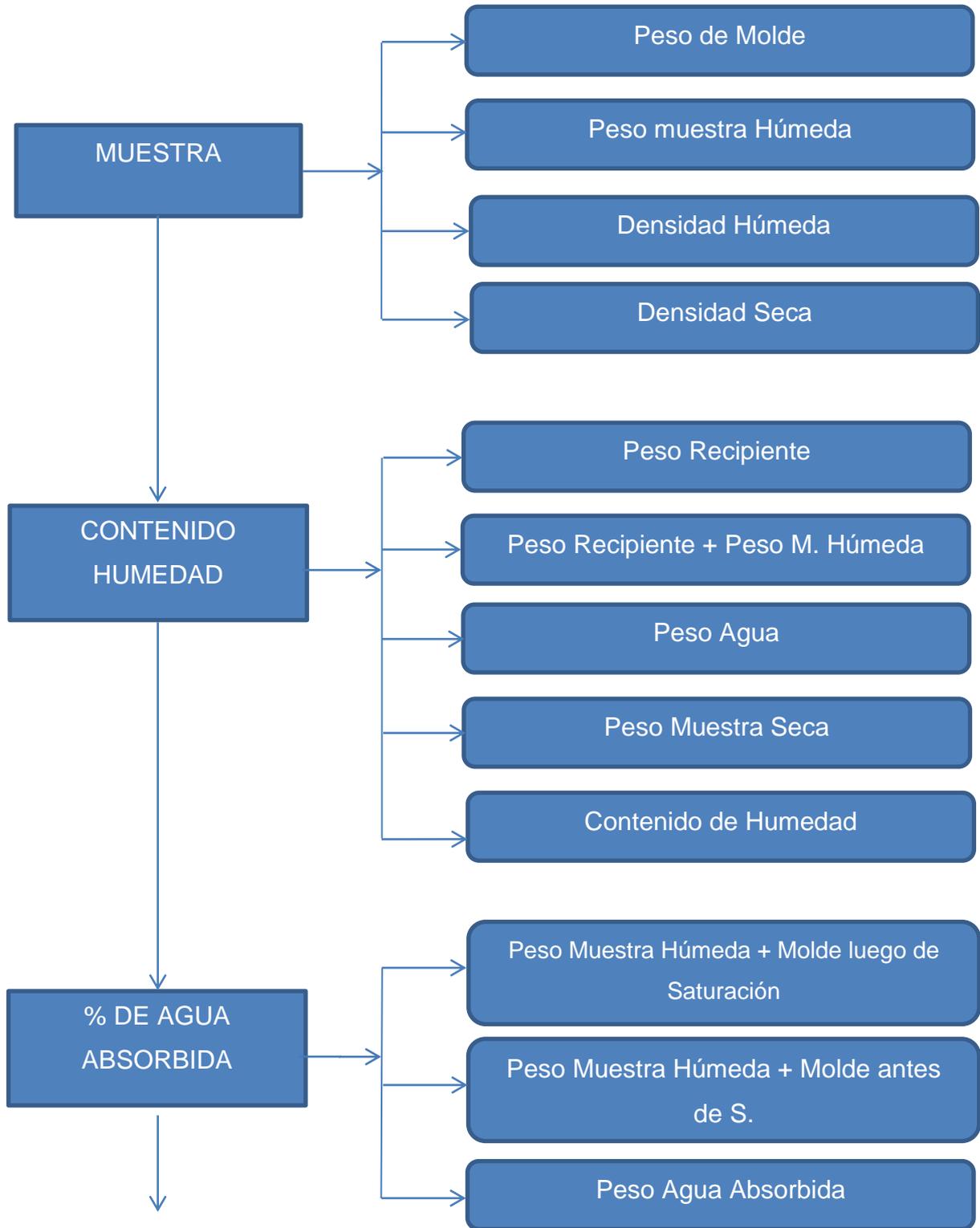


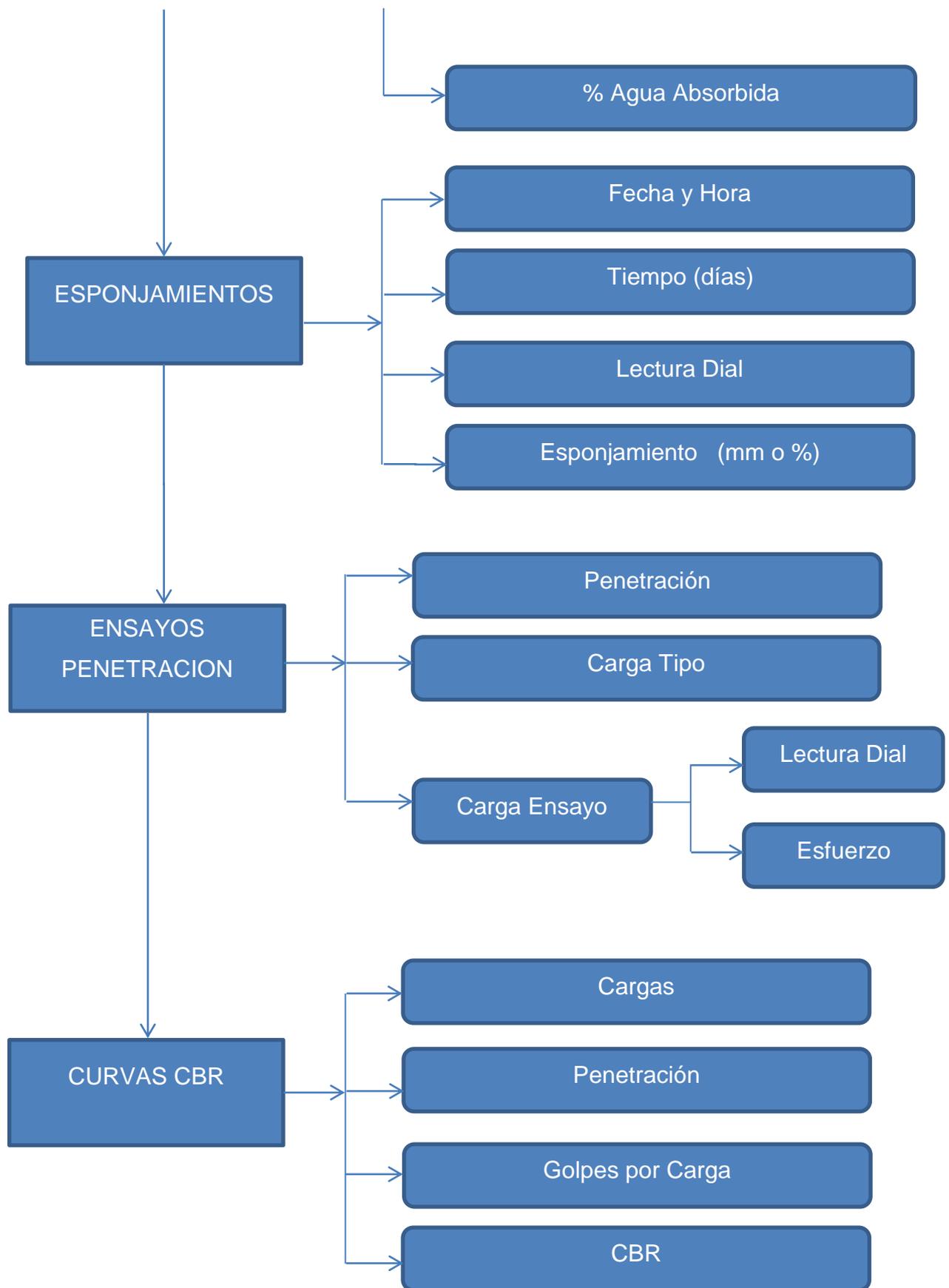
### 3.3.3. PAVIMENTOS ATICULADOS



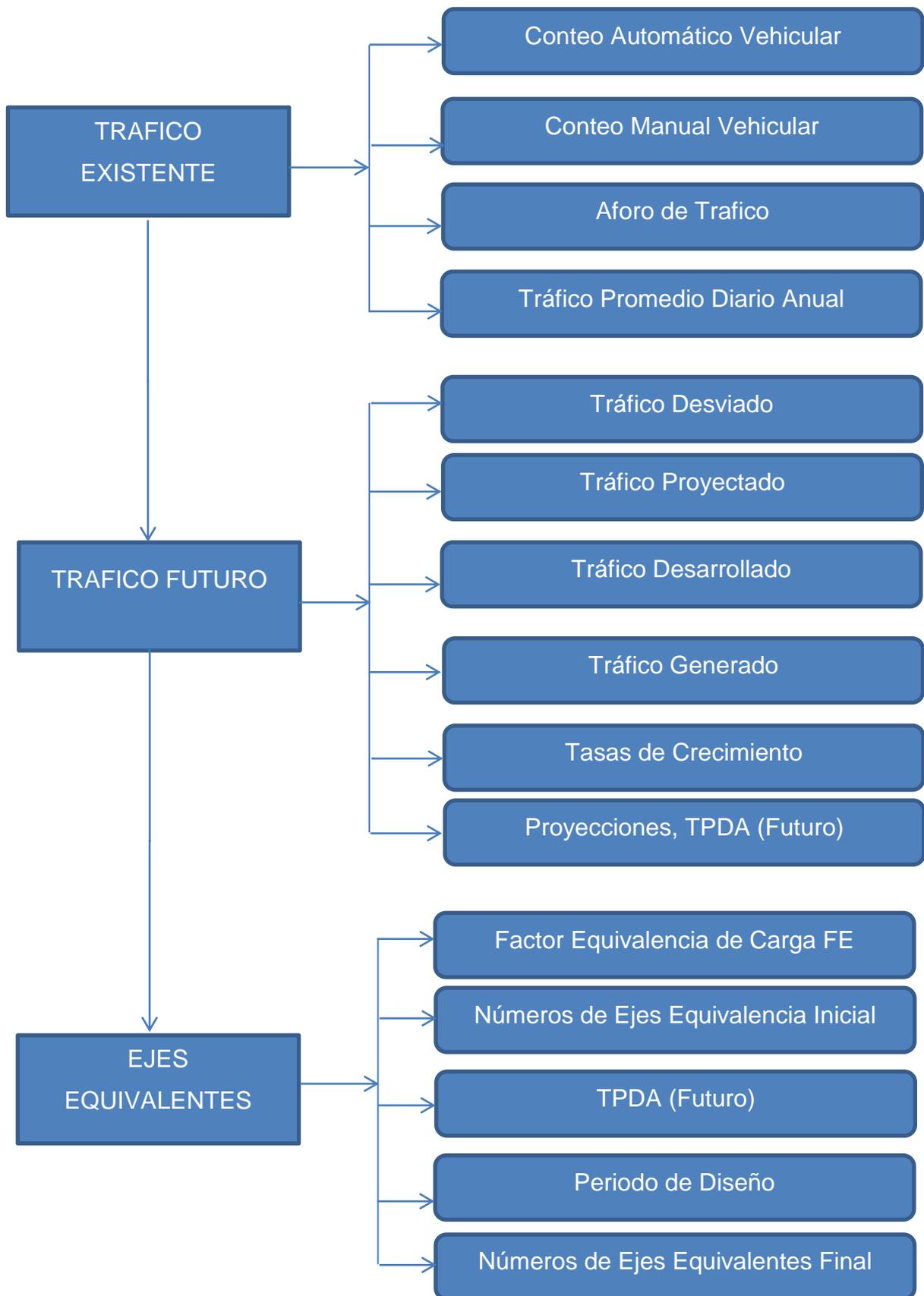
### 3.2. FLUJOGRAMAS PARA REVISIONES

#### 3.2.1. ENSAYO CBR

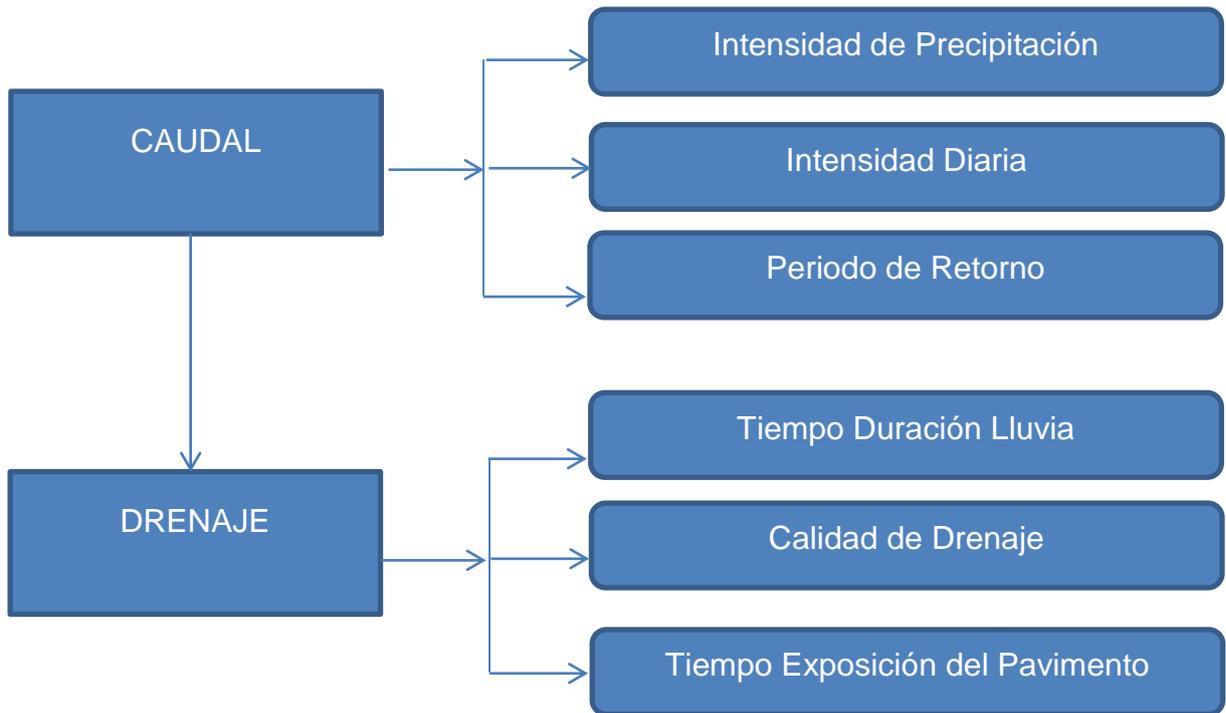




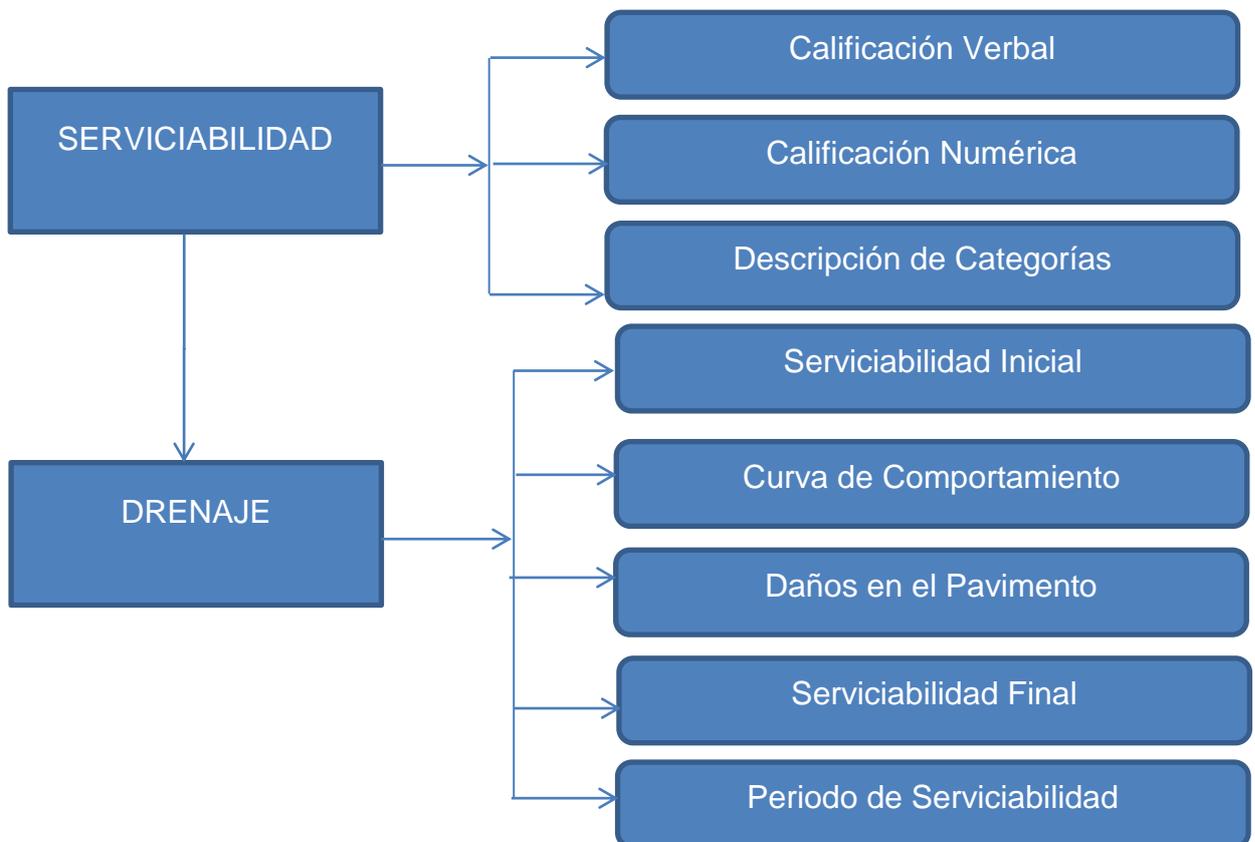
### 3.2.2. TRÁFICO Y EJES EQUIVALENTES



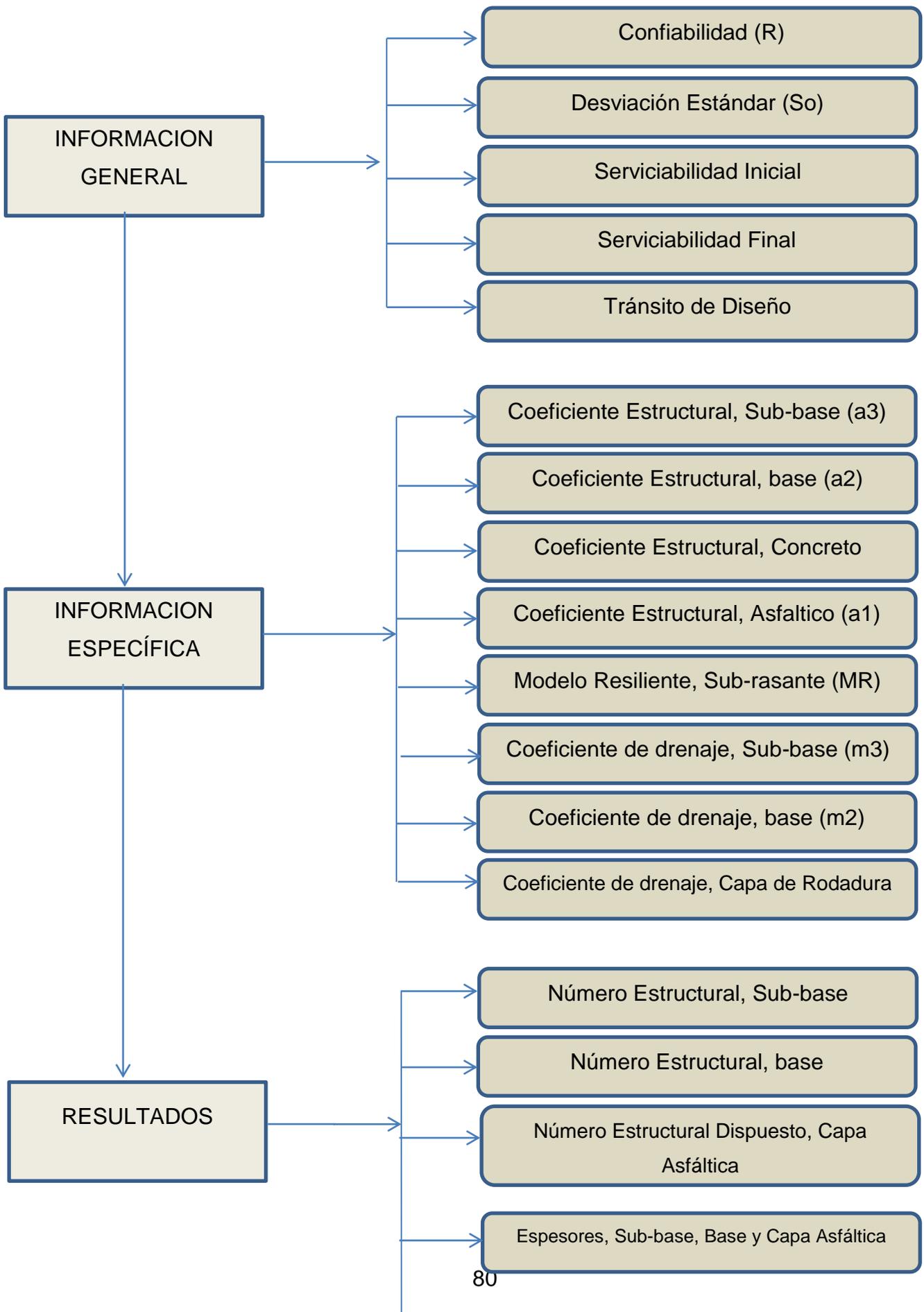
### 3.2.3. DRENAJES



### 3.2.4. SERVICIABILIDAD

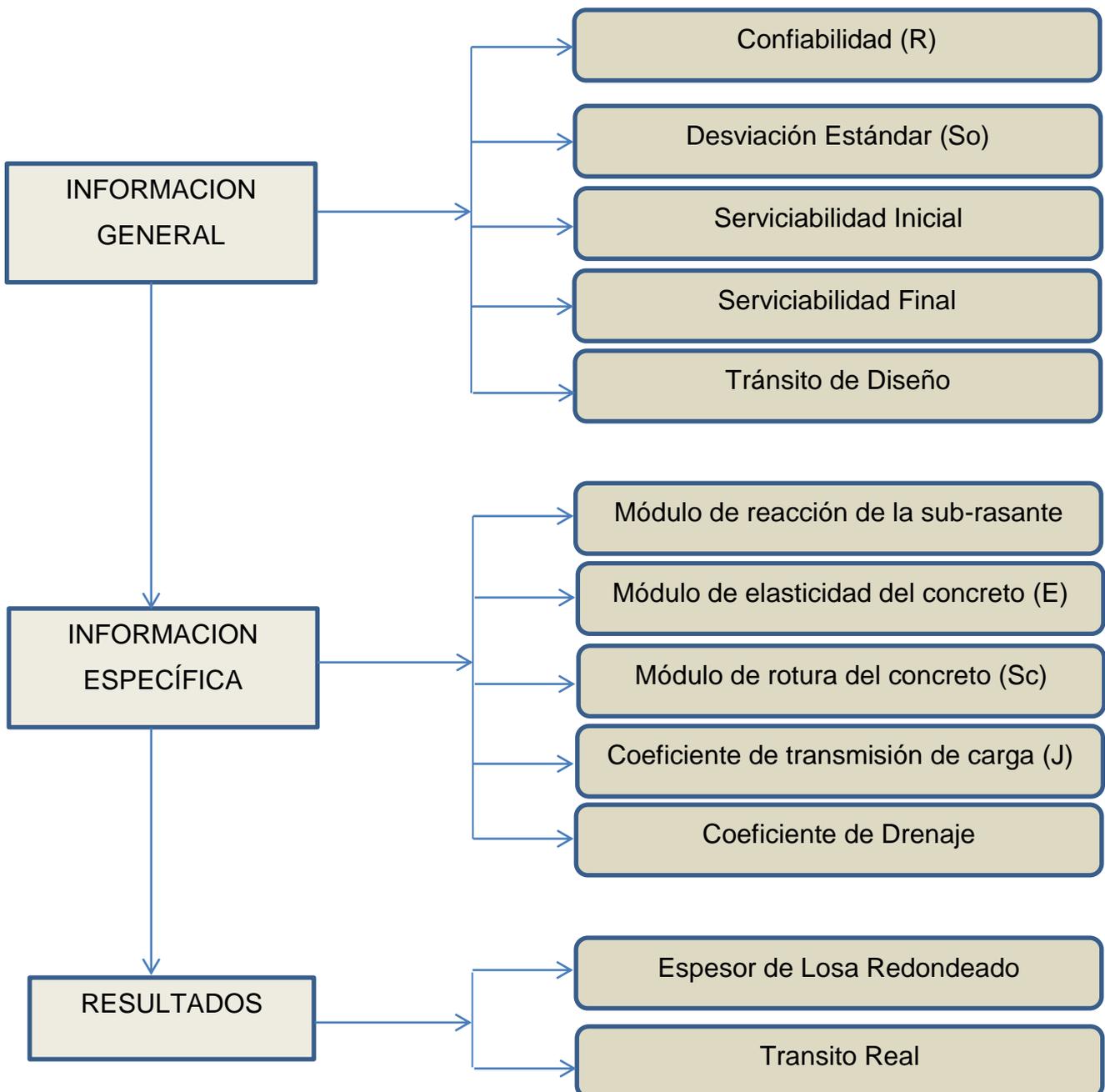


### 3.2.5. PAVIMENTOS FLEXIBLES

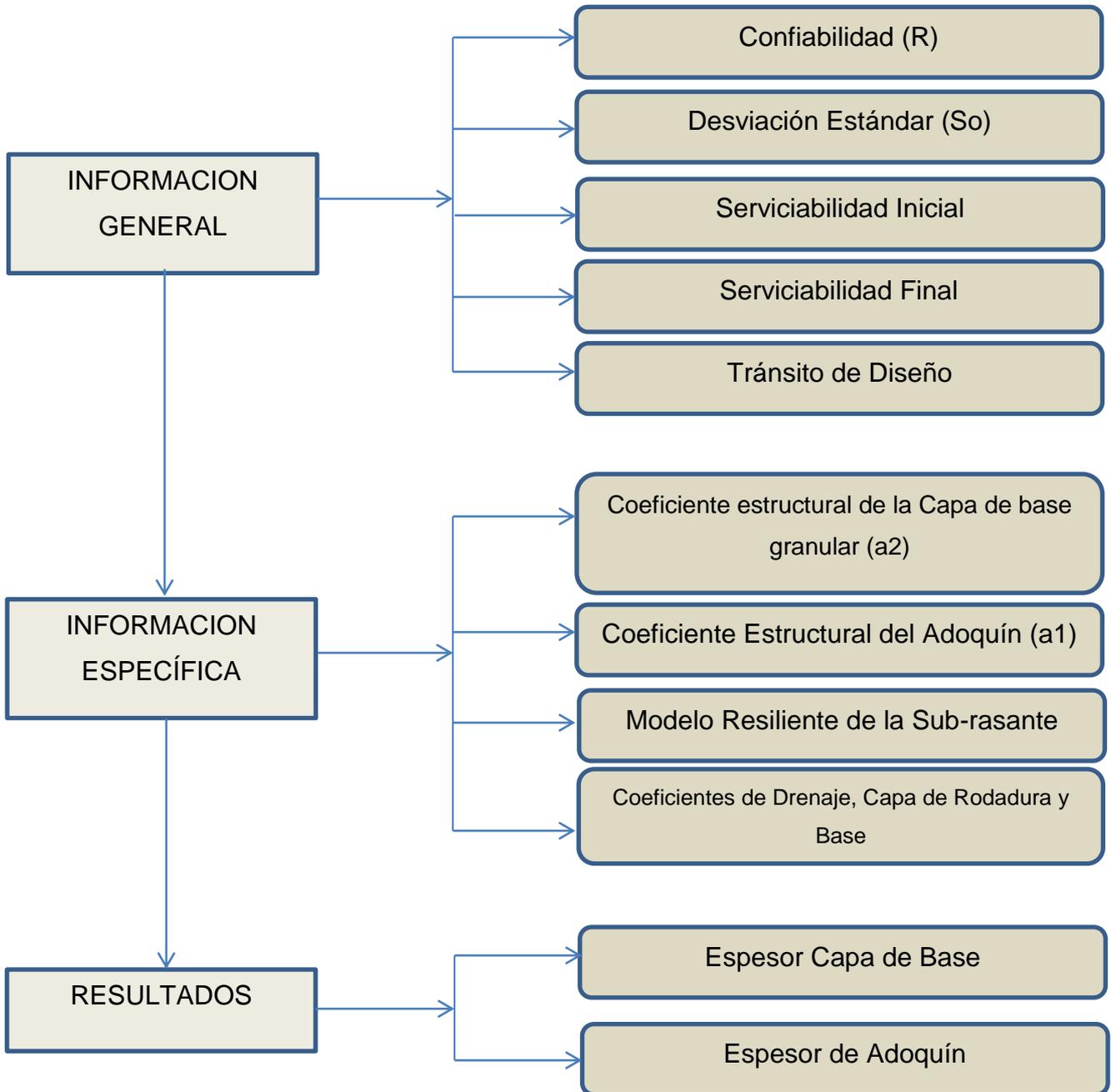




### 3.2.6. PAVIMENTOS RÍGIDOS

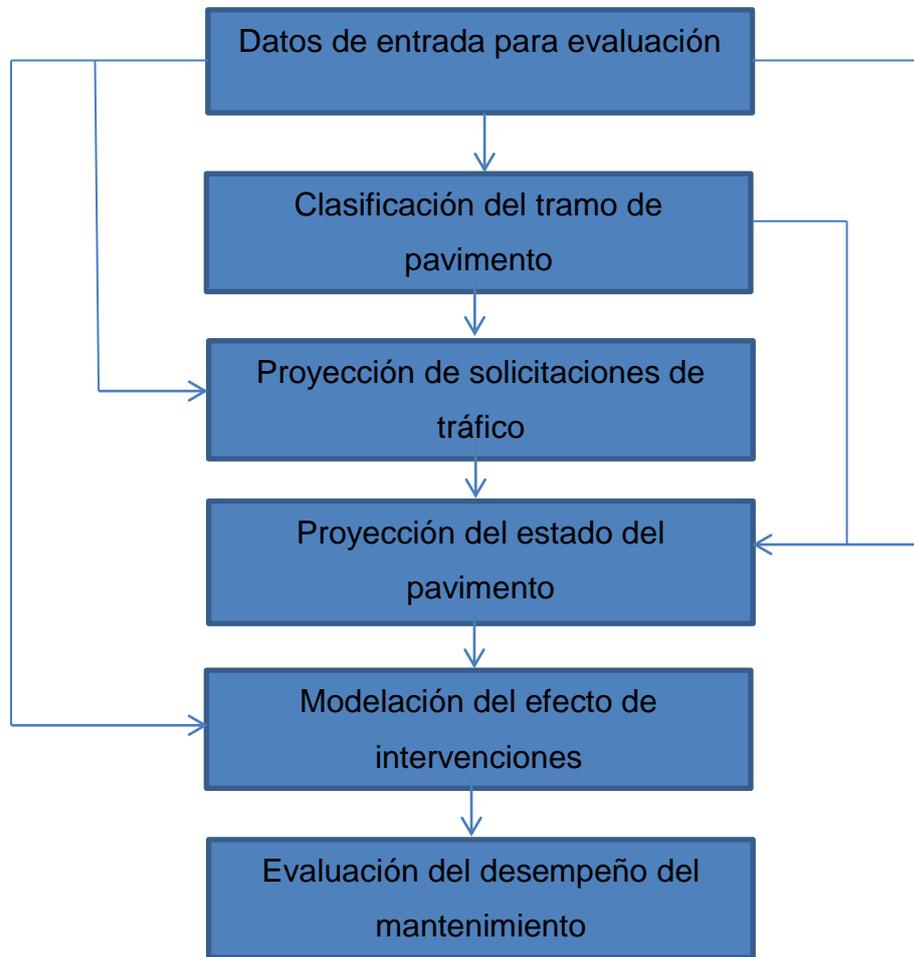


### 3.2.7. PAVIMENTOS ARTICULADOS



### 3.3. FLUJOGRAMAS PARA EVALUACIÓN Y DESEMPEÑO

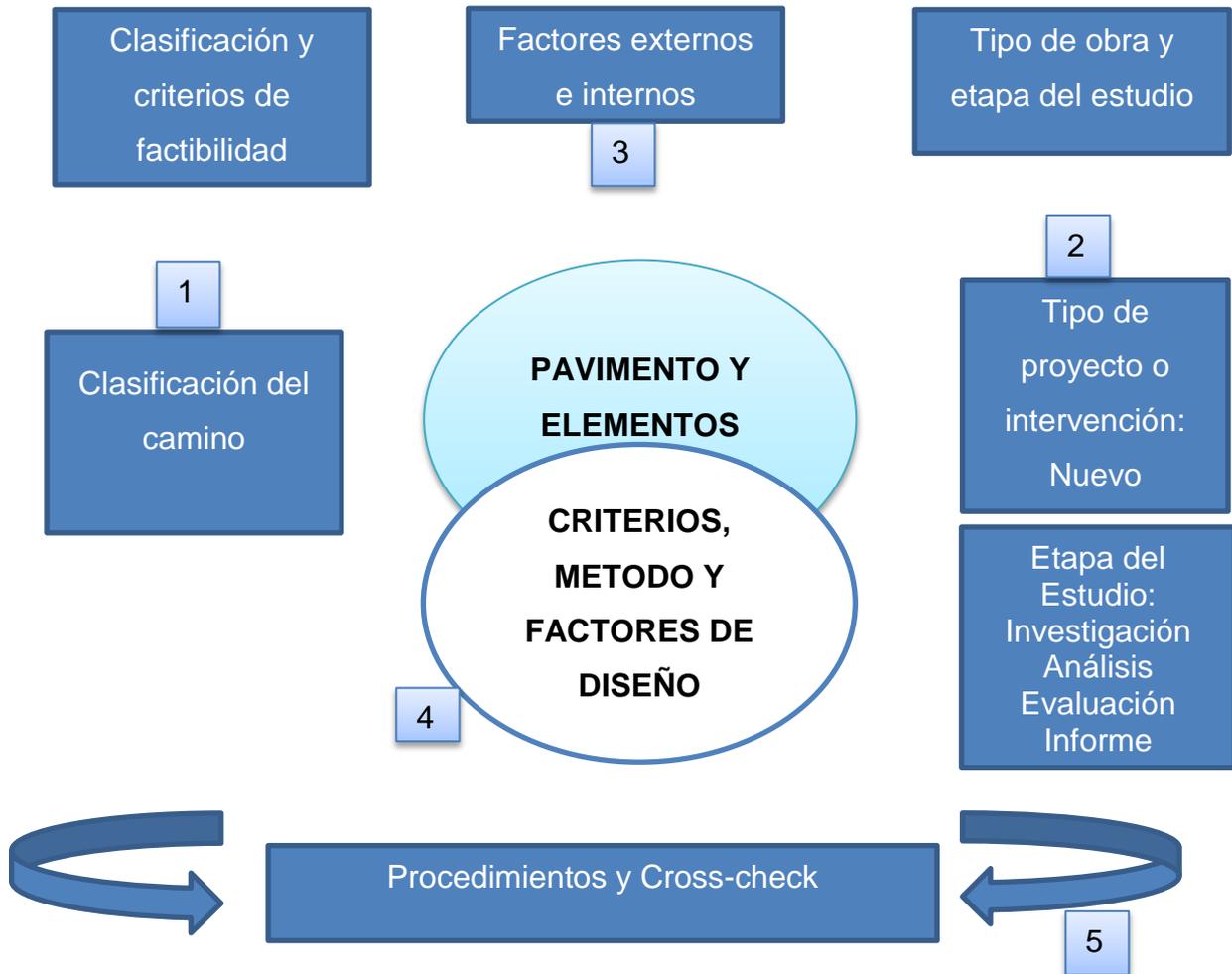
#### 3.3.1. EVALUACIÓN Y DESEMPEÑO



**Figura. 3.1. Evaluación y Desempeño de Pavimentos**

Fuente: ([http://www.bdigital.unal.edu.co/2405/1/32182315.2009\\_1.pdf](http://www.bdigital.unal.edu.co/2405/1/32182315.2009_1.pdf))

### 3.3.2. CRITERIOS Y FACTORES DE DISEÑO



**Figura.3.2. Elementos, Criterios, Factores de Diseño**

Fuente: (<http://www.slideshare.net/lisandrromani/apunte-pavimentos>)

## **CAPITULO IV**

### **4. PROCEDIMIENTOS PARA REVISIONES. FORMULARIOS**

Para dar cumplimiento integral a los objetivos de este trabajo es necesario establecer procedimientos claros y bien establecidos de revisiones; estos procedimientos estarán divididos en: estudios, métodos de diseño, informes, evaluación de pavimentos y revisión de planos.

#### **4.1. PROCEDIMIENTO PARA LA REVISIÓN DE LOS ESTUDIOS DEL DISEÑO DE PAVIMENTOS**

Como es de conocimiento general y además se ha mencionado en el capítulo II de este documento, antes de realizar el diseño de un pavimento de cualesquier tipo se necesita realizar estudios previos a este; los estudios que deben realizarse son:

Información general del proyecto y la descripción de los materiales para el diseño del pavimento,

Estudio de la sub-rasante,

Estudio de tráfico y determinación del número de ejes equivalentes,

Serviciabilidad Inicial y Final,

Análisis de escorrentía superficial y caudal de drenaje;

Se establece entonces un procedimiento de revisión para cada uno de los estudios antes mencionados:

##### **a.- Estudio de CBR de la Sub-rasante**

En el estudio del ensayo del CBR de la sub-rasante, debe resaltarse la revisión de los siguientes parámetros principalmente:

Identificación del Proyecto.- ítem en el cual debe existir la información necesaria para identificar con éxito un proyecto y no presente confusión.

Características de la Muestra.- En donde constarán características geométricas de la muestra cómo: diámetro, volumen, número de capas y golpes.

Contenido de humedad,

Porcentaje de agua absorbida,

Datos Esponjamientos.- Ítem claramente identificando las fechas y horas con el tiempo en días.

Datos de Ensayo de Penetración.- Donde debe constar la penetración en pulgadas y las cargas tipo para cada tipo de molde,

Curvas de CBR.- Constan dos graficas principalmente, la primera de presión versus penetración y la segunda de CBR versus Densidad Seca.

#### **b.- Estudio de Tráfico y Determinación de Ejes Equivalentes**

Todo estudio de tráfico debe realizarse considerando aforos e intensidades de cargas por eje. El estudio de TPDA particularmente debe contener el número y frecuencia de vehículos clasificados por el tipo de éstos.

En la determinación de ejes equivalentes debe constar el número de ejes equivalentes inicial y el proyectado para el pavimento hasta el final del período de diseño y la tasa de crecimiento de los vehículos.

#### **c.- Serviciabilidad Inicial y Final**

La serviciabilidad inicial de acuerdo al tipo de pavimento a diseñarse se la considera entre 4.2 a 4.5. según las recomendaciones de la NEVI-12-MTOP.

En la serviciabilidad final debe constar la justificación de acuerdo al tipo de vía del valor de serviciabilidad final.

Una descripción detallada de seVICIABILIDAD se encuentra en este documento en el ítem 2.8.1.

#### **d.- Escorrentía Superficial y Caudal de Drenaje**

EL análisis de lluvias debe contener primeramente el método de cálculo de caudales a drenar; si el método es el racional como lo recomienda la NEVI-12 debe constar la ecuación de cálculo de intensidad de lluvias, el período de retorno y de diseño, adicionalmente debe estar la calidad de drenaje y el tiempo de exposición del pavimento a niveles de humedad próxima a la saturación.

De los literales a, b, c y d se presenta un formulario para realizar el “cross check”.

**UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

**REVISIÓN DE ESTUDIOS DE DISEÑO DE PAVIMENTOS**

**PROYECTO**

Proyecto:			
Documento:			
Codificación:		Fecha:	
Lugar:		Página:	<b>1 de 2</b>

**IDENTIFICACIÓN**

Nº	ÍTEM	SI	NO	Nº	ÍTEM	SI	NO
01	Nombre de Proyecto			06	Codificación		
02	Nombre de Documento			07	Fecha		
03	Título del Documento			08	Elaborado		
04	Lugar			09	Revisado		
05	Nº de Proyecto			10	Aprobado		

**CBR DE LA SUB-RASANTE**

Nº	ÍTEM	SI	NO	Nº	ÍTEM	SI	NO
01	Identificación del Proyecto			05	Esponjamientos		
02	Características de la Muestra			06	Ensayo de Penetración		
03	Contenido de Humedad			07	Curvas de CBR		
04	Porcentaje de Agua Absorbida						

**TRAFICO Y EJES EQUIVALENTES**

Nº	ÍTEM	SI	NO	Nº	ÍTEM	SI	NO
01	Tipos de Vehículos			04	Tasa de Crecimiento		
02	Frecuencia de Vehículos			05	Período de diseño		
03	Ejes Equivalentes Inicial			06	Ejes Equivalentes Final		

**RÚBRICAS**

ELABORADO

REVISADO

APROBADO

**Tabla 4.1. FORMULARIO.- Revisión de Estudios de Diseño (1 de 2)**

Fuente: Propia

**UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

**REVISIÓN DE ESTUDIOS DE DISEÑO DE PAVIMENTOS**

**PROYECTO**

Codificación:		Fecha:	
Lugar:		Página:	<b>2 de 2</b>

**DRENAJES**

Nº	ÍTEM	SI	NO	Nº	ÍTEM	SI	NO
01	Intensidad de Precipitación			05	Calidad de Drenaje		
02	Intensidad Diaria			06	Tiempo de Exposición del Pavimento		
03	Período de Retorno						
04	Tiempo de Duración de Lluvia						

**SERVICIABILIDAD**

Nº	ÍTEM	SI	NO	Nº	ÍTEM	SI	NO
01	Serviciabilidad inicial			03	Pérdida de Servicios		
02	Serviciabilidad final						

**RESULTADOS**

01	Identificación		/10	a	<b>TOTAL</b>		
02	CBR de la Sub-rasante		/7				
03	Tráfico y Ejes Equivalentes		/6				
04	Drenajes		/6	b	<b>ESTADO</b>		
05	Serviciabilidad		/3				

**OBSERVACIONES Y COMENTARIOS**


**RÚBRICAS**


ELABORADO

REVISADO

APROBADO

**Tabla 4.2. FORMULARIO.- Revisión de Estudios de Diseño (2 de 2)**

Fuente: Propia

### e.- Recomendación de Calificación y Diagnóstico

La evaluación de la calificación de acuerdo a los parámetros que propone este formulario en la revisión de estudios para diseño de pavimentos, debe ser en acuerdo mutuo fiscalización-diseño-construcción del proyecto, esto debido a que cada proyecto tiene características particulares que permitirán al comité establecer un promedio ponderado adecuado; sin embargo, se presenta en este trabajo una ecuación que permitirá evaluar los estudios, deberá verificarse si es adecuada la utilización de la ecuación en el proyecto:

$$Q = \frac{ID * 0.5}{10} + \frac{CBR * 1.5}{7} + \frac{TR * 1}{6} + \frac{DR * 1}{6} + \frac{SR * 1}{3}$$

#### Ec. 4.1.- Índice de Calificación, Revisión de Estudios

Dónde:

Q: Índice de calificación de los estudios, sobre 5

ID: Calificación de la identificación, sobre 10

CBR: Calificación de la obtención del CBR, sobre 7

TR: Calificación de la evaluación del tráfico, sobre 6

DR: Calificación de la evaluación del drenaje, sobre 6

SR: Calificación de la evaluación de la serviciabilidad, sobre 3.

El dictamen del criterio de evaluación deberá referirse a la siguiente tabla:

<b>CALIFICACIÓN</b>	<b>ESTADO</b>
0 a 2	DEFICIENTE
2 a 3	MODERADO
3 a 4	ADECUADO
4 a 5	EXCELENTE

**Tabla 4.3. CALIFICACIÓN, Revisión de Estudios**

Fuente: Propia

## **4.2. PROCEDIMIENTO PARA LA REVISIÓN DE MÉTODOS DE DISEÑO**

Ahora se establecerá un procedimiento para ayuda a la revisión de los diferentes tipos de pavimentos, sean estos articulados, flexibles o rígidos.

EL procedimiento se establecerá de tal forma que sea fácil de entender y rápido de revisar para que no se presenten demoras en ninguna etapa del proceso.

### **4.2.1 PAVIMENTOS FLEXIBLES**

Para la revisión exitosa de un diseño de pavimento flexible una vez que se ha culminado la revisión de los estudios previos al diseño, constan de las siguientes consideraciones:

Adecuada obtención de los coeficientes estructurales de los nomogramas de diseño AASHTO,

Coeficientes de drenaje  $m$ ,

Obtención de los números estructurales de cada capa según nomograma AASHTO,

Verificación de espesores, resultados de las iteraciones de las ecuaciones AASTHO,

### **4.2.2 PAVIMENTOS RÍGIDOS**

Para la revisión de pavimentos rígidos se necesita evaluar los siguientes parámetros y condiciones:

Correlación entre el CBR y el Módulo de reacción del suelo  $K$ ,

Módulo de elasticidad del concreto,

Transmisión de carga,

Drenajes

Verificación del espesor dado por el ábaco AASHTO

### 4.2.3 PAVIMENTOS ARTICULADOS

Los pavimentos articulados o adoquinados o formados con adocretos tienen similares variables que los pavimentos flexibles de tal manera que su revisión será muy similar, se debe poner especial atención en:

Coeficiente estructural que se le asigne al adoquín,

Espesor del adoquín a utilizarse,

Número estructural de todo el pavimento,

Espesor de la capa de sub-base.

### 4.3. PROCEDIMIENTO PARA LA REVISIÓN DEL INFORME DE DISEÑO

El informe de diseño de los pavimentos sean estos flexibles, rígidos o articulados debe contener la siguiente información:

CONTENIDO GENERAL DE UN INFORME DE DISEÑO	
ÍTEM	TEMAS
1.- Antecedentes	a.- Alcances
	b.- Antecedentes del Proyecto
	c.- Situación Actual
2.- Método de Diseño	a.- Selección del Método
	b.- Justificación
	c.- Características
3.- Variables del método de diseño	a.- Sub-rasante
	b.- Tránsito
	c.- Ejes y Cargas
	d.- Pavimento Actual
4.- Estudios	a.- Tránsito de Vehículos de Carga
	b.- Materiales
5.- Resultados de Estudios	a.- CBR
	b.- Número de ejes Equivalentes
6.- Espesores del pavimento	a.- Alternativas por Tramos
7.- Resumen del Diseño	a.- Diseño Propuesto
	b.- Drenaje
	c.- Estimado de Costos

**Tabla 4.4. Contenido de Informe de Diseño**

Fuente: (MORALES, 2010)

Por lo tanto el orden en el cual se debe revisar y evaluar cuantitativamente el informe de diseño es el mismo del contenido general y al final elaborar un diagnóstico de esta evaluación.

#### **4.4. INSTRUMENTOS PARA REALIZAR LAS REVISIONES**

El revisor de los estudios, los procesos de diseño e informe para dar cumplimiento a cabalidad con sus objetivos debe poseer de la siguiente información:

Programa de trabajo de los estudios,  
Propuesta Técnica del Consultor,  
Información Contractual de Consultoría,  
Archivo del proyecto,  
Contenido del informe de diseño,  
Lista de chequeo,  
Referencias técnicas sobre los métodos.

El individuo designado para la revisión debe elaborar programas de trabajo o tener experiencia en la elaboración de los mismos.

#### **4.5. FORMULARIOS GUÍAS PARA LAS REVISIONES**

Se desarrollarán en este ítem formularios que serán de utilidad para revisiones de los métodos de diseño de pavimentos rígidos, flexibles y articulados; así como también el formulario de revisión del informe de diseños.

##### **4.5.1 DISEÑOS**

En los diseños de pavimentos se presenta formularios para la revisión de los diferentes tipos de pavimentos, con las consideraciones que debe tener una memoria de cálculo de cualquiera de estos tipos de pavimentos que son los más usados en nuestro país.

**UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

**REVISIÓN DE DISEÑOS DE PAVIMENTOS**

**PROYECTO**

Proyecto:			
Documento:			
Codificación:		Fecha:	
Lugar:		Página:	<b>1 de 2</b>

**IDENTIFICACIÓN DEL PROYECTO**

Nº	ÍTEM	SI	NO	Nº	ÍTEM	SI	NO
01	Nombre de Proyecto			06	Codificación		
02	Nombre de Documento			07	Fecha		
03	Título del Documento			08	Elaborado		
04	Lugar			09	Revisado		
05	Nº de Proyecto			10	Aprobado		

**PAVIMENTOS FLEXIBLES**

Nº	ÍTEM	SI	NO	Nº	ÍTEM	SI	NO
01	Confiabilidad (R)			04	Serviciabilidad Inicial		
02	Desviación Estándar (So)			05	Serviciabilidad Final		
03	Tránsito de Diseño (W18)						
06	Coeficiente Estructural de la Capa de Sub-base Granular a3						
07	Coeficiente Estructural de la Capa de Base Granular a2						
08	Coeficiente Estructural de la Capa de Concreto Asfáltico a1						
09	Módulo Resiliente de la Sub-rasante (MR)						
10	Coeficiente de Drenaje de la Capa de Rodadura (m1)						
11	Coeficiente de Drenaje de la Base Granular (m2)						
12	Coeficiente de Drenaje de la Sub-base Granular (m3)						

**RÚBRICAS**

ELABORADO

REVISADO

APROBADO

**Tabla 4.5. FORMULARIO.- Revisión de Diseño de Pavimentos Flexibles (1 de 2)**

Fuente: Propia



**UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

**REVISIÓN DE DISEÑOS DE PAVIMENTOS**

Proyecto:			
Documento:			
Codificación:		Fecha:	
Lugar:		Página:	<b>1 de 1</b>

**IDENTIFICACIÓN DEL PROYECTO**

Nº	ÍTEM	SI	NO	Nº	ÍTEM	SI	NO
01	Nombre de Proyecto			06	Codificación		
02	Nombre de Documento			07	Fecha		
03	Título del Documento			08	Elaborado		
04	Lugar			09	Revisado		
05	Nº de Proyecto			10	Aprobado		

**PAVIMENTOS RÍGIDOS**

Nº	ÍTEM	SI	NO	Nº	ÍTEM	SI	NO
01	Confiabilidad (R)			04	Serviciabilidad Inicial		
02	Desviación Estándar (So)			05	Serviciabilidad Final		
03	Tránsito de Diseño (W18)						
06	Módulo de Reacción de la Sub-rasante (k)						
07	Módulo de Elasticidad del Concreto (Ec)						
08	Módulo de Rotura del Concreto (Sc)						
09	Coefficiente de Transmisión de Carga (J)						
10	Espesor de Losa (D)			12	Tránsito Real (W18)		
11	D Redondeado			13	SN dispuesto, Base		

**RESULTADOS**

01	Identificación		/10	a	<b>TOTAL</b>	
02	Pavimentos Rígidos		/13	b	<b>ESTADO</b>	

**OBSERVACIONES Y COMENTARIOS**

**RÚBRICAS**

ELABORADO

REVISADO

APROBADO

**Tabla 4.7. FORMULARIO.- Revisión de Diseño de Pavimentos Rígidos**

Fuente: Propia

**UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
REVISIÓN DE DISEÑOS DE PAVIMENTOS**

**PROYECTO**

Proyecto:			
Documento:			
Codificación:		Fecha:	
Lugar:		Página:	<b>1 de 1</b>

**IDENTIFICACIÓN DEL PROYECTO**

Nº	ÍTEM	SI	NO	Nº	ÍTEM	SI	NO
01	Nombre de Proyecto			06	Codificación		
02	Nombre de Documento			07	Fecha		
03	Título del Documento			08	Elaborado		
04	Lugar			09	Revisado		
05	Nº de Proyecto			10	Aprobado		

**PAVIMENTOS ARTICULADOS**

Nº	ÍTEM	SI	NO	Nº	ÍTEM	SI	NO
01	Confiabilidad (R)			04	Serviciabilidad Inicial		
02	Desviación Estándar (So)			05	Serviciabilidad Final		
03	Tránsito de Diseño (W18)			06	Tránsito Real (W18)		
07	Coeficiente Estructural de la Capa de Base Granular a2						
08	Coeficiente Estructural de la Capa de Adoquinado a1						
09	Módulo Resiliente de la Sub-rasante (MR)						
10	Coeficiente de Drenaje, Capa de Rodadura y Base Granular (m1, m2)						
11	Espesor de Base Granular (D2)			12	Espesor de Adoquín (D1)		

**RESULTADOS**

01	Identificación		/10	a	<b>TOTAL</b>	
02	Pavimentos Articulados		/12	b	<b>ESTADO</b>	

**OBSERVACIONES Y COMENTARIOS**

**RÚBRICAS**

ELABORADO

APROBADO

**Tabla 4.8. FORMULARIO.- Revisión de Diseño de Pavimentos Articulados**

Fuente: Propia

#### 4.5.2 COEFICIENTES DE CALIFICACIÓN

Se recomienda que exista una coordinación Fiscalización-Diseño-Construcción para establecer los criterios de aprobación de los trabajos, se recomienda las siguientes ecuaciones para diagnósticos:

Pavimentos Flexibles

$$Q = \frac{ID}{10} + \frac{FL * 4}{22}$$

**Ec. 4.2.- Índice de calificación, Flexibles**

Pavimentos Rígidos

$$Q = \frac{ID}{10} + \frac{RG * 4}{13}$$

**Ec. 4.3.- Índice de calificación, Rígidos**

Pavimentos Articulados

$$Q = \frac{ID}{10} + \frac{AD * 4}{12}$$

**Ec. 4.4.- Índice de calificación, Articulados**

Dónde:

Q: Índice de calificación y diagnóstico,

ID: Calificación de Identificación, sobre 10

FL: Calificación de diseño, sobre 22

RG: Calificación de diseño, sobre 13

AD: Calificación de diseño, sobre 12.

Para el diagnóstico puede referirse a la siguiente tabla:

<b>CALIFICACIÓN</b>	<b>ESTADO</b>
0 a 2	DEFICIENTE
2 a 3	MODERADO
3 a 4	ADECUADO
4 a 5	EXCELENTE

**Tabla 4.9. Calificación, Revisión de Diseños**

Fuente: Propia

### **4.5.3. INFORMES DE DISEÑO**

Para facilidad de revisión de informes de diseño se debe contemplar varios parámetros, dentro de los cuales ya se ha hablado en ítems anteriores de éste documento, entonces conviene ahora resumir esos parámetros dentro de formularios fáciles de manipular pero que reúnan de buena manera toda la información.

**UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

**REVISIÓN DE INFORME DE DISEÑO DE PAVIMENTOS**

**PROYECTO**

Proyecto:			
Documento:			
Codificación:		Fecha:	
Lugar:		Página:	<b>1 de 3</b>

**IDENTIFICACIÓN**

Nº	ÍTEM	SI	NO	Nº	ÍTEM	SI	NO
01	Nombre de Proyecto			06	Codificación		
02	Nombre de Documento			07	Fecha		
03	Título del Documento			08	Elaborado		
04	Lugar			09	Revisado		
05	Nº de Proyecto			10	Aprobado		

**ANTECEDENTES**

Nº	ÍTEM	SI	NO	Nº	ÍTEM	SI	NO
01	Objetivo y Alcances						
02	Antecedentes del Proyecto						
03	Situación Actual						

**MÉTODO DE DISEÑO**

Nº	ÍTEM	SI	NO	Nº	ÍTEM	SI	NO
01	Selección del Método						
02	Justificación						
03	Características						

**VARIABLES DEL MÉTODO DE DISEÑO**

Nº	ÍTEM	SI	NO	Nº	ÍTEM	SI	NO
01	Sub-rasante			03	Ejes y Cargas		
02	Tránsito			04	Pavimento Actual		

**RÚBRICAS**

ELABORADO

REVISADO

APROBADO

**Tabla 4.10. FORMULARIO.- Revisión de Informe de Diseño (1 de 3)**

Fuente: Propia

**UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

**REVISIÓN DE INFORME DE DISEÑO DE PAVIMENTOS**

Codificación:		Fecha:	
Lugar:		Página:	<b>2 de 3</b>

**ESTUDIOS**

Nº	ÍTEM	SI	NO	Nº	ÍTEM	SI	NO
01	Tránsito de Vehículos de Carga						
02	Materiales						

**RESULTADOS DE ESTUDIOS**

Nº	ÍTEM	SI	NO	Nº	ÍTEM	SI	NO
01	CBR						
02	Número de Ejes Equivalentes						

**ESPESORES DE PAVIMENTO**

Nº	ÍTEM	SI	NO	Nº	ÍTEM	SI	NO
01	Alternativas por tramos						

**RESUMEN DEL DISEÑO**

Nº	ÍTEM	SI	NO	Nº	ÍTEM	SI	NO
01	Diseño Propuesto						
02	Drenaje						
03	Estimado de Costos						

**OTROS**

**RÚBRICAS**

ELABORADO

REVISADO

APROBADO

**Tabla 4.11. FORMULARIO.- Revisión de Informe de Diseño (2 de 3)**

Fuente: Propia



#### 4.5.4. COEFICIENTES DE CALIFICACIÓN, INFORMES

Este procedimiento debe reunir criterios de Fiscalización-Diseño-Construcción, sin embargo se presenta una recomendación de calificación:

$$Q = \frac{ID}{10} + \frac{AN}{3} + \frac{MD * 1.5}{3} + \frac{VR * 1.5}{4} + \frac{ES}{2} + \frac{RE * 1.5}{2} + \frac{EP * 1.5}{1} + \frac{RD}{3}$$

##### Ec. 4.5.- Índice de calificación, Informe

Dónde:

Q: Índice de calificación y diagnóstico,

ID: Calificación de Identificación, sobre 10

AN: Calificación de los antecedentes, sobre 3

MD: Calificación de métodos de diseño, sobre 3

VR: Calificación de variables de diseño, sobre 4

ES: Calificación de estudios, sobre 2

RE: Calificación de resultados de estudios, sobre 2

EP: Calificación de espesores, sobre 1

RD: Calificación de resumen de diseño, sobre 3.

Para el diagnóstico puede referirse a la siguiente tabla:

<b>CALIFICACIÓN</b>	<b>ESTADO</b>
0 a 2	DEFICIENTE
2 a 3	MODERADO
3 a 4	ADECUADO
4 a 5	EXCELENTE

**Tabla 4.13. Calificación, Informe**

Fuente: Propia

#### 4.5.5. EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS EXISTENTE. VIZIR

						
<b>UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR</b>						
<b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL</b>						
<b>EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS, VIZIR</b>						
<b>PROYECTO</b>						
Proyecto:						
Documento:						
Codificación:		Fecha:				
Lugar:		Página:		<b>1 de 1</b>		
<b>DETERIOROS TIPO A</b>						
					<b>NIVEL DE GRAVEDAD</b>	
<b>Nº</b>	<b>ÍTEM</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>OBSERV.</b>	
01	Ahuellamiento y otras deformaciones estructurales					
02	Grietas longitudinales por fatiga					
03	Piel de Cocodrilo					
05	Bacheos y Parcheos					
<b>DETERIOROS TIPO B</b>						
					<b>NIVEL DE GRAVEDAD</b>	
<b>Nº</b>	<b>ÍTEM</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>OBSERV.</b>	
01	Grieta longitudinal de junta de construcción					
02	Grietas de Contracción Térmica					
03	Grietas Parabólicas					
04	Grietas de borde					
05	Abultamientos					
06	Ojos de pescado (cada 100 m2)					
07	Desprendimientos: pérdida de película de ligante y pérdida de agregado					
08	Descascaramiento					
09	Pulimento agregados					
10	Exudación					
11	Afloramientos: de mortero, de agua					
12	Desintegración de los bordes del pavimento					
13	Escalonamiento entre calzada y berma					
14	Erosión de las bermas					
<b>RÚBRICAS</b>						
ELABORADO		REVISADO			APROBADO	

Tabla 4.14. FORMULARIO, Deterioros tipo A y B, VIZIR

Fuente: Propia

## **4.6. REVISIÓN DE PLANOS**

Finalmente, cabe realizar un análisis en donde se hacen presentes los parámetros a considerar dentro de la revisión de un plano de ingeniería de detalle que representa un diseño de ingeniería, estos parámetros se los presentará en dos formas: la primera en un listado y el segundo en un formulario para la ejecución de revisiones prácticas.

### **4.6.1 PARÁMETROS DE REVISIÓN DE PLANOS**

Los parámetros de revisión pueden ser los siguientes:

Nombre proyecto en tarjeta, código del plano, revisión y fecha, historial del plano, logotipos, revisado por, aprobado por, escalas, idioma, norte, coordenadas, títulos, ejes y orientaciones, tipos de líneas, escala de líneas, tamaño de textos y dimensiones, achurado, escala de achurado, niveles y cotas, valores de dimensiones, posición de dimensiones, referencia de planos, señalización de cortes, orientación de cortes, marcas de acero, tipos de perfiles, existencia de detalles, escala de detalles, cotas, espesores de líneas, concordancia de detalles, concordancia de cortes, concordancias de vistas, tamaño de hoja, definición de unidades de medida, ortografía, notas generales, leyendas, ubicación, listas de materiales, planillas, otros (especificar).

#### 4.6.2 FORMULARIOS DE REVISIÓN DE PLANOS

							
<b>UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR</b>							
<b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL</b>							
<b>REVISIÓN DE PLANOS</b>							
<b>PROYECTO</b>							
Proyecto:							
Documento:							
Codificación:				Fecha:			
Lugar:				Página:		<b>1 de 2</b>	
<b>PLANOS</b>							
Nº	ÍTEM	SI	NO	Nº	ÍTEM	SI	NO
01	Nombre Proyecto en Tarjeta			16	Tamaño de textos y dimensiones		
02	Código del Plano			17	Achurado		
03	Revisión y Fecha			18	Tarjeta y Margen		
04	Historial del Plano			19	Niveles y cotas		
05	Logotipos			20	Valores de dimensiones		
06	Revisado por			21	Posición de Dimensiones		
07	Aprobado por			22	Referencia de Planos		
08	Escalas			23	Señalización de Cortes		
09	Idioma			24	Orientación de Cortes		
10	Norte Ubicación geográfica y Escala			25	Marcas de Acero		
11	Coordenadas (UTM) y Referencias. (BM)			26	Tipos de Perfiles		
12	Títulos			27	Existencia de Detalles		
13	Ejes y Orientaciones			28	Escala de Detalles		
14	Cuadrícula de Coordenadas			29	Tipo y Espesores de Líneas		
15	Datum			30	Concordancia de Detalles		
<b>RESULTADOS</b>							
01	Planos		/30	a	<b>TOTAL</b>		
				b	<b>ESTADO</b>		
<b>OBSERVACIONES Y COMENTARIOS</b>							
<b>RÚBRICAS</b>							
ELABORADO				APROBADO			

Tabla 4.15. FORMULARIO, Revisión de Planos (1 de 2)

Fuente: Propia

**UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

**REVISIÓN DE PLANOS**

Codificación:		Fecha:	
Lugar:		Página	<b>2 de 2</b>

**PLANOS**

Nº	ÍTEM	SI	NO	Nº	ÍTEM	SI	NO
1	Concordancia de Cortes						
2	Concordancias de Vistas						
3	Tamaño de Hoja						
4	Definición de Unidades de Medida						
5	Ortografía						
6	Notas Generales						
7	Leyendas						
8	Ubicación y Keyplan						

**RESULTADOS**

01	Planos		/8	a	<b>TOTAL</b>	
				b	<b>ESTADO</b>	

**OBSERVACIONES Y COMENTARIOS**


**RÚBRICAS**


ELABORADO

APROBADO

**Tabla 4.16. FORMULARIO, Revisión de Planos (2 de 2)**

Fuente: Propia

## **CAPITULO V**

### **5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1. CONCLUSIONES**

1. - Al establecer una metodología guía para la revisión de los informes de diseño de los diferentes tipos de pavimentos y los correspondientes formularios que generan una revisión más ágil y estandarizada.
- 2.- Se elaboró un resumen unificado de criterios para el diseño de pavimentos flexibles, rígidos y articulados de forma sintética y con referencias directas a normativas pertinentes para su fácil ubicación en diseños y revisiones.
- 3.- Implementando un procedimiento unificado para la revisión de todos los estudios necesarios para el diseño de pavimentos, acompañado de los formularios guías para las revisiones y adicionalmente el flujo-grama que indica secuencialmente las actividades que deben realizarse en la revisión de estudios para diseños de pavimentos.
- 4.- Se han generado formularios para realizar una revisión homogénea de los diseños de los tipos de pavimentos.
- 5.- Se estandariza un procedimiento guía para realizar todos los tipos de revisiones y sus formularios correspondientes.
- 6.- Para el diagnóstico en las revisiones de los informes de diseño, estudios, métodos de diseño, evaluación de pavimentos existentes y planos, se han planteado ecuaciones con promedios ponderados para llegar a la calificación y aprobación del documento.
- 7.- Se unifica los criterios de evaluación de pavimentos existentes, para esto se realizó una clasificación de los daños presentes en los pavimentos y, posteriormente ser evaluados y diagnosticados con los métodos de Vizir y la ASTM D6433.

8.- Se crea formularios que contienen parámetros de diseño como guía para la adecuada elaboración de los planos.

9.- La buena calidad de la sub-rasante producirá un diseño de pavimento económico y serán menos costosas sus reparaciones luego de su vida útil inicial. Según el análisis presentado en el ítem 2.6.1.1 de este manual.

10.- Los factores climáticos afectan directamente la vida útil de las estructuras de los pavimentos es por ello que sus efectos se cuantifican a través de tablas de pluviosidades, temperaturas promedio y extremas en la zona, etc., para de esta forma obtener diseño eficaz y eficiente del pavimento, como se expone en el ítem 2.6.1.4. Este manual es para el Ecuador y por lo tanto toma en consideración los climas del mismo.

11.- El estudio de tráfico afecta directamente a la vida útil y serviciabilidad del pavimento, por lo que debe evaluarse y categorizarse de acuerdo a los parámetros que la norma MOP-NEVI y este manual los recomienda y exige. Eso puede verse a través de las ecuaciones y tablas de diseño del ítem 2.6.1.2.

12.- Un documento con metodologías de revisiones, se convierte en una herramienta muy útil, dentro de los profesionales que deben desarrollar sus actividades relacionadas con la revisión de los informes de diseño, estudios, métodos de diseño, evaluación de pavimentos existentes y planos.

## **5.2. RECOMENDACIONES**

1.- Para el diseño óptimo de un pavimento, se recomienda realizar estudios de tránsito, capacidad de sub-rasante, efectos climáticos, período de diseño, serviciabilidad con la mayor prolijidad y detalle, ya que de estos estudios depende la vida útil, el costo, entre otros factores importantes del diseño.

2.- Se recomienda ampliar la investigación para efectos climáticos críticos; es decir, para altas temperaturas y muy bajas temperaturas, así como para la variación brusca de las mismas.

3.- La información de los formularios debe llevarse con honestidad y veracidad para que los resultados reflejen la situación real de un estudio, un informe, un diseño o una revisión.

4.- Es aconsejable utilizar este manual para la revisión de diseños de pavimentos por que en éste se ha hecho un estudio comparativo y de resumen entre normas MOP-NEVI Y AASHTO por lo que facilitará la revisión de los diseños.

5.- Se sugiere utilizar los métodos que este trabajo plantea para revisión de diseños para obtener resultados homologados y además obtener diseños durables y económicos.

6.- Es recomendable utilizar este manual para revisión y evaluación de: estudios para diseño, evaluación de pavimentos existentes, informes de diseño, planos; por que utilizando este proceso homologado se puede llegar a un resultado con rapidez y efectividad.

7.- Para un mejor desempeño de las estructuras de los pavimentos se recomienda ampliar investigaciones a otros materiales o a métodos de reforzamiento de los mismos, como fibras de acero y polímeros.

8.- La utilización del presente manual mejorará el desempeño de los profesionales en la revisión de estudios de ingeniería, revisión de planos y elaboración de términos de referencia.

## BIBLIOGRAFIA:

### LIBROS, TESIS Y CÓDIGOS:

1. - American Association of State *Highway and Transportation Officials*, AASHTO, Standard Specification for Highway, 1993.
2. - American Society for Testing Materials ASTM D6433; Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys.
- 3.- **AVILA**, Hernán. Especificaciones Técnicas para el Diseño y Construcción de Pavimentos Flexibles. Universidad de Chile. Facultad de Ingeniería.
- 4.- **CALO**, Diego. *Diseño de Pavimentos Rígidos*. Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Primera edición. Versión digital.
- 5.- **HIGUERA** Sandoval, Carlos. *Mecánica de Pavimentos Principios Básicos*. Editorial: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Primera edición. 298 págs.
- 6.- **HIGUERA** Sandoval, Carlos. *Nociones Sobre Evaluación y Rehabilitación de Estructuras de Pavimentos*. Editorial de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Primera edición. 381 págs.
- 7.- **LEÓN**, Mario. *Vías de Comunicación*, Documento de información para cátedra. 2010.
- 8.- Ministerio de Transporte e Infraestructura, Dirección General; *Manual para la revisión de diseños de pavimentos*; Nicaragua, Octubre 2008.
- 9.- Ministerio de Transporte y Obras Públicas.- Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes mop-001-f-2002.- mop.-2002.- Quito.
- 10.- Ministerio de Transporte y Obras Públicas.- *Estudio del tráfico promedio diario anual*.- MOTP.-2010.- Quito;
- 11.- MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS. SUBSECRETARÍA *De infraestructura del transporte*, Norma Ecuatoriana Vial. NEVI-12-MTOP

12.- **MONTEJO** Fonseca, Alfonso. Ingeniería de Pavimentos. Universidad Católica de Colombia. 496 págs.

13.- **MORALES** Camacho, Pablo. *Construcción y Conservación de Vías*. Editorial: Escuela Colombiana de Ingeniería. Primera edición. 486 págs.

14.- **ORDOÑEZ**, González. *Diseño Moderno de Pavimentos Asfálticos*. Version digital;

15.- **ORTUÑO**, Caiza, Yachirema. *Diseño Vial Definitivo de la Avenida Escalon 2*. Universidad Politécnica Salesiana. Quito 2012

16.- Portland Cement Association, PCA.- *Diseño y control de mezclas de concreto* (PRIMERA EDICIÓN). - 2004.- México.

17.- **REYES** Lizcano, *Diseño Racional de Pavimentos*, 1 edición, 584 paginas;

18.- **RICO** Rodriguez, Alfonso. Pavimentos Flexibles, Problemática, Metodologías de Diseño y Tendencias. Versión Digital.

19. - WALPOLE, Probability and Statistics for engineering and Scientists, version digital.

#### **REFERENCIAS ELECTRÓNICAS:**

1.- <http://www.libros.publicaciones.ipn.mx/PDF/1534.pdf>

2.- <http://www.urbanismo.com/pavimentos-flexibles/>

3.- <http://es.scribd.com/doc/50570295/PAVIMENTOS-SEMIRRIGIDOS>

4.- <http://es.scribd.com/doc/126490705/tipos-de-pavimentos-pdf>

5.- <http://es.scribd.com/doc/24569132/Pavimentos-articulados-adoquines>

6. [http://www2.udec.cl/~provial/trabajos\\_pdf/06ThenouxDise%F1oBajotransito.pdf](http://www2.udec.cl/~provial/trabajos_pdf/06ThenouxDise%F1oBajotransito.pdf)

7. <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/504/A5%20Factores%20que%20interviene%20en%20el%20dise%C3%B1o%20de%20Pavimentos.pdf?sequence=5>

8. [http://www.lanamme.ucr.ac.cr/riv/index.php?option=com\\_content&view=article&id=253&Itemid=265](http://www.lanamme.ucr.ac.cr/riv/index.php?option=com_content&view=article&id=253&Itemid=265)
- 9.- [http://www.fceia.unr.edu.ar/secyt/rt/2006/rtid06\\_02.pdf](http://www.fceia.unr.edu.ar/secyt/rt/2006/rtid06_02.pdf)
- 10.- <http://www.slideshare.net/lisandroromani/apunte-pavimentos>
- 11.- <http://www.camineros.com/docs/cam060.pdf>
- 12.- <http://www.da-ing.com/pagina/productos/agregados/>
- 13.- <http://www.slideshare.net/WilsonMolinax/pavimentos-13657324>
- 14.- [http://www.bdigital.unal.edu.co/2405/1/32182315.2009\\_1.pdf](http://www.bdigital.unal.edu.co/2405/1/32182315.2009_1.pdf)
- 15.- <http://ingenieriareal.com/indice-de-serviciabilidad-en-pavimentos-de-concreto-asfaltico/>
16. [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lic/sanchez\\_r\\_se/capitulo2.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/sanchez_r_se/capitulo2.pdf)
- 17.- <http://es.scribd.com/doc/18190693/Historia-de-Los-Pavimentos>
- 18.- <http://es.scribd.com/doc/56199980/1-Introduccion-1-1-Antecedentes-y-Evolucion-de-Los-Pavimentos-de-Concreto>
- 19.- <http://es.scribd.com/doc/57943562/pavimento-rigido>
- 20.- <http://ingenieriareal.com/metodo-aashto-para-pavimento-flexible/>
- 21.- <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/4203/>
- 22.- <http://www.buenastareas.com/ensayos/Caracteristicas-De-Un-Pavimento-Flexible/276739.html>
- 23.- <http://www.construaprende.com/docs/trabajos/310-pavimentos-flexibles>
- 24.- <http://www.ingenierocivilinfo.com/2011/09/normal-0-21-false-false-false.html>

