



**EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL DE LOS  
PAVIMENTOS FLEXIBLES POR EL MÉTODO DE LAS DEFLEXIONES EN  
LA AV. ABELARDO J ANDRADE DEL CANTÓN CUENCA**

**INGENIERÍA CIVIL**

**Autores:**

- Alicia Teresa Pesantez Burgos
- Jessica Silvana Rodríguez Quito

**Director:**

- Ing. Luis Mario Almache Sánchez

**Cuenca, 08 de abril de 2016**

## AGRADECIMIENTOS

Los conocimientos necesarios para culminar con éxito nuestra carrera universitaria no habría sido posible sin la ayuda de:

Dios Todo Poderoso, Gracias a que siempre nos ha protegido e iluminado para la culminación de nuestra carrera, tan importante en nuestras vidas.

Al Ing. Luis Mario Almache, nuestro Director de tesis, porque siempre estuvo pendiente de todo para así cumplir con éxito nuestra meta y por todo el apoyo y dedicación incondicional que nos brindó.

A todos los Ingenieros de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Católica de Cuenca, por brindarnos sus conocimientos para así culminar con nuestra carrera.

A todo el GAD Municipal del Cantón Cuenca, por toda la valiosa información que nos brindaron, ya sin ella no hubiéramos podido terminar este trabajo de graduación, especialmente al Ing. Carlos Cordero, Ing. Marcelo Torres, Al Topógrafo Carlos y Laboratorista William Lituma por la paciencia y comprensión que nos expresaron.

Y a todas las personas que directa o indirectamente nos han ayudado.

## **DEDICATORIA: ALICIA PESANTEZ BURGOS**

A Dios todo poderoso, porque soy una persona de Fe y creo firmemente que estuvo guiando mi camino, y como el tiempo de Dios es perfecto, tengo la infinita dicha de estar celebrando este triunfo y ofrecérselo.

A mi amada madre Joselina Burgos, quien es el motor de mi vida, siempre dispuesta a darme las fuerzas sin mirar la adversidad gracias por siempre estar a mi lado apoyando mi determinación, le expreso mi profundo agradecimiento por creer en mí, motivarme y aconsejarme, por su infinita bondad y paciencia, sin ella este logro no hubiese sido posible.

A mis sobrinos Andy, Daniela, Valentina, Soledad, Nicolás, Nils, a quienes quiero con todo mi corazón, fueron motivo de inspiración para mí.

A mis hermanos Ricardo, Geovanny, Fabián por su apoyo, este Título de Ingeniera es también para Ustedes los amo.

### **DEDICATORIA: JESSICA RODRIGUEZ QUITO**

A DIOS todo poderoso, agradezco que me hayas permitido vivir hasta hoy, gracias a ti he logrado cumplir con uno de mis grandes sueños. Me iluminas cada día, tienes misericordia de mí y de cada una de las personas que me han acompañado en las diferentes etapas de mi vida. Te dedico este momento tan especial en mi vida y me pongo a tus pies porque sé que puedo contar contigo hoy, mañana y siempre.

A mis padres Julio Rodríguez y Lourdes Quito que supieron guiarme en tu camino, me inspiran a seguir, se alegran con mis logros y me aman más cuando estoy triste. Gracias por su amor, su comprensión, sus sacrificios, sus consejos acertados y su apoyo incondicional. Yo sé Señor que no pudiste darme una mejor familia que la que tengo, ya que son lo mejor que me has dado.

A mi hermano Diego Rodríguez que me comprende y apoya en todo lo que puede y sé que me entiende y perdona por todo el tiempo que no he podido estar a su lado, lo Quiero tanto.

A familiares: Abuelo/a, tíos/as, primos/as, sobrinos que me han animado a seguir siempre adelante y me demuestran su amor. Los quiero mucho a todos.

Y como no dedicar este logro tan importante al amor de mi vida Matías Alejandro, gracias Señor por darme la oportunidad de tenerlo junto a mi te AMO tanto hijo mío.

## RESUMEN

Con el desarrollo del presente Estudio de “Evaluación de la capacidad estructural de los pavimentos flexibles por el método de las deflexiones en la Av. Abelardo J Andrade del Cantón Cuenca” se pretende describir brevemente los conceptos básicos de pavimento flexible, a partir de este contexto, definió una serie de principios de la evaluación estructural de pavimentos y algunos criterios para realizarla. Posteriormente se analizó el método (Modelo de Hoog) y el equipo (Viga Benkelman) empleado en la evaluación estructural. De este método y equipo se destacan las características más relevantes, ventajas y desventajas de su uso así como los resultados que producen. Una vez analizado el método y el equipo consecuentemente se procedió a la respectiva evaluación estructural, las cuales permitirán precisar una serie de recomendaciones a cerca de la metodología aplicada, para así determinar la capacidad estructural del pavimento en una vial existente, en cualquier momento de su vida de servicio, para establecer y cuantificar las necesidades de rehabilitación cuando el pavimento se acerca al fin de su vida útil o cuando el pavimento va a cambiar su función. La alternativa presentada en este estudio es "no destructiva" y se basa en la interpretación de las deflexiones medidas en la superficie de un pavimento, tomando en cuenta la aplicación de Métodos de la AASHTO e información de evaluación estructural “no destructiva” y otros tipos de datos.

**Palabras Clave:** Evaluación, Pavimento flexible, capacidad estructural, método.

## SUMMARY

With the development of this study "Evaluation of the structural capacity of flexible pavements by the method of deflections at Av. Abelardo J Andrade Canton Cuenca" it is intended to briefly describe the basic concepts of flexible pavement, from this context a number of principles of structural evaluation of pavements and some judgment is defined. Later the method (model Hogg) and equipment (Benkelman beam) used in structural assessment are analyzed. This method and equipment, highlights the most relevant characteristics, advantages and disadvantages of their use, as well as the results they produce.

Having analyzed the method and equipment will proceed to the respective structural evaluation and to establish a set of related, which allow specifying a series of recommendations about the methodology used to determine the bearing capacity of pavement-subgrade system on an existing road structure at any time of their service life, to establish and quantify the rehabilitation needs when the pavement is approaching the end of its life or when the pavement will change its function. The alternative presented in this study is "non-destructive" and is based on the interpretation of the measures deflections on the surface of a pavement, taking into account the application of methods of AASHTO and information structural assessment "nondestructive and other data.

## INDICE DE CONTENIDO

|   |           |
|---|-----------|
| <b>AGRADECIMIENTOS</b> .....                      | <b>1</b>  |
| <b>DEDICATORIA: ALICIA PESANTEZ BURGOS</b> .....  | <b>2</b>  |
| <b>DEDICATORIA: JESSICA RODRIGUEZ QUITO</b> ..... | <b>3</b>  |
| <b>RESUMEN</b> .....                              | <b>4</b>  |
| <b>SUMMARY</b> .....                              | <b>5</b>  |
| <b>NDICE DE CONTENIDO</b> .....                   | <b>6</b>  |
| <b>INDICE DE TABLAS</b> .....                     | <b>14</b> |
| <b>INDICE DE FIGURAS</b> .....                    | <b>15</b> |
| <b>INDICE DE FOTOGRAFIAS</b> .....                | <b>16</b> |
| <b>CAPITULO 1: GENERALIDADES</b> .....            | <b>19</b> |
| 1.1 GENERALIDADES.....                            | 19        |
| 1.2 EVALUACIÓN ESTRUCTURAL NO DESTRUCTIVA.....    | 20        |
| 1.3 PROBLEMA .....                                | 20        |
| 1.3.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....               | 20        |
| 1.3.2 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA.....              | 21        |
| 1.4 DEFINICIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO .....        | 22        |
| 1.5 OBJETIVOS.....                                | 24        |
| 1.5.1 GENERAL .....                               | 24        |
| 1.5.2 ESPECÍFICOS .....                           | 24        |
| 1.6 HIPOTESIS.....                                | 25        |



|  |           |
|--|-----------|
| 1.7 ALCANCES GLOBALES.....   | 25        |
| 1.8 LIMITACIONES .....   | 26        |
| 1.9 JUSTIFICACION .....  | 26        |
| 1.9.1 Por el beneficio .....   | 26        |
| 1.9.2 Por la fuente de datos:.....   | 27        |
| 1.9.3 Por la utilidad metodológica:.....   | 27        |
| 1.9.4 Por el resultado: .....  | 27        |
| 1.10 METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION.....  | 27        |
| 1.10.1 Etapa I: RECOPIACION DE INFORMACIÓN.....  | 28        |
| 1.10.2 Etapa II: VISITAS DE CAMPO .....  | 28        |
| 1.10.3 Etapa III PRUEBAS Y ENAYOS A REALIZAR.....                                      | 28        |
| 1.10.4 Etapa IV: ANÁLISIS, COMPARACIÓN Y CLASIFICACION DE LA INFORMACIÓN OBTENIDA..... | 28        |
| 1.11 POBLACIÓN Y MUESTRA.....  | 29        |
| <b>CAPITULO 2: MARCO TEORICO CONCEPTUAL.....</b>                                       | <b>33</b> |
| 2. MARCO TEORICO CONCEPTUAL.....   | 33        |
| 2.1 INTRODUCCIÓN.....  | 33        |
| 2.2 DESARROLLO DE CONCEPTOS BÁSICOS DE PAVIMENTOS FLEXIBLES.....                       | 33        |
| 2.2.1 PAVIMENTO.....   | 33        |
| 2.2.2 TIPOS DE PAVIMENTOS.....   | 35        |
| 2.2.3 PAVIMENTO RÍGIDO .....   | 35        |
| 2.2.4 PAVIMENTO FLEXIBLE.....  | 35        |





|   |    |
|---|----|
| 2.2.5 PAVIMENTO ARTICULADO .....                        | 36 |
| 2.3 OTROS CONCEPTOS DE PAVIMENTOS FLEXIBLES .....       | 36 |
| 2.4 OTRAS DEFINICIONES IMPORTANTES .....                | 37 |
| 2.4.1 AGREGADO .....                                    | 37 |
| 2.4.2 AGREGADO GRUESO .....                             | 37 |
| 2.4.3 AGREGADO FINO .....                               | 37 |
| 2.4.4 ALCANTARILLA .....                                | 37 |
| 2.4.5 DAÑOS .....                                       | 38 |
| 2.4.6 DEFLEXION .....                                   | 38 |
| 2.4.7 DERECHO DE VIA .....                              | 38 |
| 2.4.8 HOMBRO .....                                      | 38 |
| 2.4.9 MANTENIMIENTO .....                               | 39 |
| 2.4.10 MEJORAMIENTO .....                               | 39 |
| 2.4.11 REHABILITACION .....                             | 39 |
| 2.4.12 RUGOSIDAD .....                                  | 40 |
| 2.4.13 EL ENVEJECIMIENTO DEL ASFALTO .....              | 40 |
| 2.5 COMPONENTE ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE ..... | 41 |
| 2.5.1 TERRENO DE FUNDACIÓN .....                        | 41 |
| 2.5.2 TERRACERÍA .....                                  | 41 |
| 2.5.3 SUBRASANTE .....                                  | 42 |
| 2.5.4 SUBBASE .....                                     | 43 |
| 2.5.5 PRINCIPALES FUNCIONES DE LA SUBBASE .....         | 43 |



|   |    |
|---|----|
| 2.5.6 BASE .....  | 44 |
| 2.5.7 TIPOS DE BASE .....                                 | 45 |
| 2.5.9 CARPETA.....  | 45 |
| 2.6 CLASIFICACION DE LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES .....       | 46 |
| 2.6.1 MEZCLA ASFÁLTICA EN FRÍO .....                      | 47 |
| 2.6.2 MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE.....                   | 47 |
| 2.6.3 TRATAMIENTO SUPERFICIAL .....                       | 48 |
| 2.6.4 MACADÁN ASFÁLTICO .....                             | 50 |
| 2.7 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE ..... | 50 |
| 2.7.1 VENTAJAS .....                                      | 50 |
| 2.7.2 DESVENTAJAS .....                                   | 51 |
| 2.8 ASPECTOS IMPORTANTES DE PAVIMENTOS FLEXIBLES.....     | 51 |
| 2.8.1 VIDA DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE .....                 | 51 |
| 2.8.1.1 Fase de Consolidación.....                        | 51 |
| 2.8.1.2 Fase Elástica .....                               | 52 |
| 2.8.1.3 Fase de Fatiga.....                               | 53 |
| 2.8.2 MECANISMOS DE DEFORMACIÓN.....                      | 53 |
| 2.8.2.1 Transitorias.....                                 | 54 |
| 2.8.2.2 Permanente.....                                   | 54 |
| 2.8.2.3 Por consolidación.....                            | 54 |
| 2.8.2.4 Plástica .....                                    | 55 |
| 2.8.2.5 Por Expansión .....                               | 55 |



---

|   |           |
|---|-----------|
| 2.8.3 CATEGORÍAS DE MANTENIMIENTO .....   | 55        |
| 2.8.4 MANTENIMIENTO DE EMERGENCIA.....  | 56        |
| 2.8.4.1 El mantenimiento rutinario.....   | 56        |
| 2.8.4.2 El mantenimiento Periódico .....  | 56        |
| 2.8.4.3 El mantenimiento preventivo .....   | 57        |
| 2.8.4.4 El mantenimiento 2por administración a costo más porcentaje .....                   | 59        |
| 2.8.4.5 El mantenimiento de emergencia.....   | 59        |
| 2.9 METODO DE DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES .....  | 60        |
| 2.9.1 METODOLOGÍA.....  | 60        |
| 2.9.2 MÓDULO RESILENTE DE LA SUBRASANTE .....   | 61        |
| 2.9.3 SERVICIALIDAD .....   | 61        |
| 2.9.4 CONFIABILIDAD .....   | 62        |
| 2.9.5 DESVIACIÓN ESTÁNDAR COMBINADA (SO) .....  | 62        |
| 2.9.6 NÚMERO ESTRUCTURAL .....  | 62        |
| 2.9.7 COEFICIENTE DE DRENAJE.....   | 63        |
| 2.9.8 MÓDULOS ELÁSTICOS DE LOS MATERIALES DE LAS CAPAS EN LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO ..... | 64        |
| 2.9.9 CONSIDERACIONES DE DISEÑO SEGUN AASHTO .....  | 69        |
| <b>CAPITULO 3: DAÑOS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES .....</b>                                      | <b>72</b> |
| 3.0 DAÑOS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES .....   | 72        |
| 3.1 FALLAS DE SUPERFICIE .....  | 72        |
| 3.2 FALLAS ESTRUCTURALES.....   | 73        |



---

|   |            |
|---|------------|
| 3.3 CLASIFICACION DE LOS DAÑOS SUPERFICIALES DE LOS PAVIMENTOS .....                          | 75         |
| 3.4 COMBINACIÓN DE LAS FALLAS .....   | 80         |
| 3.5 FACTORES QUE AFECTAN EL COMPORTAMIENTO DEL PAVIMENTO .....                                | 80         |
| 3.6 TIPOS DE DAÑOS EN EL PAVIMENTO ASFALTICO IDENTIFICADOS EN LA AV. ABELARDO J. ANDRADE..... | 81         |
| 3.6.1 FISURAS LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES .....  | 82         |
| 3.6.2 FISURAS LONGITUDINALES EN EL CENTRO .....   | 86         |
| 3.6.3 FISURAS EN FORMA DE PIEL DE COCODRILO .....   | 88         |
| 3.6.4 FISURAS EN LOS BORDES .....   | 91         |
| 3.6.5 FISURAS DE REFLEXIÓN .....  | 93         |
| 3.6.6 HUNDIMIENTOS.....   | 94         |
| 3.6.7 BACHES Y CALAVERAS.....   | 95         |
| <b>CAPITULO 4 .....</b>   | <b>102</b> |
| 4.1 EVALUACIÓN DEL PAVIMENTO FLEXIBLE .....   | 102        |
| 4.2 MEDICIÓN DE DEFLEXIONES UTILIZANDO LA VIGA DE BENKELMAN .....                             | 103        |
| 4.3 METODOS DE ANALISIS .....   | 112        |
| 4.4 METODOLOGÍAS EMPÍRICAS (MÉTODO ESTADÍSTICO) .....   | 113        |
| 4.4.1 Zonas Singulares.....   | 113        |
| 4.5 TABLA DE DEFLEXIONES CORREGIDAS Y RADIOS DE CURVATURA .....                               | 114        |
| 4.6 DEFLECTOGRAMAS .....  | 119        |
| 4.7 DEFLEXIÓN VS DISTANCIA .....  | 119        |
| 4.8 RADIO DE CURVATURA VS DISTANCIA .....   | 120        |

11



|  |            |
|--|------------|
| 4.9 COMPARACIÓN ENTRE RADIO DE CURVATURA Y DEFLEXIONES.....              | 120        |
| 4.10 RADIO DE CURVATURA .....  | 121        |
| 4.11 TABLA DE VALORES DE RADIOS DE CURVATURA QUE NO CUMPLEN .....        | 122        |
| 4.12 ESTUDIO DE LA HOMOGENEIDAD Y ZONAS DÉBILES .....                    | 124        |
| 4.13 DEFLECTOGRAMA DE HOMOGENEIDAD .....                                 | 124        |
| 4.14 TABLA DE HOMOGENEIDAD Y ZONAS DÉBILES .....                         | 125        |
| 4.15 VALOR MEDIO DE LA DEFLEXIÓN.....                                    | 130        |
| 4.16 DESVIACIÓN ESTÁNDAR.....  | 130        |
| 4.17 COEFICIENTE DE VARIACIÓN .....                                      | 130        |
| 4.18 DEFLEXIÓN CARACTERÍSTICA .....                                      | 130        |
| 4.19 CAPADIDAD ESTRUCTURAL.....  | 131        |
| 4.20 METODOLOGIA (MODELO MATEMÁTICO DE HOGG) .....                       | 134        |
| 4.21 DATOS Y PARAMETROS OBTENIDOS: .....                                 | 134        |
| 4.21.1 MODELO DE HOGG .....  | 134        |
| 4.21.2 RADIO DE LA HUELLA DE CONTACTO (A).....                           | 135        |
| 4.21.3 DETERMINACIÓN DE R5 .....   | 135        |
| 4.21.4 DETERMINACIÓN DE LA LONGITUD ELASTICA L0.....                     | 135        |
| 4.21.5 DETERMINACIÓN DEL MODULO DE ELASTICIDAD DE LA SUBRASANTE E0 ..... | 136        |
| 4.21.7 CALIFICACIÓN .....  | 137        |
| <b>CAPITULO 5 .....</b>  | <b>139</b> |
| 5.1 CONCLUSIONES .....   | 139        |



|                           |     |
|---------------------------|-----|
| 5.2 RECOMENDACIONES ..... | 141 |
| 5.3 BIBLIOGRAFÍA.....     | 142 |

## INDICE DE TABLAS

|   |     |
|---|-----|
| Tabla 1. Calidad de drenaje de acuerdo al tiempo de saturación..... | 63  |
| Tabla 2. Coeficientes de drenaje para pavimentos flexibles.....     | 63  |
| Tabla 3. Módulos Elásticos para pavimentos flexibles.....           | 64  |
| Tabla 4. Fallas en pavimentos flexibles-deformaciones.....          | 76  |
| Tabla 5. Fallas en pavimentos flexibles-fisuras y grietas.....      | 77  |
| Tabla 6. Fallas en pavimentos flexibles - desprendimientos.....     | 78  |
| Tabla 7. Fallas en pavimentos flexibles – afloramientos.....        | 79  |
| Tabla 8. Tabla de datos.....  | 112 |
| Tabla 9. Tabla de deflexiones corregidas y radios de curvatura..... | 118 |
| Tabla 10. Tabla de valores de radios de curvatura.....              | 123 |
| Tabla 11. Tabla de Homogeneidad en zonas débiles.....               | 129 |
| Tabla 12. Determinación de la capacidad estructural.....            | 132 |
| Tabla 13. Determinación de la capacidad estructural.....            | 133 |

## INDICE DE FIGURAS

|   |     |
|---|-----|
| Figura 1. Estructura de un pavimento flexible.....  | 41  |
| Figura 2. Relación entre el Módulo Elástico para la sub-base granular y distintos parámetros resistentes..... | 65  |
| Figura 3. Relación entre el coeficiente estructural para base tratada con asfalto .....                       | 66  |
| Figura 4. Relación entre el Módulo para la Base granular y distintos parámetros resistentes .....             | 67  |
| Figura 5. Coeficiente Estructural de capas asfálticas en función del módulo elástico .....                    | 68  |
| Figura 6. Centro de gravedad y correcta posición de la VIGA DE BEMKELMAN.....                                 | 108 |
| Figura 7. Tabla de calificación y uso del suelo según el valor del CBR .....                                  | 137 |



## INDICE DE FOTOGRAFIAS

|  |    |
|--|----|
| Fotografía 1. Falla longitudinal en el centro de la vía, abscisas 5+052 .....      | 83 |
| Fotografía 2. Fisura Transversal, abscisas 6+400.....                              | 84 |
| Fotografía 3. Fisura longitudinal, abscisas 6+500 .....                            | 84 |
| Fotografía 4. Fisura longitudinal, abscisas 3+400 .....                            | 85 |
| Fotografía 5. Fisura longitudinal ubicada en el carril derecho, abscisa 6+600..... | 85 |
| Fotografía 6. Fisura longitudinal, abscisas 6+400 .....                            | 87 |
| Fotografía 7. Fisura piel de cocodrilo, abscisa 0+400 .....                        | 88 |
| Fotografía 8. Fisura piel de cocodrilo, abscisa 1+600 .....                        | 89 |
| Fotografía 9. Fisura piel de cocodrilo, abscisa 2+600 .....                        | 89 |
| Fotografía 10. Fisura piel de cocodrilo, abscisa 2+650 .....                       | 90 |
| Fotografía 11. Fisura piel de cocodrilo, abscisa 3+220 .....                       | 90 |
| Fotografía 12. Fisuras en el borde, abscisas 5+052 .....                           | 92 |
| Fotografía 13. Fisura de reflexión, abscisa 3+500.....                             | 93 |
| Fotografía 14. Hundimiento.....  | 94 |
| Fotografía 15. Baches, abscisas 1+650.....   | 95 |
| Fotografía 16. Baches, abscisas 1+750.....   | 96 |
| Fotografía 17. Baches, abscisas .....  | 96 |
| Fotografía 18. Baches, abscisas 2+900.....   | 97 |

|   |     |
|---|-----|
| Fotografía 19. Baches, abscisas 2+900 .....   | 97  |
| Fotografía 20. Medición de deflexiones en coordinación con el Ing. Marcelo Torres tutor de tesis delegado del GAD MUNICIPAL DEL CANTON CUENCA .....       | 103 |
| Fotografía 21. Medición de deflexiones en coordinación con el Ing. Marcelo Torres tutor de tesis delegado del GAD MUNICIPAL DEL CANTON CUENCA .....       | 104 |
| Fotografía 22. Colocación típica de la Viga de Benkelman en coordinación con el laboratorista del GAD MUNICIPAL DEL CANTON CUENCA Sr. William Lituma..... | 104 |
| Fotografía 23. Viga de Benkelman .....  | 105 |
| Fotografía 24. Vehículo de carga.....   | 106 |
| Fotografía 25. Ensayo de deflexión .....  | 107 |
| Fotografía 26. Localización de 70cm del borde .....   | 108 |
| Fotografía 27. Colocación Típica de la VIGA DE BENKELMAN .....  | 109 |
| Fotografía 28. Colocación Típica de la VIGA DE BENKELMAN .....  | 110 |



*ucacue*

COMUNIDAD EDUCATIVA AL SERVICIO DEL PUEBLO

---

# **CAPITULO 1:**

# **GENERALIDADES**

## **CAPITULO 1: GENERALIDADES**

### **1.1 GENERALIDADES**

La infraestructura vial en el Ecuador, ha mantenido una historia de afecciones constantes, como paralizaciones y colapso de puentes y caminos, generadas tanto por el riesgo sísmico cuanto por los factores climáticos a los que por décadas los Gobiernos han tenido que afrontar con soluciones inmediatas y onerosas para el erario nacional, sin ningún soporte tecnológico que garantice una seguridad adecuada para el desarrollo. (Norma Ecuatoriana vial Nevi-12-MTOP, 2013). Las afecciones de la red vial señaladas, han incidido negativamente al proceso de desarrollo económico y productivo del Ecuador, incidiendo en el índice de pobreza y limitando el acceso a bienes, productos y servicios vitales garantizados por la Constitución (Norma Ecuatoriana vial Nevi-12-MTOP, 2013); por lo que existe la necesidad de contar con elementos que permitan seleccionar las técnicas y equipos de evaluación estructural de pavimentos más adecuados según necesidades específicas. Este estudio trata de la evaluación estructural de los pavimentos flexibles, incluyendo una metodología para generar alternativas de conservación para un proyecto carretero determinado, tomando en cuenta la información de evaluación estructural “no destructiva” y otros tipos de datos. Al evaluar la capacidad estructural de los pavimentos, el primer paso consiste en supervisar algunas características, esto es a través de la medición de deflexiones o curvaturas de superficie del pavimento, bajo cargas elásticas o dinámicas. (Norma Ecuatoriana vial Nevi-12-MTOP, 2013)

## **1.2 EVALUACIÓN ESTRUCTURAL NO DESTRUCTIVA**

La evaluación estructural de pavimentos consiste básicamente, en la determinación de la capacidad portante del sistema pavimento-subrasante en una estructura vial existente, en cualquier momento de su vida de servicio, para establecer y cuantificar las necesidades de rehabilitación; cuando el pavimento se acerca al fin de su vida útil o cuando el pavimento va a cambiar su función (la existencia de vehículos pesados, por ejemplo). Las necesidades de evaluar estructuralmente los pavimentos de una red aumentan a medida que se completa el diseño y la construcción de una red vial nacional o regional y consecuentemente aumenta la necesidad de su preservación y rehabilitación. (Hoffman & Águila, 1985)

## **1.3 PROBLEMA**

### **1.3.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

En la actualidad el desgaste de los pavimentos en la ciudad de Cuenca se debe a distintas causas ocasionadas por la naturaleza como pueden ser: cambios climáticos (lluvia, humedad, temperatura), movimientos sísmicos, inadecuados componentes estructurales de la vía, tipo y volumen actual del tráfico; o por acciones antrópicas, mal uso de los materiales al momento de la construcción y los datos de tráfico erróneos ocasionan gastos elevados en reparaciones a corto plazo y mediano plazo. Esto es solucionable con un adecuado mantenimiento a la capa de rodadura cada vez que sea necesario; se debe garantizar todas las normas de construcción al

momento de ejecutar la obra, construir pavimentos resistentes y durables en función de sus agregados, restringir el tráfico vehicular pesado en calles cuyo pavimento no fue diseñado para dicha carga.

Las deflexiones producidas en la superficie de un pavimento flexible, por acción de cargas vehiculares, pueden ser determinadas haciendo uso de deflectómetros tales como el denominado "Viga Benkelman". Llamado así en honor al Ing. A.C. Benkelman, quién la desarrollo en 1953 como parte del programa de ensayos viales de la ASSHO Road Test. (Hoffman & Águila, 1985)

### **1.3.2 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA**

La investigación se encuentra en el campo de la Ingeniería Civil, específicamente en el área de Vías y Transporte, se estudiarán aspectos como son la topografía del terreno y las propiedades mecánicas del suelo, esto precisa de un presupuesto referencial y un cronograma para su ejecución.

El estudio se llevará a cabo en la Av. Abelardo J Andrade (iniciando en la Y de El Cebollar, en dirección a San Pedro), la longitud total de la vía a evaluar asciende a los 8 Km, en base al convenio que mantiene el GAD Municipal de Cuenca con la Universidad Católica de Cuenca, en coordinación con el Ing. Marcelo Torres, funcionario responsable del Laboratorio de Suelos del GAD Municipal del Cantón Cuenca, quién participará como Tutor en lo referente a estudios de campo del presente Proyecto de Titulación, el presente trabajo se lo realizará de manera

independiente entre los meses de enero y marzo del 2016, lapso de tiempo en el que se va a obtener información de campo y consecuente el debido proceso y análisis de la información obtenida.

#### **1.4 DEFINICIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO**

El proyecto a evaluarse se llevará a cabo en la Av. Abelardo J Andrade de la Ciudad de Cuenca, iniciando en la Y del cebollar desde la abscisa 0+000 finalizando en la parroquia Sinincay (Barrio Las Chorreras) abscisa 8+000.

En dicha vía la construcción y mantenimiento de las carreteras, se lo ha ejecutado con el objetivo de conseguir su durabilidad y mantener un nivel de servicio que permanentemente brinde confort y seguridad a los usuarios. Uno de los problemas en la programación de los mantenimientos viales, sean estos en carreteras de tierra, lastre, pavimento rígido, flexible o articulado, es determinar el estado de la capa de rodadura, para que esta garantice a los usuarios un tránsito cómodo y seguro en sus desplazamientos diarios por las redes viales.

Los daños en los pavimentos informan sobre su condición y las causas posibles de la misma. (Vásquez Varela, 2006). “La gran mayoría de los daños evolucionan en su nivel de severidad convirtiéndose en otros de mayor importancia para los usuarios o para la estabilidad estructural del pavimento”. (Pinilla, 2007). “La naturaleza del pavimento determina los tipos de daños que se presentan ligados a la estructura o a la funcionalidad de los mismos”. (Pinilla, Julián, 2007).

En la Imagen 1 se observa la zona de estudio y el perfil del proyecto de titulación, la longitud total de la vía a ser evaluada asciende a los 8 km, tomando como abscisa 0+000 en la “Y del Cebollar, hasta la abscisa 8+000 en la “Parroquia Sinincay”

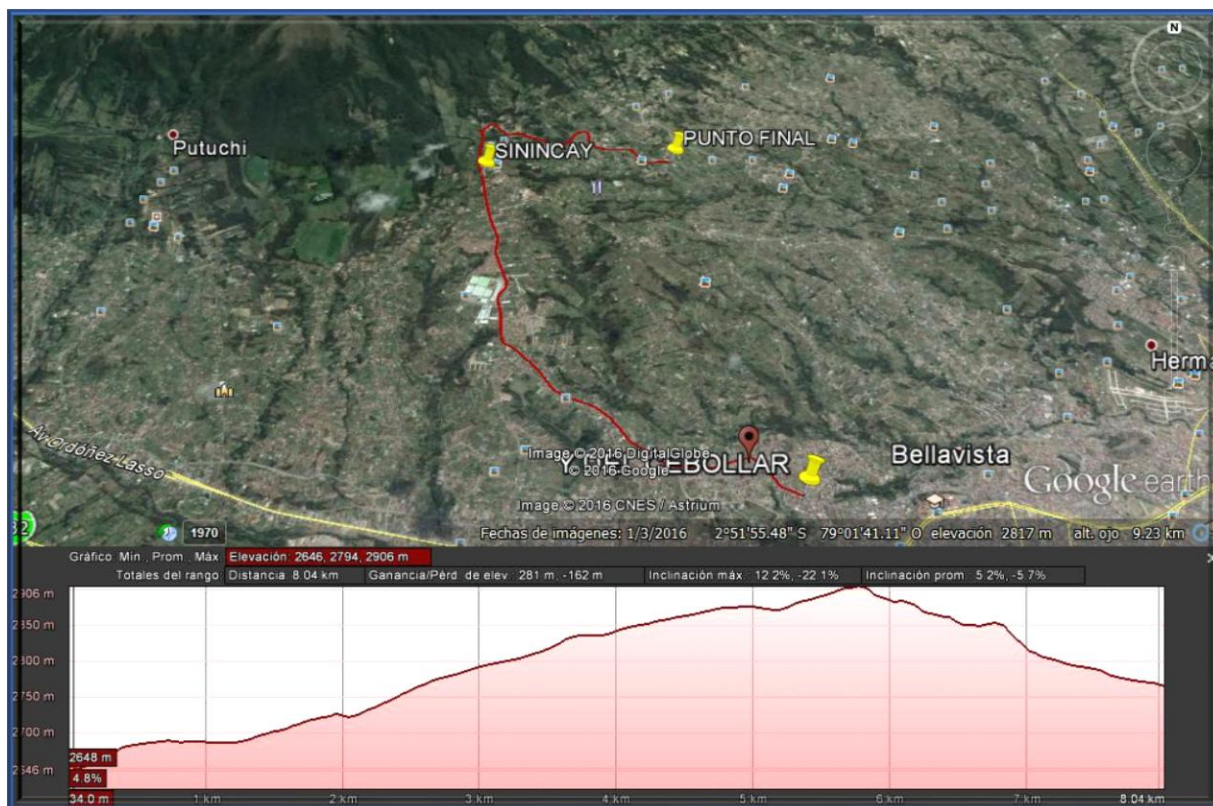


Imagen 1. Zona de Estudio  
Fuente: Google Earth



## **1.5 OBJETIVOS**

### **1.5.1 GENERAL**

Evaluar la capacidad estructural del pavimento flexible basada en la interpretación de curvas de deflexiones, la cual es ilustrada con datos obtenidos durante la supervisión de la Av. Abelardo J Andrade; observando en el campo los daños existentes en la capa de rodadura, así como las posibles causas técnicas por las cuales se han presentado fallas de la mezcla asfáltica en algunas secciones de la vía.

### **1.5.2 ESPECÍFICOS**

1. Establecer un diagnóstico a través de la inspección visual y técnica que permita seleccionar y proyectar la solución de mantenimiento o rehabilitación más adecuada para el tramo en estudio.
2. Clasificar los tipos de deterioros encontrados.
3. Analizar las posibles causas que generan un tipo de deterioro en particular.
4. Realizar las mediciones de las deformaciones con la Viga Benkelman.
5. Interpretar los resultados obtenidos de la metodología de evaluación estructural.
6. Recomendar los procesos de reparación que más se ajusten a una situación particular en la Av. Abelardo J. Andrade.

## 1.6 HIPOTESIS

Las deflexiones en la superficie de un pavimento reflejan una respuesta global del sistema pavimento – subrasante bajo una carga dada, su medición es simple, rápida, económica y no destructiva. Con la medición de las deflexiones se podrá establecer las necesidades del pavimento, tomando siempre en cuenta que cumpla con los parámetros establecidos ( $0,5*Do\ media \leq \text{Deflexión} \leq 1,5*Do\ media$ ).

## 1.7 ALCANCES GLOBALES

Se recopilará información bibliográfica referente a la evaluación de pavimentos asfálticos por deflectometría, además maquinaria comúnmente utilizada en dicho proceso. Así mismo, se seguirán de cerca proyectos que se estén ejecutando o ya hayan sido ejecutados para sacar de ellos la información necesaria, como los estudios previos, resultados de ensayos y/o especificaciones que puedan enriquecer el contenido del desarrollo de este documento.

Los aspectos que se pretenden estudiar, están enfocados a cómo obtener los resultados más óptimos de una carretera mediante una metodología de evaluación estructural no destructiva. En primer lugar, se presenta los modelos matemáticos de pavimentos utilizados, la metodología y el equipo usado para la medición de deflexiones; seguidamente, se presenta los métodos de análisis y discute los parámetros de evaluación y su significado.

## **1.8 LIMITACIONES**

Las limitantes que puedan presentarse en el trabajo de investigación se describen a continuación:

El documento no incluirá el desarrollo de ensayos de laboratorio realizados a los suelos, agregados, asfaltos, ni mezclas asfálticas, en la carretera o algún tramo de esta; pero si se presentan que pruebas son las que se deben realizar a cada uno de ellos para rehabilitar una carretera, en una forma teórica, ya que dicha información se obtendrá de los siguientes medios: proyectos ya ejecutados o en proceso de ejecución, fuentes bibliográficas de cualquier índole y de entrevistas con personas conocedoras sobre la aplicación de dicho método; y, realizando dicha evaluación estructural no destructiva en la zona de estudio.

## **1.9 JUSTIFICACION**

### **1.9.1 Por el beneficio**

La evaluación no se debe limitar únicamente a la deformación estructural de los pavimentos, esta información debe servir para trabajar por la comodidad del usuario y su seguridad.

### **1.9.2 Por la fuente de datos:**

En el presente proyecto, se realizará además una evaluación visual, considerando su tipo de construcción, de su tráfico y de su estado aparente, para así poder dar un criterio de rehabilitación.

### **1.9.3 Por la utilidad metodológica:**

1. Fase de recolección de información de manera continúa.
2. Fase de análisis de la Av. Abelardo J. Andrade.
3. Fase de interpretación de datos y resultados finales

### **1.9.4 Por el resultado:**

1. Fase de generalización de los resultados
2. Fase de conclusiones y recomendaciones

## **1.10 METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION**

Para el desarrollo del trabajo de graduación, la metodología a utilizar será dividida en tres etapas:

### **1.10.1 Etapa I: RECOPIACION DE INFORMACIÓN**

La información será recopilada a través de visitas a instituciones y personas que se desempeñen en el área de carreteras, y que tengan la posibilidad de brindar toda la información posible para el desarrollo del trabajo de graduación. Se complementará la recopilación de información con fuentes que tengan información con respecto al tema.

### **1.10.2 Etapa II: VISITAS DE CAMPO**

Se ejecutarán visitas a la vía en estudio, con el objetivo de realizar inspecciones visuales, evaluaciones y recopilación de información fotográfica referente al estado actual de la vía.

### **1.10.3 Etapa III PRUEBAS Y ENAYOS A REALIZAR**

Una vez que se conozcan las zonas a ser intervenidas, se realizarán los diferentes ensayos de campo como determinar la deflexión del pavimento con viga Benkelman.

### **1.10.4 Etapa IV: ANÁLISIS, COMPARACIÓN Y CLASIFICACION DE LA INFORMACIÓN OBTENIDA**

Una vez recopilada la información y los resultados de los ensayos de campo, se procederá al respectivo análisis y a la obtención de resultados. Esta etapa se realizará de la mano de los asesores directores, es decir una vez analizada y clasificada la información, se estará en la

obligación de entregar el material para que este sea sometido a discusión, observaciones y correcciones, con el fin de obtener un documento lo más completo posible al final de cada evaluación.

### **1.11 POBLACIÓN Y MUESTRA**

Todas las unidades objeto de estudio considerado en la Av. Abelardo J. Andrade serán motivo de una inspección detallada.

## **OBSERVACIONES:**

En este capítulo se presenta la problemática existente en las carreteras de nuestra provincia (AZUAY); teniendo como un dato importante que el Gobierno Provincial del Azuay, tiene a su cargo a través del COOTAD (Código Orgánico de Ordenamiento Territorial, Autonomía y Descentralización), la competencia exclusiva en toda la red rural de la provincia del Azuay, que alcanza un inventario vial de alrededor de 4000 km de vías. Se considera una notable influencia en esta gestión, es el abandono de las actividades de conservación y mantenimiento.

En cuanto al GAD Municipal del Cantón Cuenca, el desarrollo de la vialidad está marcado por un lento proceso de cambio tecnológico, precedido por la mejoras físicas de sus carreteras, una parte significativa de las avenidas de la ciudad presentan un deterioro ya sea por falta de mantenimiento respectivo, un volumen de tráfico excesivo, cambios climáticos bruscos, presencia de fallas geológicas etc., por tanto el Municipio al contar con una planta asfáltica, terminadora de asfalto y equipo caminero, lo que le permite llevar a cabo el mejoramiento y mantenimiento de las vías, sin embargo el éxito de todo proyecto dependerá de un manejo adecuado de evaluación, estructuración y financiamiento del mismo.

El presente proyecto analizará un proceso de evaluación de la capacidad estructural de pavimento flexible de la Av. Abelardo J Andrade de la Ciudad de Cuenca, con un equipo de bajo costo (VIGA BENKELMAN), ya que con la economía actual no se puede contar con una tecnología más avanzada, pero esto no debe ser causa para quedarnos atrás en el conocimiento de

nuevas tecnologías que nos permitan utilizar eficientemente los recursos a nuestro alcance y mejorar el estado actual de los procesos de estudio, evaluación, diseño, rehabilitación, construcción y mantenimiento de la vías; si bien vale decir que la metodología se mostrará en sus diferentes variantes, puesto que el resultado que se busca es valorar su grado de aplicación para la realidad actual del desarrollo vial en la ciudad, que puedan generar alternativas de conservación y mantenimiento para el beneficio del usuario, tomando en cuenta la información de evaluación estructural “no destructiva” .





*ucacue*

COMUNIDAD EDUCATIVA AL SERVICIO DEL PUEBLO

---

# **CAPITULO 2:**

## **MARCO TEORICO CONCEPTUAL**

## **CAPITULO 2: MARCO TEORICO CONCEPTUAL**

### **2. MARCO TEORICO CONCEPTUAL**

#### **2.1 INTRODUCCIÓN**

En el presente capítulo se desarrollarán los conceptos básicos que deben conocerse acerca de los pavimentos flexibles, se conocerá su concepto, sus componentes estructurales, así como también su clasificación, sus ventajas y desventajas.

También se tratarán algunos temas adicionales como los mecanismos de deformación que existen en esta clase de pavimentos, las diferentes fases que puede presentar un pavimento flexible y cuáles son las diferentes clases de mantenimiento que se desarrollan a nivel mundial para poder conservar lo más posible las vías terrestres.(Rodríguez Mineros & Rodríguez Molina, 2004)

#### **2.2 DESARROLLO DE CONCEPTOS BÁSICOS DE PAVIMENTOS FLEXIBLES**

##### **2.2.1 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 aún 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. (Rodríguez Mineros & Rodríguez Molina, 2004)

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

La división en capas que se hace en un pavimento obedece a un factor económico, ya que cuando determinamos el espesor de una capa el objetivo es darle el grosor mínimo que reduzca los esfuerzos sobre la capa inmediata inferior.

La resistencia de las diferentes capas no solo dependerá del material que la constituye, también resulta de gran influencia el procedimiento constructivo; siendo dos factores importantes la compactación y la humedad, ya que cuando un material no se acomoda adecuadamente, éste se consolida por efecto de las cargas y es cuando se producen deformaciones permanentes. (Rodríguez Mineros & Rodríguez Molina, 2004)

## **2.2.2 TIPOS DE PAVIMENTOS**

Básicamente existen tres tipos de pavimentos:

1. Rígidos
2. Flexibles
3. Articulado

### **2.2.3 PAVIMENTO RÍGIDO**

El 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. (Rodríguez Mineros & Rodríguez Molina, 2004)

### **2.2.4 PAVIMENTO FLEXIBLE**

El pavimento flexible: resulta más económico en su construcción inicial, tiene un periodo de vida de entre 10 y 15 años, pero tienen la desventaja de requerir mantenimiento constante para cumplir con su vida útil. Este tipo de pavimento está compuesto principalmente de una carpeta asfáltica, de la base y de la sub-base, al igual que el pavimento rígido. (Rodríguez Mineros & Rodríguez Molina, 2004)

### **2.2.5 PAVIMENTO ARTICULADO**

El pavimento articulado: Los pavimentos articulados están compuestos por una capa de rodadura que está elaborada con bloques de concreto prefabricados, llamados adoquines, de espesor uniforme elaborado entre sí. Esta puede ir ubicada sobre una capa delgada de arena, la cual a su vez, se apoya sobre una capa de base granular, o directamente sobre la subrasante, dependiendo de la calidad de esta y de las magnitudes frecuencia de las cargas que circulan por dicho pavimento. (Rodríguez Mineros & Rodríguez Molina, 2004)

### **2.3 OTROS CONCEPTOS DE PAVIMENTOS FLEXIBLES**

1. Es la estructura generalmente integrada por la sub-base, base y carpeta de rodadura, construyéndose sobre una terracería debidamente compactada, para poder soportar cargas de tránsito de acuerdo al diseño, impidiendo la acumulación o penetración de humedad, disponiendo de una superficie tersa, resistente al deslizamiento y al deterioro en general.
2. Los pavimentos flexibles son aquellos que tiene una base flexible o semirrígida, sobre la cual se ha construido una capa de rodamiento formada por una mezcla bituminosa de asfalto o alquitrán de consistencia plástica. (Rodríguez Mineros & Rodríguez Molina, 2004)

## **2.4 OTRAS DEFINICIONES IMPORTANTES**

### **2.4.1 AGREGADO**

Un material granular duro de composición mineralógica como la arena, la grava, la escoria, o la roca triturada, usado para ser mezclado en diferentes tamaños. (Rodríguez Mineros & Rodríguez Molina, 2004)

### **2.4.2 AGREGADO GRUESO**

Material que pasa el tamiz de 3” y queda retenido en la malla N°4; dentro del agregado grueso se considera a la arena como el agregado fino, es la que pasta el tamiz N°4 y queda retenido en el N° 200. (Rodríguez Mineros & Rodríguez Molina, 2004)

### **2.4.3 AGREGADO FINO**

El agregado fino son los limos y arcilla y es el material que pasa el N° 200. (Rodríguez Mineros & Rodríguez Molina, 2004)

### **2.4.4 ALCANTARILLA**

Cualquier estructura por debajo de la subrasante de una carretera u otras obras viales, con el objeto de evacuar las aguas superficiales y profundas. (Rodríguez Mineros & Rodríguez Molina, 2004)

#### **2.4.5 DAÑOS**

Desperfectos ocurridos en la superficie de una carretera debido a efectos de clima y tránsito tal como se describe en el Catálogo Centroamericano de Daños de Pavimentos Viales. (Rodríguez Mineros & Rodríguez Molina, 2004)

#### **2.4.6 DEFLEXION**

El desplazamiento vertical temporal de un pavimento proveniente de la aplicación de cargas de las ruedas de los vehículos. (Rodríguez Mineros & Rodríguez Molina, 2004)

#### **2.4.7 DERECHO DE VIA**

El área de terreno que el Gobierno suministra para ser usada en la construcción de la carretera, sus estructuras, anexos y futuras ampliaciones. (Rodríguez Mineros & Rodríguez Molina, 2004)

#### **2.4.8 HOMBRO**

Las áreas de la carretera, contiguas y paralelas a la carpeta o superficie de rodadura, que sirven de confinamiento a la capa de base y de zona de estacionamiento accidental de vehículos. (Rodríguez Mineros & Rodríguez Molina, 2004)

#### **2.4.9 MANTENIMIENTO**

Conjunto de tareas de limpieza, reemplazo y reparación que se realizan de manera regular y ordenada en una carretera, para asegurar su buen funcionamiento y la prolongación de su vida de servicio, al máximo compatible con las previsiones de diseño y construcción de la obra. (Convenio Centroamericano para la Rehabilitación, Modernización y Mantenimiento de la Red Vial Centroamericana, noviembre de 1997.)

#### **2.4.10 MEJORAMIENTO**

Ejecución de las actividades constructivas necesarias para dotar a una carretera existente, en bueno, regular o mal estado, de mejores condiciones físicas y operativas de las que disponían anteriormente, para ampliar su capacidad o simplemente ofrecer un mejor servicio al usuario. (Rodríguez Mineros & Rodríguez Molina, 2004)

#### **2.4.11 REHABILITACION**

Ejecución de las actividades constructivas necesarias para restablecer las condiciones físicas de la carretera a su situación como fue construida originalmente. (Rodríguez Mineros & Rodríguez Molina, 2004)



#### **2.4.12 RUGOSIDAD**

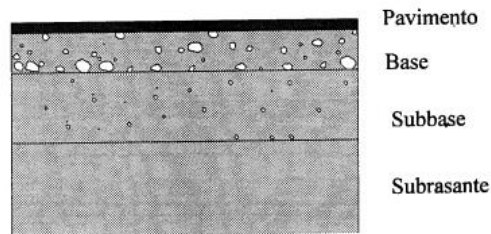
La desviación vertical del perfil de un pavimento de su forma tal como fue diseñado y que resulta en incomodidades en el manejo del vehículo. Por lo general, la rugosidad se mide para fines de mantenimiento vial por medio de IRI. (Rodríguez Mineros & Rodríguez Molina, 2004)

#### **2.4.13 EL ENVEJECIMIENTO DEL ASFALTO**

Es un proceso complejo, consiste principalmente en la evaporación de ciertos componentes y la oxidación por oxígeno de aire. La modificación química se traduce en una alteración de su estructura, aumentando su rigidez y fragilidad; como consecuencia pierde la capacidad de ser un ligante adecuado para el concreto asfáltico. (Rodríguez Mineros & Rodríguez Molina, 2004)

## 2.5 COMPONENTE ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE

En la Figura 1 se observa cada una de las capas que constituyen la estructura de la vía:



*Figura 1. Estructura de un pavimento flexible  
Fuente: WordPress.com, Google*

### 2.5.1 TERRENO DE FUNDACIÓN

Aunque no constituye parte del pavimento, es muy importante tener un conocimiento lo más completo posible de los suelos que constituyen el terreno de cimentación de la estructura de la vía, con el objeto de conocer las condiciones de estabilidad del mismo y así evitar problemas de deslizamiento, asentamientos, desplazamientos y otros. (Rodríguez Mineros & Rodríguez Molina, 2004)

### 2.5.2 TERRACERÍA

Se llama terracería al conjunto de obras compuestas de cortes y terraplenes, formada principalmente por la sub-rasante y el cuerpo del terraplén, constituida generalmente por materiales no seleccionados y se dice que es la subestructura del pavimento. Cuando se va a

construir un camino que presente un TPDA (Tránsito Promedio Diario Anual) mayor a 5000 vehículos, es necesario que se construya bajo la sub-rasante una capa conocida como sub-yacente; la cual deberá tener un espesor mínimo de 50 cm. (Rodríguez Mineros & Rodríguez Molina, 2004)

### **2.5.3 SUBRASANTE**

Los últimos 30 cm. De una terracería de corte o terraplén se conoce como Subrasante.

Esta capa es muy importante para los pavimentos y constituyen su cimiento. Generalmente está formada por el mismo suelo de la terracería. Es muy importante que el nivel de aguas freáticas este cuando menos a 1.50 m., debajo de ésta, esto se consigue drenando el subsuelo o elevando la Subrasante. (Rodríguez Mineros & Rodríguez Molina, 2004)

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

La función de la sub-rasante es soportar las cargas que transmite el pavimento y darle sustentación, además de considerarse la cimentación del pavimento. Entre mejor calidad se tenga en esta capa el espesor del pavimento será más reducido y habrá un ahorro en costos sin mermar la calidad. Las características con las que debe cumplir son:  $f$  máximo de 3", expansión máxima del 5%, grado de compactación mínimo del 95%; espesor mínimo de 30cm para caminos de bajo

tránsito y de 50cm en caminos con un TPDA > de 2000 vehículos. Otra de las funciones de la sub-rasante es evitar que el terraplén contamine al pavimento y que sea absorbido por las terracerías. (Rodríguez Mineros & Rodríguez Molina, 2004)

#### **2.5.4 SUBBASE**

Cumple una cuestión de economía ya que ahorra dinero al poder transformar un cierto espesor de la capa de base a un espesor equivalente de material de sub-base (no siempre se emplea en el pavimento), impide que el agua de las terracerías ascienda por capilaridad y evitar que el pavimento sea absorbido por la sub-rasante. Deberá transmitir en forma adecuada los esfuerzos a las terracerías. (Rodríguez Mineros & Rodríguez Molina, 2004)

#### **2.5.5 PRINCIPALES FUNCIONES DE LA SUBBASE**

1. Transmitir los esfuerzos a la capa Subrasante en forma adecuada.
2. Constituir una transmisión entre los materiales de la base y de la subrasante de tal modo que se evite la contaminación y la interpenetración de dichos materiales.
3. Disminuir efectos perjudiciales en el pavimento, ocasionados por cambios volumétricos y rebote elástico del material de las terracerías o del terreno de cimentación.

4. Reducir el costo del pavimento, ya que es una capa que por estar bajo la base, queda sujeta a menores esfuerzos y requiere de especificaciones menos rígidas, las cuales pueden satisfacerse con materiales de un menor costo que el utilizado en la base.

### **2.5.6 BASE**

Es la capa que recibe la mayor parte de los esfuerzos producidos por los vehículos. La carpeta de rodadura es colocada sobre de ella porque la capacidad de carga del material friccionante es baja en la superficie por falta de confinamiento. Regularmente esta capa además de la compactación necesita otro tipo de mejoramiento (estabilización) para poder resistir las cargas del tránsito sin deformarse y además de transmitir las en forma adecuada a las capas inferiores. El valor cementante en una base es indispensable para proporcionar una sustentación adecuada a las carpetas asfálticas delgadas. (Rodríguez Mineros & Rodríguez Molina, 2004)

En caso contrario, cuando las bases se construyen con materiales inertes y se comienza a transitar por la carretera, los vehículos provocan deformaciones transversales. En el caso de la granulometría, no es estrictamente necesario que los granos tengan una forma semejante a la que marcan las fronteras de las zonas, siendo de mayor importancia que el material tenga un VRS (valor relativo de soporte) y una plasticidad mínima; además se recomienda no compactar

materiales en las bases que tengan una humedad igual o mayor que su límite plástico. (Rodríguez Mineros & Rodríguez Molina, 2004)

### **2.5.7 TIPOS DE BASE**

Actualmente puede considerarse dos tipos de bases:

Base granular: De grava triturada y mezcla natural de agregado y suelo.

Base estabilizada: Suelos con cemento Portland, cal o materiales bituminosos.

### **2.5.8 PRINCIPALES FUNCIONES DE LA BASE**

Las principales funciones de la base son:

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

### **2.5.9 CARPETA**

La 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. En las mezclas asfálticas, es de gran importancia conocer la cantidad de asfalto por emplearse, debiéndose buscar un contenido óptimo; ya que en una mezcla este elemento forma una membrana alrededor de las partículas de un espesor tal que sea suficiente para resistir los efectos del tránsito y de la intemperie, pero no debe resultar muy gruesa ya que además de resultar antieconómica puede provocar una pérdida de la estabilidad en la carpeta, además este exceso de asfalto puede hacer resbalosa la superficie. El tipo y espesor de una carpeta asfáltica se elige de acuerdo con el tránsito que va a transitar por ese camino. (Rodríguez Mineros & Rodríguez Molina, 2004)

## **2.6 CLASIFICACION DE LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES**

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

La mezcla bituminosa es una combinación de agregados pétreos, de calidad y características especificadas y asfaltos líquidos o cementos asfálticos funcionando como aglutinante.

Los pavimentos flexibles se pueden clasificar por el tipo de mezcla bituminosa que lo compone, estas mezclas pueden ser:

1. Mezclas asfálticas en frío
2. Mezclas asfálticas en caliente

3. Tratamiento superficial
4. Macadam Asfáltico

### **2.6.1 MEZCLA ASFÁLTICA EN FRÍO**

Es la combinación de agregados y un ligante bituminoso que pueden mezclarse, extenderse y compactarse a temperatura ambiente.

En alguna ocasión el agregado puede llegar a calentarse ligeramente.

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

El mezclado se puede efectuar —In Situ o en plantas mezcladoras fijas. (Rodríguez Mineros & Rodríguez Molina, 2004)

### **2.6.2 MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE**

Es una mezcla completa de agregados gruesos, finos y un ligante bituminoso. Estos materiales son combinados en una planta de mezclado, donde son calentados, proporcionados y mezclados para producir una mezcla homogénea. (Rodríguez Mineros & Rodríguez Molina, 2004)



### 2.6.3 TRATAMIENTO SUPERFICIAL

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

1. Proveer una superficie de bajo costo para toda condición del tiempo atmosférico, en caminos de categoría ligera y mediana.
2. Sellar una superficie de rodamiento existente.
3. Ayudar a un revestimiento sobrepuesto a adherirse al revestimiento previo.
4. Proveer una superficie resistente al deslizamiento.
5. Rejuvenecer las superficies existentes deterioradas por el intemperismo.
6. Proveer una cubierta temporal para una nueva base granular que no va a recibir su cubierta final por un amplio período.
7. Cubrir los pavimentos existentes y proveer cierto aumento en resistencia.
8. Servir como paliativo para el polvo.
9. Guiar el tráfico y mejorar la visibilidad en la noche; por ejemplo, a través de agregados con contraste en colores.

Los tipos de tratamientos para superficies con asfalto incluyen los siguientes:

Tratamientos de superficie simple, que consiste en una aplicación de material asfáltico cubierta con una capa de agregado, estos tratamientos asfálticos también llamados en monocapa se usan

como capas de protección sobre bases flexibles o semirrígidas para tráfico liviano o como pavimento provisional sobre bases destinadas a soportar tráfico pesado mientras se construye la carpeta asfáltica definitiva, y también existe el tratamiento superficial múltiple que resulta de repetir dos o más veces el procedimiento constructivo de los tratamientos de una capa.

Generalmente se disminuye el tamaño del agregado a medida que la capa se construye es más superficial.

El tipo más empleado es el de las dos capas, que se conoce también como tratamiento superficial de doble riego y tiene su aplicación más frecuente como pavimento provisional en carreteras para tráfico mediano o pesado que se construye por etapas.

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

También existen otros tipos de tratamientos superficiales como: las lechadas asfálticas, que sirven para proteger contra la infiltración del agua superficial a la carpeta si está agrietada o porosa, proporcionar un revestimiento antideslizante al pavimento antiguo u obtener una superficie de un color determinado.

En todos los casos el proceso constructivo es el mismo y consiste en regar sobre la superficie existente una pequeña cantidad de material asfáltico de acuerdo con dosificaciones establecidas previamente. (Rodríguez Mineros & Rodríguez Molina, 2004)

#### **2.6.4 MACADÁN ASFÁLTICO**

Es el tipo más antiguo de los pavimentos para carreteras actualmente en uso. El Macadam Asfáltico, por penetración consiste en una base o una superficie de rodamiento de piedra triturada o escoria de un solo tamaño en la que los fragmentos están ligados con asfalto. Se emplea como capa superficial para caminos de tránsito de medio ha pesado, pero para caminos de tránsito pesado ha sido sustituido por el concreto asfáltico. Para su construcción puede ser utilizado cemento asfáltico y asfalto emulsionado o uno de los grados más pesados de los alquitranes para caminos. (Rodríguez Mineros & Rodríguez Molina, 2004)

### **2.7 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE**

#### **2.7.1 VENTAJAS**

1. Fácil financiamiento por su bajo costo inicial.
2. La construcción como las operaciones de mantenimiento se realizan en un tiempo mucho más corto.

3. Pueden utilizarse nuevamente como base los pavimentos existentes cuando se coloque una nueva capa de rodaje.

### **2.7.2 DESVENTAJAS**

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

## **2.8 ASPECTOS IMPORTANTES DE PAVIMENTOS FLEXIBLES**

Entre los aspectos más importantes de un pavimento tenemos: la vida de un pavimento y los efectos de uso del pavimento (mecanismos de transición).

### **2.8.1 VIDA DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE**

El deterioro continuo y permanente de una vía comienza en el momento en que finaliza su construcción. Al examinar el comportamiento de los pavimentos flexibles, se puede dividir su vida en tres fases:

#### ***2.8.1.1 Fase de Consolidación***

Esta es la fase inicial en la vida de un pavimento flexible, donde sus diversas capas sufren cierta consolidación, debido a las cargas transmitidas por las ruedas de los vehículos. Es una fase

relativamente corta que tiende a estabilizarse rápidamente. Depende de la compactación que reciben las diversas capas durante la construcción y no debe ocurrir si ésta ha sido suficiente.

### ***2.8.1.2 Fase Elástica***

Inicia inmediatamente después de la fase anterior y corresponde a la vida útil del pavimento. Si ocurre la fase de consolidación, cada carga provoca una deformación de tipo permanente, que luego tiende a transformarse en deformación transitoria de recuperación instantánea de tipo elástico, provocando cada rueda un movimiento vertical hacia abajo (deflexión), que se recupera después de pasar el vehículo (rebote).

Durante la fase elástica no se presentan fallas generalizadas en el pavimento, salvo deformaciones o fallas locales por defectos de materiales, exceso de humedad, etc. En esta fase, las deformaciones elásticas causadas por las cargas, producen esfuerzos de tensión en las capas asfálticas y de compresión en las capas granulares. La vida de un pavimento depende de esta fase, de su duración, lo cual está íntimamente ligado a las deflexiones que pueda sufrir el pavimento. Los estudios de los pavimentos en servicio han demostrado que aquellos que presentan deflexiones reducidas, tienen generalmente una vida larga, aconteciendo lo inverso cuando estas son elevadas.

### ***2.8.1.3 Fase de Fatiga***

Es la fase final en la vida de la estructura. Las deflexiones causadas por el constante paso de las ruedas de los vehículos provocan tensiones de tracción en los revestimientos asfálticos, que vienen acumulándose desde la fase elástica hasta que la capa se rompe por fatiga después de cierto número de pasadas, momento a partir del cual comienza un colapso gradual en toda la vía requiriéndose prácticamente una reconstrucción de la misma.

La rotura por fatiga se inicia con la aparición de grietas longitudinales las cuales con el paso repetido del tránsito y la penetración de las aguas superficiales al interior del pavimento provocan el colapso de la estructura llegando al pavimento al final de su vida útil. (Rodríguez Mineros & Rodríguez Molina, 2004)

### **2.8.2 MECANISMOS DE DEFORMACIÓN**

Toda carga vehicular sobre un pavimento produce una deformación, la cual puede ser transitoria o permanente.

### ***2.8.2.1 Transitorias***

Es aquella que desaparece cuando se retira la carga. Si la recuperación es instantánea se dice que la deformación es elástica. Si por el contrario, transcurre cierto tiempo desde que se retira la carga hasta recuperar la condición inicial se dice que ésta es visco elástica.

### ***2.8.2.2 Permanente***

Es aquella que se mantiene aun después de haber retirado la carga. Dentro de este tipo se encuentran las deformaciones: por consolidación, plásticas y por expansión.

### ***2.8.2.3 Por consolidación***

Consiste en la reducción en el espesor de algunas de las capas del pavimento. Con un cambio correspondiente de volumen.

Generalmente esta deformación se debe a una compactación insuficiente de la capa que falla y se caracteriza por no presentar grietas, pero produce incomodidad al tránsito.

#### ***2.8.2.4 Plástica***

Consiste en una falla por esfuerzo de corte debido a que las cargas aplicadas exceden la capacidad de soporte de la estructura del pavimento. Se caracteriza por una alteración en la superficie del pavimento sin que ocurra cambio en su volumen.

#### ***2.8.2.5 Por Expansión***

Consiste en un cambio de volumen del pavimento debido a variaciones en el contenido de humedad del suelo de fundación.

Se produce por el empleo de materiales inadecuados trabajados incorrectamente durante la construcción. (Rodríguez Mineros & Rodríguez Molina, 2004)

### **2.8.3 CATEGORÍAS DE MANTENIMIENTO**

Los trabajos de conservación vial están agrupados en las siguientes cinco categorías generales:

1. Mantenimiento rutinario
2. Mantenimiento periódico
3. Mantenimiento preventivo
4. Mantenimiento a costo más porcentaje por administración / administración delegada



## **2.8.4 MANTENIMIENTO DE EMERGENCIA**

### ***2.8.4.1 El mantenimiento rutinario***

Comprende todas aquellas actividades requeridas para conservar una vía de regular a buen estado, las cuales se repiten una o más veces al año. También, incluye aquellas labores de reparación vial destinadas a recuperar elementos menores dañados, deteriorados o destruidos, tal como los barandales de puentes, obras de drenaje menores, señalización vertical y horizontal, muros de retención y actividades afines.

### ***2.8.4.2 El mantenimiento Periódico***

Abarca las obras de conservación vial que se repiten en períodos de más de un año para mantener la vía a un nivel de servicio de regular a buen estado.

Asimismo, abarca las mejoras geométricas requeridas para una sección puntal, conforme a los requisitos estipulados en la última versión del manual Centroamericano de Especificaciones para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales.

También, está considerada la colocación de sobrecapas sobre pavimentos deteriorados existentes.

El mantenimiento periódico se refiere a las obras de mantenimiento programadas con una frecuencia superior a un año. Las obras de mantenimiento periódico incluyen:

1. Aplicación de sellos sobre pavimentos asfálticos
2. Aplicación de tratamientos especiales tales como lechada Asfáltica.
3. Colocación de sobrecapas de asfalto (reapeo) sobre el pavimento existente con el objeto de restaurarla a su estado original.

Dichas obras por lo general se contratan basándose en precios unitarios y, por ende, no forman parte de contratos de mantenimiento por estándares.

#### ***2.8.4.3 El mantenimiento preventivo***

Consiste en actividades y obras de mantenimiento destinadas a prevenir fallas en la vía antes de que ocurra. Tratamientos aplicados a la superficie de pavimentos existentes con capacidad estructural suficiente, con el propósito de mantener su estructura y prolongar su vida útil sin incrementar su valor estructural. Actualmente el mantenimiento vial en Centroamérica está enfocado a la reparación de fallas mediante la programación de mantenimiento rutinario.

Se debe cambiar al enfoque hacía el mantenimiento preventivo mediante, lo cual se aplican las providencias necesarias para evitar que las fallas ocurran. Las experiencias en otros países han

comprobado que la implantación de programas de mantenimiento preventivo conlleva economías sustanciales. El programa de mantenimiento preventivo abarca intervenciones tales como:

1. Lechada Asfáltica
2. Tratamientos Superficiales
3. Micro-Superficies
4. Sobrecapas asfálticas delgadas
5. Sello de grietas y juntas en pavimentos de concreto hidráulico.
6. Reparación parcial y entera de losas de concreto

La clave en cada caso es de aplicar los tratamientos mientras que el pavimento todavía esté en regulares condiciones sin fallas mayores que comprometan la capacidad de soporte del pavimento. Afortunadamente, existen procedimientos tales como la rugosidad cuando combinado con programas de administración de pavimentos, permita predecir cuándo se debe aplicar dichas intervenciones y hasta cierto punto define la intervención más adecuada para el caso.

#### ***2.8.4.4 El mantenimiento por administración a costo más porcentaje***

Habrán casos para los cuales los trabajos de mantenimiento a realizarse no se pueden cuantificar, no exista una partida de pago en el contrato para cubrirlos o son para ejecutar obras de emergencia o no previstas.

En estos casos es necesario proceder con la modalidad de trabajos por administración mediante el cual el pago por todos los trabajos realizados y mano de obra o materiales provistos se efectúa sobre una base de costo más porcentaje.

#### ***2.8.4.5 El mantenimiento de emergencia***

Son las actividades y las intervenciones aplicadas en forma urgente que se realizan como consecuencia de fuerza mayor, tal como el caso de desastres naturales, con el propósito de habilitar la vía permitiendo así el paso vehicular. (Rodríguez Mineros & Rodríguez Molina, 2004)

## 2.9 METODO DE DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

### 2.9.1 METODOLOGÍA

El método de la AASHTO, versión 1993, describe con detalle los procedimientos para el diseño de la sección estructural de los pavimentos flexibles de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\text{Log}W_{18} = Z_r \cdot S_0 + 9.36 \cdot \text{Log}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\text{Log} \frac{(\Delta PSI)}{4.2 - 1.5}}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \cdot \text{Log}M_R - 8.07$$

*Fórmula 1. Para el diseño de la sección estructural*  
*Fuente: (AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, 1993)*

Dónde:

W18 = Número de pasadas de ejes simples equivalentes de 18 kips (8,2 t) acumulados durante el periodo de diseño por el carril estudiado.

Zr = Abscisa correspondiente a una área igual a la curva confiabilidad R en la curva de distribución normalizada.

So = Desviación estándar de todas las variables.

ΔPSI = Diferencia entre el índice inicial de servicio (po) y el índice final (pt) del pavimento. Mr

= Módulo de resiliente de la subrasante (psi)

SN = Número Estructural indicativo del total del pavimento requerido

## 2.9.2 MÓDULO RESILENTE DE LA SUBRASANTE

Para la aplicación de los métodos de diseño de espesores de pavimentos se requieren caracterizar los suelos de la subrasante con un parámetro dinámico. El módulo resiliente, se obtiene en función del C.B.R, utilizando la siguiente expresión:

$$M_r = 2555 \times \text{CBR}^{0,64}$$

*Fórmula 2. Módulo Resiliente de la Subrasante*  
*Fuente: (AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, 1993)*

En los apéndices de cálculo se incluyen los valores de los módulos resilientes, calculados para las distintas capas a disponer. (AASHTO, 1993)

## 2.9.3 SERVICIALIDAD

El índice de servicialidad de un pavimento, es el valor que indica el grado de confort que tiene la superficie para el desplazamiento natural y normal de un vehículo. Los índices de servicio inicial y final recomendados por la AASTHO 93 para pavimento flexible para una Arteria Principal son los siguientes:

Servicialidad inicial ( $P_o$ ): 4,2

Servicialidad final ( $P_t$ ): 2,5

La pérdida de servicio está establecida por la siguiente ecuación:

$$\Delta\text{PSI} = P_o - P_t$$

#### **2.9.4 CONFIABILIDAD**

La confiabilidad está definida como "*la probabilidad de que un pavimento desarrolle su función durante su vida útil en condiciones adecuadas para su operación*".

#### **2.9.5 DESVIACIÓN ESTÁNDAR COMBINADA (SO)**

Desviación estándar que combina por una parte la desviación estándar media de los errores de predicción del tránsito durante el periodo de diseño, y por otra la desviación estándar de los errores en la predicción del comportamiento del pavimento. La Guía AASHTO recomienda adoptar para  $S_o$  valores comprendidos dentro de los siguientes intervalos:

Pavimentos flexibles ( $S_o$ ) sin variación del tráfico:

$$S_o=0,35$$

#### **2.9.6 NÚMERO ESTRUCTURAL**

Para la determinación de los espesores de las capas del pavimento flexible se requiere conocer el Número Estructural requerido (SN), utilizando el gráfico o la ecuación general básica de diseño, donde se involucraron los parámetros anteriormente descritos (número de pasadas de ejes equivalentes en el carril de diseño(N), Confiabilidad (R %), Error estándar combinado ( $S_o$ ),

Modulo resiliente de la subrasante ( $M_r$ ), y la diferencia del índice de servicio inicial y final ( $\Delta PSI$ ). (AASHTO, 1993)

### 2.9.7 COEFICIENTE DE DRENAJE

En cualquier tipo de pavimento el drenaje es un factor determinante en el comportamiento de la estructura del pavimento a lo largo de su vida útil. En lo que respecta a los factores que toman en cuenta las condiciones de drenaje, se siguen las recomendaciones de la norma AASHTO 93 que se indican en la tabla 1 y tabla 2:

| CALIDAD DEL DRENAJE | 50% SATURACIÓN   | 85% SATURACIÓN    |
|---------------------|------------------|-------------------|
| <b>Excelente</b>    | 2 horas          | 2 horas           |
| <b>Bueno</b>        | 1 día            | 2 a 5 horas       |
| <b>Regular</b>      | 1 semana         | 5 a 10 horas      |
| <b>Pobre</b>        | 1 mes            | De 10 a 15 horas  |
| <b>Muy Pobre</b>    | El agua no drena | Mayor de 15 horas |

*Tabla 1. Calidad de drenaje de acuerdo al tiempo de saturación*  
Fuente: (AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, 1993)

| CALIDAD DEL DRENAJE | P=% del tiempo en que el pavimento está expuesto a niveles de humedad cercanos a la saturación |           |             |      |
|---------------------|--|-----------|-------------|------|
|                     | <1%  | 1% - 5%   | 5% - 25%    | >25% |
| <b>Excelente</b>    | 1,40-1,35  | 1,35-1,30 | 1,30 – 1,20 | 1,20 |
| <b>Bueno</b>        | 1,35-1,25  | 1,25-1,15 | 1,15 – 1,00 | 1,00 |
| <b>Regular</b>      | 1,25-1,15  | 1,15-1,05 | 1,00 – 0,80 | 0,80 |
| <b>Pobre</b>        | 1,15-1,05  | 1,05-0,80 | 0,80 – 0,60 | 0,60 |
| <b>Muy Pobre</b>    | 1,05-0,95  | 0,95-0,75 | 0,75 – 0,40 | 0,40 |

*Tabla 2. Coeficientes de drenaje para pavimentos flexibles*  
Fuente: (AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, 1993)



## 2.9.8 MÓDULOS ELÁSTICOS DE LOS MATERIALES DE LAS CAPAS EN LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO

Los módulos elásticos de la propiedad de los materiales a utilizarse en la estructura del pavimento flexible de acuerdo a las recomendaciones de la AASHTO 93 (Diseño de Pavimentos), se pueden obtener de la tabla 3.

| CAPA | MATERIAL UTILIZADO   | CBR   | Coefficiente de drenaje de la capa $m_i$ | Módulo resiliente (psi) | Coefficiente estructural $a_i$ |
|------|----------------------|-------|--|-------------------------|--------------------------------|
| 1    | Pavimento bituminoso |       |  | 400.00                  | 0,42                           |
| 2    | Base Granular        | 80,00 | 0,80                                     | 42,205                  | 0,14                           |
| 3    | Subbase Granular     | 30,00 | 0,80                                     | 22,529                  | 1,11                           |
| 4    | Subrasante           | 12,00 |  | 12,533                  | 0,09                           |

*Tabla 3. Módulos Elásticos para pavimentos flexibles*

*Fuente:* (AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, 1993)

En la figura 2, figura 3, figura 4, figura 5, se encuentran los ábacos de la Norma AASHTO 93, para determinar los Módulos Elásticos,

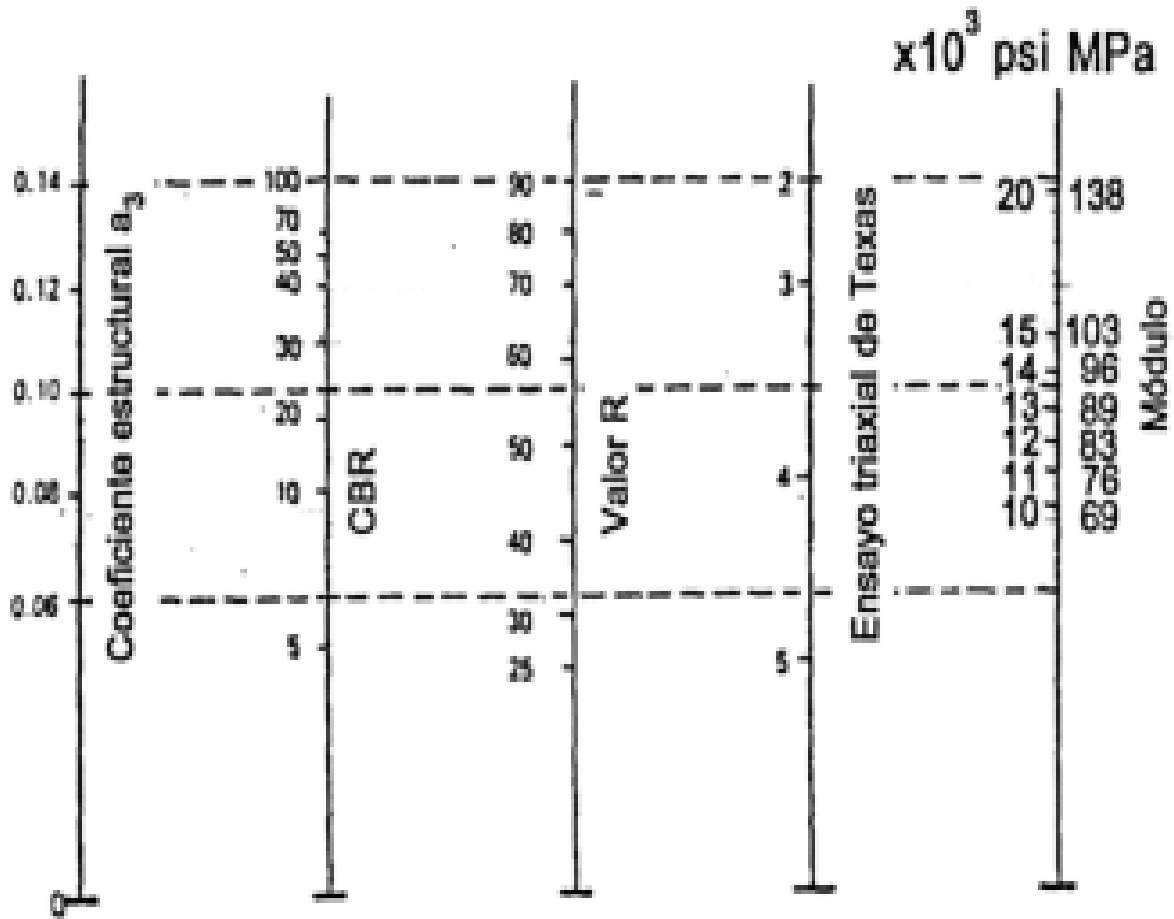


Figura 2. Relación entre el Módulo Elástico para la sub-base granular y distintos parámetros resistentes

Fuente: (AASHTO, 1993)

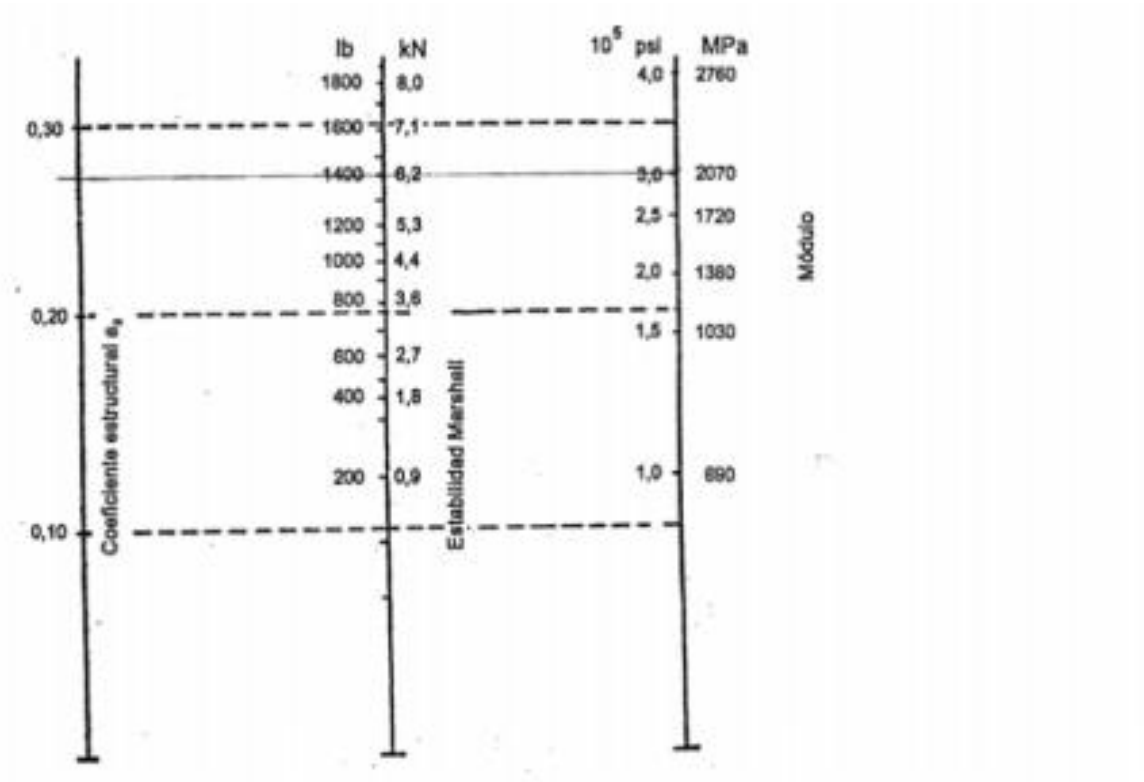


Figura 3. Relación entre el coeficiente estructural para base tratada con asfalto  
 Fuente: (AASHTO, 1993)

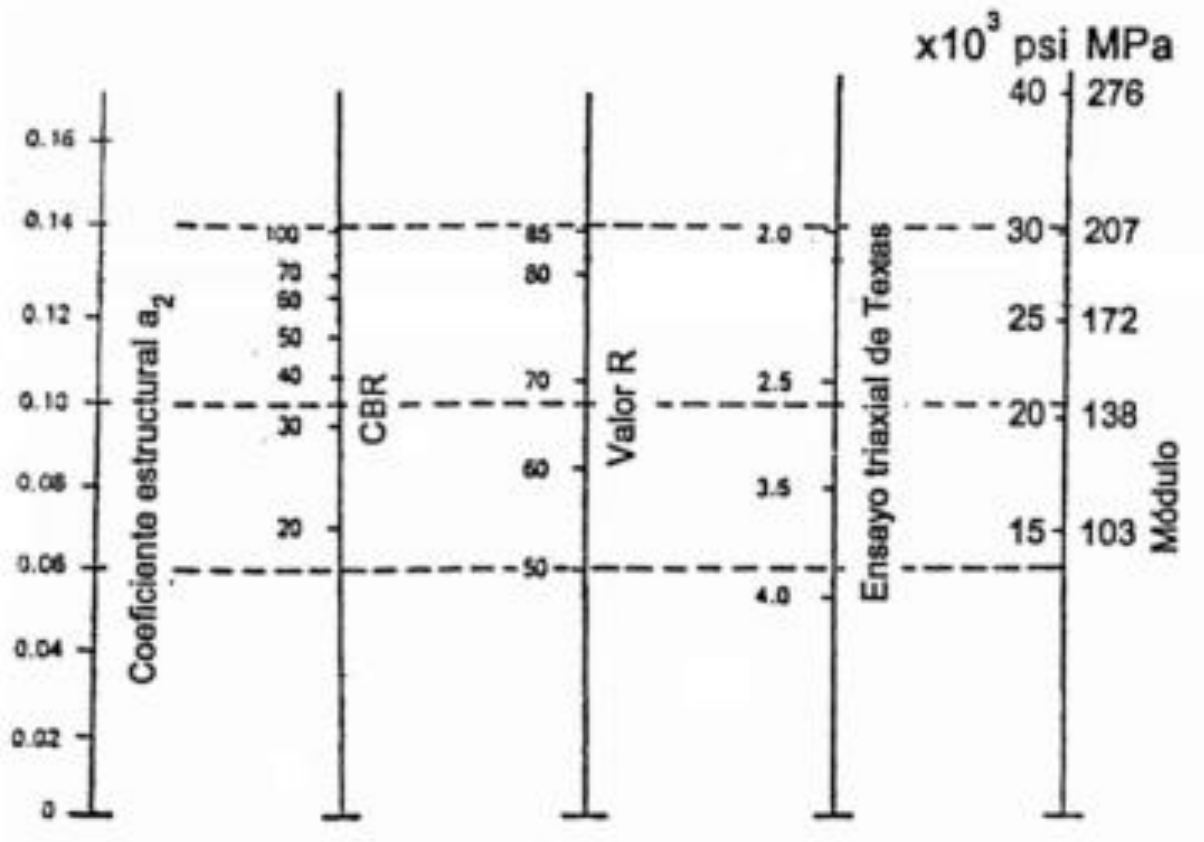


Figura 4. Relación entre el Módulo para la Base granular y distintos parámetros resistentes

Fuente: (AASHTO, 1993)

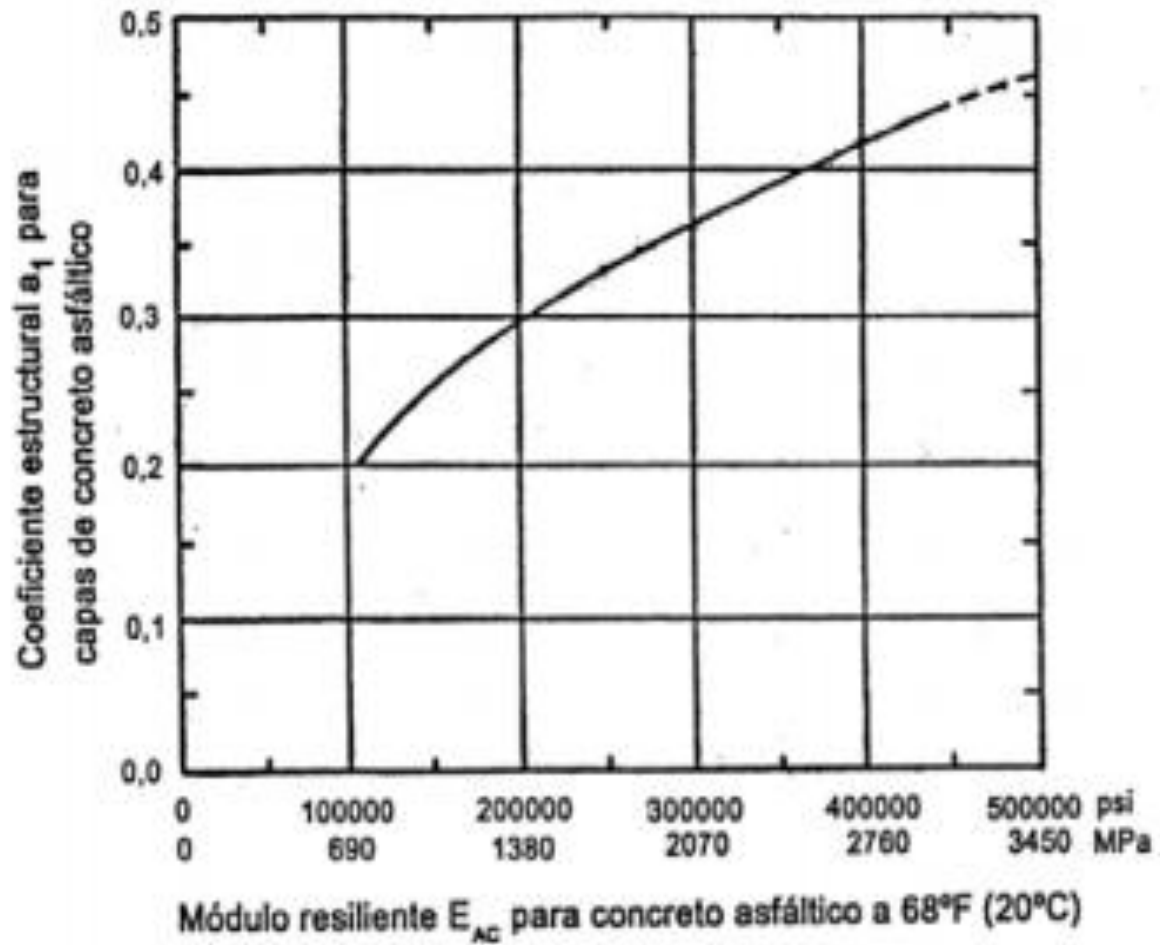


Figura 5. Coeficiente Estructural de capas asfálticas en función del módulo elástico

Fuente: (AASHTO, 1993)

### 2.9.9 CONSIDERACIONES DE DISEÑO SEGUN AASHTO

El método de diseño propuesto en la guía incluye la consideración de los siguientes ítems para pavimentos flexibles:

1. Desempeño del pavimento
2. Tráfico
3. Subrasante
4. Materiales de construcción
5. Ambiente
6. Drenaje
7. Confiabilidad
8. Ciclo de vida, y costos

Cada uno de estos factores se ha incorporado a la metodología de diseño de la estructura de pavimento. Sin embargo la guía de diseño AASHTO 93 no puede hacer absolutamente todas las consideraciones y reconoce que es necesario adaptarse a las condiciones para cada tipo de región. (AASHTO, 1993)

El material de mejoramiento es utilizado para conformación de la estructura de un pavimento con la finalidad de soportar las cargas del tránsito, se coloca sobre una subrasante previamente aprobada. En el Cantón Cuenca, parroquia Nulti se encuentra la mina de Llacton donde se explota este material en un volumen de 7500 m<sup>3</sup> mensuales. En la mina de Llacton se puede encontrar material para mantenimiento de la red vial existente en las parroquias urbanas y rurales del cantón Cuenca, como Ricaurte, Sidcay, Octavio Cordero Palacios, Sayausi, San Joaquín, El Valle, Tarqui, Victoria del Portete, Turi, Llacao, y las vías de la zona urbana de Cuenca. Materiales como base y subbase en la mina del Sr. Bravo, Sr. Sanmartín, y del Sr. Trelles.

Una vez que se conforma la rasante de acuerdo a los diseños y especificaciones técnicas se procede a colocación del concreto asfáltico, existen plantas de asfalto como la del Municipio de Cuenca a cargo de la Dirección de Obras Públicas, tiene la capacidad de producir 40 m<sup>3</sup>/h de mezcla asfáltica, para pavimentar vías en la zona urbana y rural, así como también hay otras plantas de asfalto tales como la del Sr. Edgar Ochoa en Capulispamba, y en la Josefina la del Sr. Escalante.

Además enfatizaremos explicando acerca de las técnicas de pavimentación de carreteras, una de ellas los tratamientos superficiales que han sido los que mayor evolución han experimentado en los últimos años, pasando de un sistema destinado a tránsitos livianos a ser sistemas utilizados en tratamientos de carreteras con tránsito pesado; además, pueden ser utilizados como capas de protección sobre caminos estabilizados o como conservación de pavimentos asfálticos.



*ucacue*

COMUNIDAD EDUCATIVA AL SERVICIO DEL PUEBLO

---

# **CAPITULO III:**

## **DAÑOS EN PAVIMENTOS**

### **FLEXIBLES**



## **CAPITULO 3: DAÑOS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES**

### **3.0 DAÑOS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES**

Con el propósito de conocer distintos tipos de fallas en el pavimento flexible de la Av. Abelardo J Andrade, hemos analizado el tramo desde la abscisa 0+000 en la Y del Cebollar hasta la abscisa 8+000 en la parroquia de Sinincay, a continuación presentamos, las posibles causas que las producen; así como también para cada falla un criterio general de reparación.

Denominaremos “falla a las condiciones que se presentan en un pavimento, cuando este pierde las características de servicio para las que fue diseñado”. (Montejo, 1998, pág. 506).

### **3.1 FALLAS DE SUPERFICIE**

“Comprende los defectos de la superficie de rodamiento debidos a fallas de la capa asfáltica y no guardan relación con la estructura de la calzada. La corrección de estas fallas se efectúa con sólo regularizar la superficie y conferirle la necesaria impermeabilidad y rugosidad. Ello se logra con capas asfálticas delgadas que poco aportan desde el punto de vista estructural en forma directa.” (Montejo, 1998, pág. 506)

### **3.2 FALLAS ESTRUCTURALES**

Comprende los defectos de la superficie de rodamiento cuyo origen es una falla en la estructura del pavimento, es decir de una o más capas constitutivas que deben resistir el complejo juego de sollicitaciones que imponen el tráfico y el conjunto de factores climáticos regionales.

En la corrección de este tipo de fallas es necesario un refuerzo sobre el pavimento existente para que el paquete estructural responda a las exigencias del tránsito presente y futuro estimado. Se hace pues necesario el diseño de una estructura nueva formada por la subrasante pavimento antiguo refuerzo. (Montejo, 1998, pág. 506)

Teniendo en cuenta que un pavimento es una estructura con cierta capacidad para absorber como energía elástica potencial el trabajo de deformación impuesto por cada carga circulante durante su vida útil; retirada la carga, dicha energía es la determinante de la recuperación de las deformaciones producidas, la que será tanto más completa cuanto menor relajación de la energía elástica se ha producido durante el tiempo que ha actuado la carga.

La falla de la estructura se deriva de dos causas fundamentales:

1. Si la capacidad mencionada es extendida más allá del valor que determinan las deformaciones recuperables por elasticidad instantánea y retardada, se desarrollan deformaciones permanentes en cada aplicación de las cargas, las que se acumulan modificando los perfiles de la calzada hasta valores que resultan intolerables para la comodidad, seguridad y rapidez del tránsito y aún pueden provocar el colapso de la estructura. (Montejo, 1998, pág. 507)
2. Si la capacidad mencionada no es excedida pero las deformaciones recuperables son elevadas, los materiales y en particular las capas asfálticas sufren el fenómeno denominado fatiga cuando el número de aplicaciones de las cargas pesadas es elevado, que se traduce en reducción de sus características mecánicas. En este caso la deformación horizontal por tracción en la parte inferior de las capas asfálticas al flexionar la estructura, puede exceder el límite crítico y se llega a la iniciación del proceso de fisuramiento. (Montejo, 1998, pág. 507)

### **3.3 CLASIFICACION DE LOS DAÑOS SUPERFICIALES DE LOS PAVIMENTOS**

Las fallas en los pavimentos flexibles se han clasificado en cuatro grupos principales: deformaciones, fisuras y grietas, desprendimientos y afloramientos.

Dentro de cada grupo se da una asignación única a cada tipo de falla, con su descripción, causas posibles de falla y criterios generales de reparación. (Montejo, 1998, pág. 511)

| Fallas en pavimentos flexibles - deformaciones         |  |  |   |
|--|--|--|---|
| Tipo de Deformación                                    | Descripción  | Causas de la posible falla   | Criterio general de reparación  |
| 1. Asentamientos<br>a) Longitudinales simples y dobles | Depresiones longitudinales continuas a lo largo de las huellas, de tránsito, con o sin levantamiento de las áreas adyacentes.                  | Cargas de tránsito muy pesados para los cuales el espesor total del pavimento es insuficiente. Pobre calidad y saturación del suelo de la subrasante. Falta de estabilidad de las capas del pavimento  | En las zonas de mayor deterioro, remover el pavimento y reconstruir las partes afectadas. Colocar una sobrecapa de refuerzo previa nivelación de la superficie del pavimento existente. Si la subrasante se encuentra saturada, colocar dispositivos de subdrenaje.                       |
| b) transversales                                       | Depresiones localizadas del pavimento perpendicularmente al eje de la vía.   | Deficiencias de compactación en terraplenes de acceso a obras de arte, en transiciones corte - terraplén en zanjas excavadas por compañía de servicios públicos. Deficiencias de compactación de alguna capa del pavimento en una franja determinada. Saturación de la subrasante. | Levantar el pavimento en las zonas afectadas hasta la capa deficiente compactada, desinfectarla adecuadamente y reconstruir el pavimento. Si esto no es posible, renivelar sistemáticamente con una mezcla asfáltica hasta obtener el perfil adecuado instalar dispositivos de sudrenaje. |
| 2. Baches  | Depresiones localizadas del pavimento, generalmente de forma circular o parecida a ella. No se advierten pérdidas de materiales del pavimento. | Drenaje subterráneo deficiente, contaminación y/o heterogeneidad de las capas del pavimento, así como densidad local insuficiente.   | Ejecución de un parche, reemplazando los materiales inadecuados. Si el tránsito lo impide, efectuar renivelaciones sistemáticas con concreto asfáltico.   |
| 3. Abultamientos                                       | Ondulaciones de la superficie, por lo general perpendiculares al eje de la vía.  | Baja estabilidad de la capa asfáltica, la cual ha sido sometida a cargas pesadas. Si se trata de una mezcla en vía posible falta de curado en la mezcla. Zonas de frenado y estacionamiento. Deslizamiento de las carpetas sobre la base, debido a un riesgo de liga excesivo.     | Si la capa de rodadura es un tratamiento superficial, escarificada, mezclarla con la base y recompactarla antes de colocar una nueva capa asfáltica. Si la capa asfáltica es gruesa, lo más conveniente es remover la capa, recompactar la base y colocar una nueva carpeta.              |
| 4. Desplazamiento de borde                             | Corrimientos y distorsiones de la capa asfáltica en los bordes del pavimento.  | Falta de adherencia de la capa de rodadura. Falta de contención por las bermas. Tránsito pesado y contaminación de las capas granulares. Baja estabilidad de la capa de rodadura.  | Reconstrucción de las zonas de pavimento afectadas y construcción o reparación de bermas.   |

Tabla 4. Fallas en pavimentos flexibles-deformaciones

Fuente: (Montejo, 1998, pág. 512)

| FALLAS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES - FISURAS O GRIETAS |   |  |   |
|--|---|--|---|
| Tipo de fisura o grietas                           | Descripción   | Causas de la posible falla   | Criterio general de reparación  |
| 5. Piel de cocodrilo                               | Fisuras o grietas interconectadas formando polígonos de tamaño variable, semejando una malla o piel de cocodrilo. | Cumplimiento de la vida útil del pavimento. Pavimento estable sobre subrasante elásticas. Tránsito muy pesado para el espesor del pavimento existente. Asfalto muy duro o en calidad deficiente.   | Colocación de una sobrecapa para prolongar la vida del pavimento. Si se advierten deficiencias de drenaje, instalar dispositivos adecuados, remover el material húmedo y remplazarlo por uno adecuado.  |
| 6 Lenguetas  | Grietas parabólicas en la capa asfáltica en el sentido de viaje de los vehículos.                                 | Adherencia inadecuada entre la capa de rodadura y la base. Tránsito pesado y muy lento.  | Si las grietas son muy pequeñas, sellarlas con un producto asfáltico. Si son pronunciadas remover la capa superficial hasta el punto en que haya buena liga entre las dos capas y luego hacer un parche.  |
| 7. Rectilíneas<br>a) Longitudinales                | Fisuras y grietas paralelas al eje del pavimento, en general cerca al borde y a las huellas del tránsito.         | Asentamiento de terraplenes. Cambios diferenciales de humedad en los suelos de subrasante. Deficiencias de drenaje superficial. Circulación de vehículos pesados muy cerca del borde del pavimento. Falta de sobreancho en la base. Bermas muy angostas en zonas de terraplén. | Si el problema principal es el agua, colocar dispositivos de drenaje. Las grietas deben sellarse con asfalto líquido y arena. Si se han producido asentamientos en el borde, recuperar el nivel con una capa asfáltica. Si el terraplén es muy angosto, ampliarlo |
| b) Transversales                                   | Fisuras y Grietas perpendiculares al eje del pavimento.   | Juntas de trabajo deficientes. Asentamientos en el contacto corte-terraplén. Espesor insuficiente de pavimento.  | Si son pequeñas, no es necesario tomar ninguna acción. Si tienen cierto tamaño, sellarlas.  |
| 8.Otras<br>a) Por reflexión                        | Fisuras y grietas de tamaño y dirección irregular en la superficie.   | Contracción de bases de suelo – cemento, que se refleja en la superficie. Ampliación de calzadas. Sobrecapas asfálticas construidas sobre pavimentos rígidos   | Si son pequeñas, no es necesario tomar ninguna acción. Si tienen cierto tamaño, sellarlas.  |
| b) Por bloque                                      | Fisuras y grietas formando polígonos de bordes irregulares, con ángulos por lo general rectos.                    | Generalmente, mezclas asfálticas de agregado fino con alto contenido de asfalto de baja penetración. Falta de tránsito en la vía.  | Sellar las grietas con un producto adecuado y colocar un tratamiento superficial.   |

Tabla 5. Fallas en pavimentos flexibles-fisuras y grietas  
Fuente: (Montejo, 1998, pág. 513)

| <b>FALLAS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES - DESPRENDIMIENTOS</b> |  |  |   |
|--|--|--|---|
| <b>Tipo de fisura o grietas</b>                          | <b>Descripción</b>   | <b>Causas de la posible falla</b>  | <b>Criterio general de reparación</b>   |
| 9.Ojo de pescado   | Cavidad redondeada con bordes más o menos bien Definidos y sin hundimientos en zonas alledañas.        | Debilidad local del pavimento por escasez y/o endurecimiento del asfalto, o por ser muy delgada la capa asfáltica. Exceso o defecto de finos en la mezcla. Si la base es débil el fenómeno va progresando con la profundidad y se traduce en desintegración. | Hacer una caja y parchar. Un remedio menor consiste en limpiar el hueco y llenarlo con mezcla asfáltica   |
| 10.Pérdida de película de ligante                        | Superficie del pavimento en la que los agregados han perdido su cubierta asfáltica.                    | Deficiente adherencia del ligante con los agregados pétreos. Cantidad insuficiente de asfalto en la mezcla. Acción del agua y tránsito intenso   | Colocación de un sello con agregado pétreo de buena adherencia con asfalto.   |
| 11.Descascaramiento                                      | Perdida de fragmentos de la capa asfáltica, sin afectar las capas superiores.                          | Deficiencia en el riego de liga o imprimación. Capa de rodadura permeable y poco compactada o de espesor insuficiente.   | Colocación de un tratamiento superficial de protección.   |
| 12.Pérdida de agregado                                   | En la superficie del pavimento se advierte que el agregado ha sido desplazado por acción del tránsito. | Esta falla ocurre generalmente en tratamientos superficiales, librado al tránsito antes del tiempo oportuno o ejecución en tiempo muy frío y húmedo.   | Si el área afectada es pequeña, ejecutar un parche. Si es grande, cubrirla con un nuevo tratamiento dosificado convenientemente el asfalto para evitar afloramientos. |
| 13.Cabezas duras   | Partículas minerales de tamaño variable sobresalen de la superficie de la capa de rodadura.            | Deficiencias en la gradación de los agregados y/o heterogeneidad en su dureza  | Si el problema no es muy pronunciado, no es necesaria ninguna medida correctiva. Si la magnitud del problema es importante, colocar un sello.                         |

Tabla 6. Fallas en pavimentos flexibles - desprendimientos  
Fuente: (Montejo, 1998, pág. 514)

| <b>FALLAS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES – AFLORAMIENTOS</b> |  |  |  |
|---|--|--|--|
| <b>Tipo de afloramiento</b>                           | <b>Descripción</b>   | <b>Causas de la posible falla</b>  | <b>Criterio general de reparación</b>  |
| 14. Afloramiento de agua                              | Presencia de agua en la superficie de la calzada, proveniente de las capas inferiores. | Fuente de agua bajo la calzada; drenaje interno deficiente capa superficial permeable.               | Captación de las aguas subterráneas mediante dispositivos adecuados de drenaje.  |
| 15. Afloramiento de ligante                           | Áreas en las que el asfalto ha exudado en la superficie del pavimento.                 | Exceso de asfalto en la mezcla. Pocos vacíos en la mezcla. Exceso en la imprimación o riego de liga. | Si la falla abarca gran área, colocar una sobrecapa de protección adecuadamente dosificada. En pequeñas áreas remover el material del área afectada y reemplazarlo por uno adecuado. |
| 16. Afloramiento de mortero                           | Ascenso de mortero en la capa de rodadura y descenso del agregado grueso.              | Exceso de finos. Altas temperaturas de servicio y colocación de la mezcla muy caliente.              | Si la superficie no es resbaladiza no es necesario tomar ninguna medida; en caso contrario, cubrirla con un tratamiento superficial.   |

Tabla 7. Fallas en pavimentos flexibles – afloramientos

Fuente: (Montejo, 1998, pág. 515)



### **3.4 COMBINACIÓN DE LAS FALLAS**

Cuando una determinada falla alcanza cierta magnitud, evoluciona hacia otro tipo de falla mayor, lo que dificulta la interpretación. (Montejo, 1998, pág. 511)

En los pavimentos flexibles es posible que un asentamiento no corregido permite la formación de las fisuras de pequeña magnitud, que con el tiempo se interconectan formando aun sistema tipo piel de cocodrilo, el cual permite el ingreso de agua y consecuentemente la degradación de la estructura que lleva a la desintegración del pavimento. (Montejo, 1998, pág. 511)

### **3.5 FACTORES QUE AFECTAN EL COMPORTAMIENTO DEL PAVIMENTO**

En los años 1960 a 1962, la AMERICAN ASSOCIATION STATE HIGHWAY OFFICIALS realizo algunas pruebas, cuyas finalidades más importantes fueron las de definir en que consiste la falla de un pavimento y de relacionar las variables de diseño como son tránsito, clima, materiales, etc. con el comportamiento del propio pavimento. Fue así como se estableció el principio de que la función básica del pavimento la constituye el permitir un tránsito adecuado de vehículos sobre la carretera.

Las fallas en los pavimentos las originan, las acciones que ejercen directa o indirectamente sobre ellos, los factores siguientes:

1. La repetición de las cargas
2. Los agentes del clima
3. El peso propio de las capas que constituyen la estructura conjunta de la obra

Las fallas se inician o se producen en los puntos débiles o deficientes de alguna de las partes fundamentales de la estructura general de la carretera, los cuales no pueden soportar eficientemente los efectos destructivos de alguno o varios de los factores señalados anteriormente, convirtiendo zonas potenciales de falla, la consecuencia de diseños inadecuados, mala calidad de los materiales utilizados, procedimientos de construcción defectuosos, falta de una conservación eficaz y oportuna, etc. (FALLAS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES. Extraído de página web: <https://www.google.com/search?q=fallas+6.1+pavimentos+flexibles&ie=utf-8&oe=utf-8>)

### **3.6 TIPOS DE DAÑOS EN EL PAVIMENTO ASFALTICO IDENTIFICADOS EN LA AV. ABELARDO J. ANDRADE**

Se realizó una inspección visual en campo desde la abscisa 0+000 hasta la 8+000, de esta manera se identificaron cada uno de los daños existentes en el pavimento flexible de la Av. Aberlado J

Andrade, a continuación se presenta una descripción, posibles causas, fotografías de las fallas en las que se presenta una indicación del origen de la falla.

### **3.6.1 FISURAS LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES**

Corresponden a discontinuidades en la carpeta asfáltica, en la misma dirección del tránsito o transversales a él. Son indicio de la existencia de esfuerzos de tensión en alguna de las capas de la estructura, los cuales han superado la resistencia del material afectado.

La localización de las fisuras dentro del carril puede ser un buen indicativo de la causa que las generó, ya que aquellas se encuentran en zonas sujetas a carga pueden estar relacionadas con problemas de fatiga de toda la estructura o de alguna de sus partes.

#### **Causas:**

Las causas más comunes a ambos tipos de fisuras son:

1. Rigidización de la mezcla asfáltica por pérdida de flexibilidad debido a un exceso de filler o al envejecimiento del asfalto, ocurre ante bajas temperaturas o gradientes térmicos altos (generalmente superiores a 30 °).
2. Reflexión de grietas de las capas inferiores, generadas en materiales estabilizados o por grietas o juntas existentes en placas de concreto hidráulico subyacentes.

Otra causa para la conformación de *Fisuras longitudinales* es: fatiga de la estructura, usualmente se presenta en las huellas del tránsito. . (FALLAS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES. Extraído de página web: <https://www.google.com/search?q=fallas+6.1+pavimentos+flexibles&ie=utf-8&oe=utf-8>)

Otras causas para la conformación de *Fisuras transversales* son:

1. Pueden corresponder a zonas de contacto entre corte y terraplén por la diferencia de rigidez de los materiales de la subrasante.
2. Riego de liga insuficiente o ausencia total.



Fotografía 1. Falla longitudinal en el centro de la vía, abscisas 5+052

Fuente: Autoras



*Fotografía 2. Fisura Transversal, abscisas 6+400*

*Fuente: Autoras*



*Fotografía 3. Fisura longitudinal, abscisas 6+500*

*Fuente Autoras*



*Fotografía 4. Fisura longitudinal, abscisas 3+400*

*Fuente Autoras*



*Fotografía 5. Fisura longitudinal ubicada en el carril derecho, abscisa 6+600*

*Fuente Autoras*



### 3.6.2 FISURAS LONGITUDINALES EN EL CENTRO

Aparecen en el centro del camino en determinados tramos, generalmente debido a la debilidad de la junta entre las capas contiguas de pavimento.

La causa de esta debilidad puede ser, debido a la forma de tendido de los materiales esto es:

El operador experimentado, nunca se le quedará el material grueso en el centro del camino, ya que al meter la cuchilla y cortar al camellón, el primer corte lo extenderá en forma de cama en todo lo ancho del carril y así sucesivamente todos los cortes hasta abatir el camellón, esto en el tendido con motoniveladora.

En carpetas de concreto asfáltico la grieta longitudinal por el centro se puede presentar, debido a la junta fría ya que la tender por alas o carriles pueda no quedar bien ligado la parte lateral del carril al tirar el otro.

Las juntas necesitan especial cuidado a la hora de tender la carpeta. Se deberá reparar lo más pronto posible. Las grietas de menos de 3 mm de ancho son demasiado pequeñas para ser selladas perfectamente; las grandes, de más de 3 mm de ancho, se pueden rellenar con lechada de emulsión asfáltica o con asfalto líquido mezclado con arena fina, o con materiales asfálticos de mayor viscosidad. . (FALLAS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES. Extraído de página web: <https://www.google.com/search?q=fallas+6.1+pavimentos+flexibles&ie=utf-8&oe=utf-8>)

Se recubre con arena seca la grieta rellenada, para evitar q el tránsito levante el material de relleno insuficiente de la capa de rodadura.



*Fotografía 6. Fisura longitudinal, abscisas 6+400*

*Fuente: Autoras*



### 3.6.3 FISURAS EN FORMA DE PIEL DE COCODRILO

Las grietas de piel de cocodrilo, son grietas interconectadas que forman una serie de pequeños bloques en el pavimento, semejando a la piel de cocodrilo o tela de gallinero. La causa usual es la deflexión de la carpeta provocada por cargas excesivas sobre una base, sub-base o subrasante inestables, la cual puede deberse a que dichos materiales se encuentran saturados o sean de espesor insuficiente para soportar las cargas.

Existen 2 métodos para reparar los agrietamientos en piel de cocodrilo:

1. Corrección permanente
2. Reparación temporal o de emergencia.



Fotografía 7. Fisura piel de cocodrilo, abscisa 0+400

Fuente: Autoras



*Fotografía 8. Fisura piel de cocodrilo, abscisa 1+600  
Fuente: Autoras*



*Fotografía 9. Fisura piel de cocodrilo, abscisa 2+600  
Fuente: Autoras*



Fotografía 10. Fisura piel de cocodrilo, abscisa 2+650  
Fuente: Autoras



Fotografía 11. Fisura piel de cocodrilo, abscisa 3+220  
Fuente: Autoras

### **3.6.4 FISURAS EN LOS BORDES**

Grietas longitudinales que aparecen a unos 30 cm, o más del borde del pavimento. Estas grietas en ocasiones se acompañan de grietas transversales que se extienden hacia el hombro.

Las causas de éstas, generalmente son debidas a la falta de soporte lateral (hombro). También puede deberse a asentamiento o desplazamiento del material que se encuentra debajo del área agrietada, que a su vez puede ser el resultado de un drenaje deficiente o encogimiento debido a evaporación del agua en los suelos cercanos.

Este tipo de grietas cuando no se atienden inmediatamente da origen a otra grieta paralela a la primera pero hacia el centro del camino y así siguen avanzando hasta cubrir algunas zonas a todo el ancho de la corona.

Después por efecto del tránsito se van formando grietas transversales, cada vez más juntas hasta que en algunas zonas llegan a parecer “piel de cocodrilo”.

Generalmente en este tipo de grietas la primera reparación que haríamos sería un taponamiento de grietas según su abertura, pero esto solo evitará la entrada de agua de lluvias sin detener la

aparición de nuevas grietas. . (FALLAS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES. Extraído de página web: <https://www.google.com/search?q=fallas+6.1+pavimentos+flexibles&ie=utf-8&oe=utf-8>)

Después del taponamiento sería colocar una sobrecarpeta pero esta no durará mucho ya que en un tiempo relativamente corta (1 año aproximadamente) aparecerán de nuevo las grietas longitudinales.



*Fotografía 12. Fisuras en el borde, abscisas 5+052*

*Fuente: Autoras*



### 3.6.5 FISURAS DE REFLEXIÓN

Estas grietas son un reflejo en las carpetas asfálticas, de la configuración de las grietas de la estructura del pavimento como puede ser en la base, sub-base o subrasante.

Estas grietas se dan en muy diversas formas como pueden ser en forma longitudinal, transversal, diagonal o en bloques. La aparición de estas se debe a que al ser recarpeteado un camino no se reparó debidamente el pavimento viejo. (Recuperación de Pavimento o Calafateo de Grietas)

Se repara también con lechada de emulsión asfáltica o asfalto líquido liviano mezclado con arena fina, la superficie de la grieta rellenada se cubre con arena seca para protegerla del tránsito y no levante el relleno.



*Fotografía 13. Fisura de reflexión, abscisa 3+500  
Fuente: Autoras*

### 3.6.6 HUNDIMIENTOS

Son áreas de tamaño reducido, acompañados o no de agrietamientos. Los hundimientos generalmente penetran por debajo de la rasante, provocando estancamiento del agua.

Estos estancamientos son un peligro para los usuarios aparte del deterioro del pavimento.

Las causas posibles del hundimiento es un tránsito más pesado para el que fue diseñado el pavimento o por deficiente construcción.



*Fotografía 14. Hundimiento*

*Fuente: Autoras*

### 3.6.7 BACHES Y CALAVERAS

Son cavidades de tamaños y formas diferentes que se producen en un pavimento debido a una desintegración localizada. Los baches son causados en zonas débiles del pavimento, esto es por falta de asfalto, falta de espesores, demasiados finos, pocos finos, drenaje deficiente, etc.

Los baches, lamentablemente casi siempre aparecen, cuando es difícil hacer una reparación permanente, ya que se generalizan en épocas de intensas lluvias agravando el problema el drenaje deficiente. Es por razones que es muy común que las reparaciones sean de emergencia. .

(FALLAS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES. Extraído de página web:

<https://www.google.com/search?q=fallas+6.1+pavimentos+flexibles&ie=utf-8&oe=utf-8>)



*Fotografía 15. Baches, abscisas 1+650*

*Fuente: Autoras*





*Fotografía 16. Baches, abscisas 1+750*

*Fuente: Autoras*



*Fotografía 17. Baches, abscisas*

*Fuente: Autoras*



Fotografía 18. Baches, abscisas 2+900  
Fuente: Autoras



Fotografía 19. Baches, abscisas 2+900  
Fuente: Autoras

En la provincia del Azuay, el comportamiento de los pavimentos a lo largo de su vida útil es regido generalmente por un ciclo, tomando en cuenta los indicadores (deterioros del pavimento) de cada una de las etapas de este ciclo son diferentes según el tipo de pavimento, por ejemplo en la etapa de construcción; cuando un pavimento puede haber tenido una buena construcción o haber presentado algunos defectos durante esta etapa, o bien haber sido claramente deficientes tanto la etapa de diseño como la de ejecución. De cualquier forma, cuando la estructura entra en servicio, esta suele encontrarse en excelentes condiciones, satisfaciendo plenamente las necesidades de los usuarios.

Etapas de deterioro lento y poco visible durante algunos años, el pavimento experimenta un proceso de desgaste y debilitamiento, principalmente en la superficie de rodadura y en menor medida en el resto de la estructura. Este desgaste es producido por los diversos tipos de vehículos que circulan sobre él, también por la influencia que ejercen otros factores como el clima, la radiación solar, el agua de lluvias, cambios de temperatura, etc. La calidad de la construcción inicial también incide en la evolución del deterioro. A través de toda esta etapa el pavimento se mantiene aparentemente en buen estado y el usuario no percibe el desgaste. A pesar del aumento gradual de fallas menores aisladas, la vía sigue sirviendo bien a los usuarios y está en condiciones de ser conservado.

Etapas de deterioro acelerado y de quiebre Luego de varios años de uso, el pavimento entra en una etapa de deterioro acelerado y resiste cada vez menos el tránsito. Al inicio de esta etapa, la

estructura básica del pavimento se conserva intacta y las fallas en la superficie son menores, por eso el usuario común tiene la impresión que este se mantiene aún bastante sólido. Sin embargo, no es así, ya que cada vez se pueden observar más daños en la superficie y comienza a deteriorarse la estructura básica, la cual no es visible. Entonces, podemos asegurar que cuando en la superficie de un pavimento se detectan graves fallas a simple vista, la estructura básica del pavimento está seriamente dañada. Los daños al inicio son puntuales, pero luego se van extendiendo en la mayor parte del pavimento, cuando esto ocurre la destrucción es acelerada; si no se interviene en algún momento durante esta etapa el pavimento llega al punto de quiebre en el cual se produce una falla generalizada, tanto en la superficie como en la estructura básica. A medida que se desarrolla esta etapa, los vehículos circulan experimentando una cantidad creciente de molestias a causa de las irregularidades de la superficie, tales como: grietas, baches, depresiones y deformaciones.

Etapa de descomposición total: Constituye la última etapa de la existencia de un pavimento, y puede durar varios años, lo primero que se observa es la pérdida de la capa de rodadura, ya que cada vez que pasa un vehículo pesado se desprenden trozos de ésta, por lo que al final la vía termina siendo un camino de grava, y a la larga, de tierra. El paso de vehículos se dificulta, la velocidad promedio de circulación baja bruscamente y la capacidad del camino queda reducida en un gran porcentaje. Los vehículos comienzan a presentar daños en neumáticos, ejes, amortiguadores y en el chasis; los costos de operación vehicular suben de manera considerable y

se incrementa la cantidad de accidentes graves. En esta última etapa llega un momento en que ya no pueden transitar los automóviles normales, sólo algunos camiones y vehículo todoterreno. Como ya se dijo anteriormente, los detalles del ciclo de vida de los pavimentos varían dependiendo de su tipo, pero en general, el mensaje que debe atenderse es el mismo y consiste en que las acciones de conservación de cualquier pavimento deben planificarse debidamente de modo que nunca se permita el deterioro excesivo o la destrucción de su estructura básica.

Teniendo en cuenta también que los pavimentos fallan en modos diversos y por causas variadas, los daños más frecuentes dependen del tipo de estructura del pavimento, de los materiales empleados en su construcción y de las condiciones climáticas en las que la estructura se encuentra sometida. En los pavimentos flexibles, donde la capa asfáltica se apoya directamente sobre la base compactada, se observan con frecuencia el agrietamiento por fatiga, producido por la aplicación repetida de cargas que supone el tráfico de vehículos pesados, principalmente.



*ucacue*

COMUNIDAD EDUCATIVA AL SERVICIO DEL PUEBLO

---

# **CAPITULO IV:**

# **EVALUACIÓN DEL PAVIMENTO**

# **FLEXIBLE**

## CAPITULO 4

### 4.1 EVALUACIÓN DEL PAVIMENTO FLEXIBLE

La incidencia de factores de diverso origen determina alteraciones de la superficie de rodamiento de los pavimentos que afectan la seguridad, comodidad y velocidad con que debe circular el tránsito vehicular presente y futuro. Las causas de los defectos mencionados son de distinto origen y naturaleza entre las que cabe destacar las siguientes:

1. Elevado incremento de las cargas circulantes y de su frecuencia con respecto a las previstas en el diseño original.
  2. Deficiencias durante el proceso constructivo en la calidad real de los materiales en espesores o en las operaciones de construcción particularmente en la densificación de las capas.
  3. Diseños deficientes: métodos de diseño que resultan inadecuados en la actualidad: incorrecta valoración de las características de los materiales empleados: incorrecta evaluación del tránsito existente y previsto durante el periodo de diseño del pavimento.
  4. Factores climáticos regionales (elevación del nivel freático, inundaciones, lluvias prolongadas, insuficiencia de drenaje superficial o profundidad prevista).
- (Montejo, 1998, p. 505)



#### 4.2 MEDICIÓN DE DEFLEXIONES UTILIZANDO LA VIGA DE BENKELMAN

La medición de las deflexiones con la viga Benkelman en la Av. Abelardo J Andrade, se inició en la abscisa 0+000, específicamente en la Y del Cebollar y finalizando en el kilómetro 8+000 en la parroquia Sinincay.

En donde la metodología utilizada fue la siguiente: primeramente se seleccionó la ruta en la cual se determinarían las deflexiones. Seguidamente a la ruta se procede a la medición de la distancia de estacionamientos, siendo esta de 100 m. El número total de estacionamientos medidos con la viga Benkelman son 83 puntos, en una longitud total de 8 kilómetros, realizado el 11 de marzo del 2016.



*Fotografía 20. Medición de deflexiones en coordinación con el Ing. Marcelo Torres tutor de tesis delegado del GAD MUNICIPAL DEL CANTON CUENCA*

*Fuente: Autoras*





*Fotografía 21. Medición de deflexiones en coordinación con el Ing. Marcelo Torres tutor de tesis delegado del GAD MUNICIPAL DEL CANTON CUENCA*

*Fuente: Autoras*



*Fotografía 22. Colocación típica de la Viga de Benkelman en coordinación con el laboratorista del GAD MUNICIPAL DEL CANTON CUENCA Sr. William Lituma*

*Fuente: Autoras*

El instrumento más utilizado para medir la deformación elástica de un pavimento dado es la viga de deflexiones, desarrollada por A.C Benkelman que permite conocer diferentes estados y propiedades del pavimento; de gran utilidad para el diseño, construcción y conservación de la estructura. La viga de Benkelman, se compone esencialmente de una parte fija y una parte móvil; la parte fija o estructura portante está soportada por tres apoyos que descansan en la superficie del pavimento, la parte móvil, construida por el brazo de medida está conectada a la estructura portante por medio de un pivote de giro y uno de sus extremos (punta) hace contacto con la superficie del pavimento en el punto donde se requiere medir la deflexión. (Montejo, 1998, pág. 519)



*Fotografía 23. Viga de Benkelman*

*Fuente: Autoras*

El otro extremo está en contacto con un deformímetro montado en la estructura portante. El pivote divide el brazo de medida en dos sectores entre los cuales existe una relación llamada “Constante de la viga”. (Montejo, 1998, pág. 521)

El vehículo de carga consiste en un camión de dos ejes, con una capacidad aproximada de 5 toneladas con una carga en el eje trasero igual a 8.2 toneladas, igualmente distribuidas en dos ruedas cada una de las cuales debe tener dos llantas. Las llantas deben ser de 10” por 20” y doce lonas, infladas a una presión de 5.6 kg/cm<sup>2</sup> (80 lb/pulg<sup>2</sup>). Las llantas deben ser de las mismas características y estar en buenas condiciones. (Montejo, 1998, pág. 521)



*Fotografía 24. Vehículo de carga*  
*Fuente: Autoras*

Los ensayos de deflexión deben elaborarse con la rueda exterior del camión. Los puntos para la medida de deflexión deben estar situados a unos 70 cm, aproximadamente del borde de la calzada, sobre la superficie de rodadura, o sea sobre la zona más afectada por el paso de vehículos. (Montejo, 1998, pág. 521)



*Fotografía 25. Ensayo de deflexión*  
*Fuente: Autoras*



Fotografía 26. Localización de 70cm del borde

Fuente: Autoras

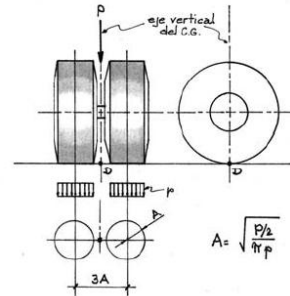


Figura 6. Centro de gravedad y correcta posición de la VIGA DE BEMKELMAN  
Fuente: (Mario S Hoffman PhD, 1985)

Las mediciones fueron tomadas a distancias de 100 m en forma alterna a cada lado de la calzada, de tal manera que sean representativas de las condiciones generales del pavimento. (Montejo, 1998, pág. 521)

Los puntos de medida deben relacionarse con el kilometraje. Además deben anotarse como referencia, los puntos destacados de la carretera, como por ejemplo los monumentos, los nombres de fincas, las cruces, las poblaciones, los ríos, etc. (Montejo, 1998, pág. 521)

Para la medida de las deflexiones, la punta de la viga debe colocarse en medio de las dos llantas y exactamente debajo del centro de la rueda. (Montejo, 1998, pág. 521)

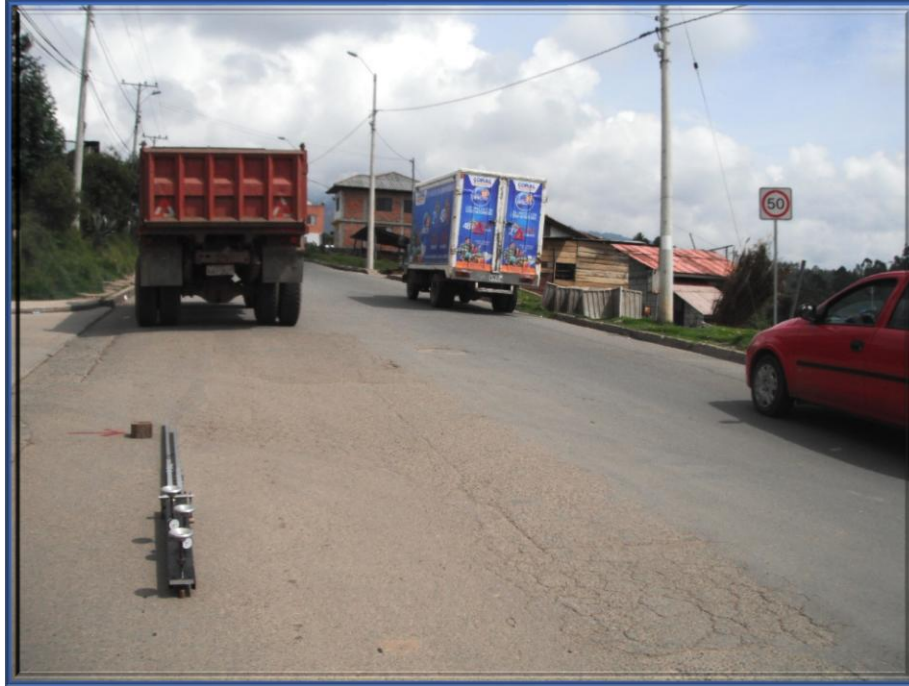




*Fotografía 27. Colocación Típica de la VIGA DE BENKELMAN*

*Fuente: Autoras*

A continuación se afloja el dispositivo de seguridad de la viga y se comprueba que el extremo del brazo esté en contacto con el deformímetro. Se hace desplazar lentamente el camión hacia delante por lo menos unos 5 m. La lectura en el deformímetro debe tomarse cuando la tasa de recuperación sea igual o menor a un milésimo de pulgada por minuto (0.025 mm por minuto). (Montejo, 1998, pág. 521)



*Fotografía 28. Colocación Típica de la VIGA DE BENKELMAN*

*Fuente: Autoras*

El estudio de las deflexiones de un tramo de pavimento determinado, implica no solo la adopción de un método de medición sino también de un criterio de evaluación conducente a obtener el valor de la deflexión que sea representativa del tramo estudiado. El procedimiento de evaluación utilizado es el recomendado por el Instituto del Asfalto Americano. (Montejo, 1998, pág. 521)

El método se puede resumir así:

1. El tramo de carretera en estudio se divide en sectores, cuya determinación se hace de acuerdo a las siguientes características:
2. Uniformidad en las medidas de deflexión
3. Cambios Topográficos que pueden afectar las condiciones de drenaje
4. Cambios en los tipos de subrasante y estructura del pavimento
5. Variaciones de tránsito en cuanto a frecuencia y magnitud de las cargas
6. Variaciones en las condiciones climáticas. Un sector de carretera se puede dividir a su vez en secciones, constituyendo esto cada sección una muestra estadística de por lo menos 10 lecturas de deflexión.

(Montejo, 1998, pág. 522)



### 4.3 METODOS DE ANALISIS

Una vez realizadas todas las mediciones en el campo se procedió a realizar los análisis de los resultados tomando en cuenta dos Metodologías expuestas a continuación:

1. Metodologías Empíricas (Método Estadístico)
2. Metodología Racional (Modelo Matemático de Hogg)

Para ambas metodologías se utilizó los datos de la tabla 8:

| DATOS  | DESCRIPCIÓN   |
|--|---|
| TRAMO  | <b>DESDE LA Y DEL CEBOLLAR HASTA LA PARROQUIA DE SININCAY</b> |
| Número de carril   | 2   |
| Número de carril por sentido                             | 1.00  |
| Ancho de carril (m)                                      | 3.5   |
| Clasificación de la vía                                  | primaria  |
| Tipo de terreno  | plano y semiondulado  |
| Tipo de superficie                                       | concreto asfáltico  |
| km inicial   | 0+000   |
| km final   | 8+000   |
| Espesor de la capa de rodadura (cm)                      | 5   |
| Peso del camión (lb)                                     | 18000   |
| PRESION DE INFLADO DEL CAMION (lb/pulg <sup>2</sup> )    | 80  |
| COEFICIENTE DE CORRECCION POR CLIMA (Periodo Intermedio) | 1   |
| COEFICIENTE DE CORRECCION POR CARGA                      | 1   |
| DISTANCIA DESDE LA ORILLA AL EJE (cm)                    | 70  |
| CONSTANTE DE LA VIGA                                     | 4   |
| $\pi$  | 3.14  |
| NUMERO DE LECTURAS TOMADAS (N)                           | 83  |
| HC   | 20  |

Tabla 8.Tabla de datos  
Fuente: Autoras

#### 4.4 METODOLOGÍAS EMPÍRICAS (MÉTODO ESTADÍSTICO)

Para la presente evaluación se ha seguido el procedimiento del Instituto del Asfalto, los cuales determinan la deflexión característica del pavimento, el radio de curvatura, que depende directamente de la deformación por tracción; dándonos las zonas singulares, que deben cumplir el siguiente parámetro:

$$0.5 * D_0 \text{ media} \leq \text{DEFLEXION} \leq 1.5 * D_0 \text{ media}$$

$$0.5 * 0.422 \leq \text{DEFLEXION} \leq 1.5 * 0.422$$

$$0.211 \leq \text{DEFLEXION} \leq 0.633$$

Do = deflexión recuperable en el eje vertical de la carga

##### 4.4.1 Zonas Singulares

Son aquellas que no cumplen el requisito de longitud mínima o su amplitud de oscilaciones en relación al valor medio es excesivo. Estas zonas deben someterse a un estudio particular principalmente las que presentan deflexiones altas. (Norma Española). A continuación se presentan los cálculos de las Deflexiones y Radios de Curvatura obtenidos con las lecturas realizadas en el campo.

En la Tabla 9: se puede apreciar las Deflexiones corregidas (amarillo) que no cumplen con la condición ( $0.211 \leq \text{DEFLEXION} \leq 0.633$ ) y los Radios de Curvatura.

#### 4.5 TABLA DE DEFLEXIONES CORREGIDAS Y RADIOS DE CURVATURA

| N° | ABSCISA | CARRIL |   | T °C | VIGA BENKELMAN |           |            |                         |                          | RADIO DE CURVATURA |
|----|---------|--------|---|------|----------------|-----------|------------|-------------------------|--------------------------|--------------------|
|    |         |        |   |      | LECTURAS       |           | CORRECCION |                         |                          |                    |
|    |         |        |   |      | DERECHO        | IZQUIERDO | CARPETA    | D <sub>0</sub> (mm/100) | D <sub>25</sub> (mm/100) |                    |
| 1  | 0+050   | x      |   | 37.1 | 0.04           | 0         | 0.89       | 0.036                   | 0.000                    | 87780.90           |
| 2  | 0+100   |        | x | 37.1 | 0.44           | 0.4       | 0.89       | 0.392                   | 0.356                    | 87780.90           |
| 3  | 0+150   | x      |   | 37.1 | 0.16           | 0         | 0.89       | 0.142                   | 0.000                    | 21945.22           |
| 4  | 0+200   |        | x | 37.1 | 0.08           | 0.04      | 0.89       | 0.071                   | 0.036                    | 87780.90           |
| 5  | 0+250   | x      |   | 37.1 | 0.08           | 0         | 0.89       | 0.071                   | 0.000                    | 43890.45           |
| 6  | 0+300   |        | x | 37.1 | 0.2            | 0.16      | 0.89       | 0.178                   | 0.142                    | 87780.90           |
| 7  | 0+400   | x      |   | 37.1 | 0.52           | 0.12      | 0.89       | 0.463                   | 0.107                    | 8778.09            |
| 8  | 0+500   |        | x | 37.1 | 0.68           | 0.04      | 0.89       | 0.605                   | 0.036                    | 5486.31            |
| 9  | 0+600   | x      |   | 37.1 | 0.12           | 0         | 0.89       | 0.107                   | 0.000                    | 29260.30           |
| 10 | 0+700   |        | x | 37.1 | 1.36           | 0.24      | 0.89       | 1.210                   | 0.214                    | 3135.03            |
| 11 | 0+800   | x      |   | 37.1 | 0.48           | 0.12      | 0.89       | 0.427                   | 0.107                    | 9753.43            |
| 12 | 0+900   |        | x | 37.1 | 0.44           | 0.32      | 0.89       | 0.392                   | 0.285                    | 29260.30           |
| 13 | 1+000   | x      |   | 33.9 | 0.08           | 0         | 0.90       | 0.072                   | 0.000                    | 43402.78           |
| 14 | 1+100   |        | x | 33.9 | 0.12           | 0.08      | 0.90       | 0.108                   | 0.072                    | 86805.56           |
| 15 | 1+200   | x      |   | 33.9 | 0.12           | 0         | 0.90       | 0.108                   | 0.000                    | 28935.19           |



|    |       |   |   |      |      |      |      |       |       |          |
|----|-------|---|---|------|------|------|------|-------|-------|----------|
| 16 | 1+300 |   | x | 26   | 0.12 | 0.04 | 0.98 | 0.118 | 0.039 | 39859.69 |
| 17 | 1+400 | x |   | 26   | 0.08 | 0.04 | 0.98 | 0.078 | 0.039 | 79719.39 |
| 18 | 1+500 |   | x | 31.5 | 0.36 | 0.08 | 0.92 | 0.331 | 0.074 | 12131.21 |
| 19 | 1+600 | x |   | 31.5 | 0.08 | 0.04 | 0.92 | 0.074 | 0.037 | 84918.48 |
| 20 | 1+700 |   | x | 35   | 0.36 | 0.32 | 0.89 | 0.320 | 0.285 | 87780.90 |
| 21 | 1+800 | x |   | 35   | 0.12 | 0.04 | 0.89 | 0.107 | 0.036 | 43890.45 |
| 22 | 1+900 |   | x | 35   | 0.72 | 0    | 0.89 | 0.641 | 0.000 | 4876.72  |
| 23 | 2+000 | x |   | 35   | 0.04 | 0    | 0.89 | 0.036 | 0.000 | 87780.90 |
| 24 | 2+100 |   | x | 34.6 | 0.96 | 0.04 | 0.90 | 0.864 | 0.036 | 3774.15  |
| 25 | 2+200 | x |   | 34.6 | 0.44 | 0.32 | 0.90 | 0.396 | 0.288 | 28935.19 |
| 26 | 2+300 |   | x | 34.6 | 0.08 | 0.04 | 0.90 | 0.072 | 0.036 | 86805.56 |
| 27 | 2+400 | x |   | 35.7 | 0.56 | 0    | 0.91 | 0.510 | 0.000 | 6132.26  |
| 28 | 2+500 |   | x | 35.7 | 0.88 | 0.04 | 0.91 | 0.801 | 0.036 | 4088.17  |
| 29 | 2+600 | x |   | 35.7 | 0.4  | 0    | 0.91 | 0.364 | 0.000 | 8585.16  |
| 30 | 2+700 |   | x | 42.1 | 1.32 | 0    | 0.94 | 1.241 | 0.000 | 2518.54  |
| 31 | 2+800 | x |   | 42.1 | 1.04 | 0    | 0.94 | 0.978 | 0.000 | 3196.60  |
| 32 | 2+900 |   | x | 36   | 0.24 | 0    | 0.97 | 0.233 | 0.000 | 13423.54 |
| 33 | 3+000 | x |   | 41.5 | 0.12 | 0    | 0.95 | 0.114 | 0.000 | 27412.28 |
| 34 | 3+100 |   | x | 41.5 | 1.04 | 0    | 0.95 | 0.988 | 0.000 | 3162.96  |
| 35 | 3+200 | x |   | 41.5 | 0.96 | 0    | 0.95 | 0.912 | 0.000 | 3426.54  |

|    |       |   |   |      |      |      |      |       |       |          |
|----|-------|---|---|------|------|------|------|-------|-------|----------|
| 36 | 3+300 |   | x | 41.5 | 0.88 | 0.08 | 0.95 | 0.836 | 0.076 | 4111.84  |
| 37 | 3+400 | x |   | 44.7 | 0.36 | 0.04 | 0.93 | 0.335 | 0.037 | 10500.67 |
| 38 | 3+500 |   | x | 44.7 | 0.48 | 0.04 | 0.93 | 0.446 | 0.037 | 7636.85  |
| 39 | 3+600 | x |   | 44.7 | 1.04 | 0.32 | 0.93 | 0.967 | 0.298 | 4666.97  |
| 40 | 3+700 |   | x | 38.8 | 0.96 | 0.32 | 0.97 | 0.931 | 0.310 | 5033.83  |
| 41 | 3+800 | x |   | 38.8 | 0.72 | 0.04 | 0.97 | 0.698 | 0.039 | 4737.72  |
| 42 | 3+900 |   | x | 38.8 | 1.12 | 0.44 | 0.97 | 1.086 | 0.427 | 4737.72  |
| 43 | 4+000 | x |   | 39.9 | 0.24 | 0    | 0.96 | 0.230 | 0.000 | 13563.37 |
| 44 | 4+100 |   | x | 39.9 | 1.08 | 0.08 | 0.96 | 1.037 | 0.077 | 3255.21  |
| 45 | 4+200 | x |   | 39.9 | 0.84 | 0.12 | 0.96 | 0.806 | 0.115 | 4521.12  |
| 46 | 4+300 |   | x | 39.9 | 1.04 | 0.08 | 0.96 | 0.998 | 0.077 | 3390.84  |
| 47 | 4+400 | x |   | 36.7 | 0.72 | 0.04 | 0.99 | 0.713 | 0.040 | 4642.01  |
| 48 | 4+500 |   | x | 36.7 | 0.32 | 0    | 0.99 | 0.317 | 0.000 | 9864.27  |
| 49 | 4+600 | x |   | 36.7 | 1    | 0    | 0.99 | 0.990 | 0.000 | 3156.57  |
| 50 | 4+700 |   | x | 36.7 | 0.48 | 0    | 0.99 | 0.475 | 0.000 | 6576.18  |
| 51 | 4+800 | x |   | 36.7 | 1.12 | 0.08 | 0.99 | 1.109 | 0.079 | 3035.16  |
| 52 | 4+900 |   | x | 38.1 | 0.88 | 0    | 0.97 | 0.854 | 0.000 | 3660.97  |
| 53 | 5+000 | x |   | 38.1 | 0.88 | 0    | 0.97 | 0.854 | 0.000 | 3660.97  |
| 54 | 5+100 |   | x | 38.1 | 1.16 | 0.04 | 0.97 | 1.125 | 0.039 | 2876.47  |
| 55 | 5+200 | x |   | 38.1 | 0.96 | 0.08 | 0.97 | 0.931 | 0.078 | 3660.97  |
| 56 | 5+300 |   | x | 40.5 | 0.6  | 0.4  | 0.95 | 0.570 | 0.380 | 16447.37 |

|    |       |   |   |      |      |      |      |       |       |          |
|----|-------|---|---|------|------|------|------|-------|-------|----------|
| 57 | 5+400 | x |   | 40.5 | 0.48 | 0.16 | 0.95 | 0.456 | 0.152 | 10279.61 |
| 58 | 5+500 |   | x | 40.5 | 0.28 | 0.08 | 0.95 | 0.266 | 0.076 | 16447.37 |
| 59 | 5+600 | x |   | 23   | 0.12 | 0    | 0.99 | 0.119 | 0.000 | 26304.71 |
| 60 | 5+700 |   | x | 23   | 0.04 | 0    | 0.99 | 0.040 | 0.000 | 78914.14 |
| 61 | 5+800 | x |   | 23   | 0.04 | 0    | 0.99 | 0.040 | 0.000 | 78914.14 |
| 62 | 5+900 |   | x | 23   | 0.12 | 0.04 | 0.99 | 0.119 | 0.040 | 39457.07 |
| 63 | 6+000 | x |   | 23   | 0.16 | 0.08 | 0.99 | 0.158 | 0.079 | 39457.07 |
| 64 | 6+100 |   | x | 23   | 0.12 | 0.04 | 0.99 | 0.119 | 0.040 | 39457.07 |
| 65 | 6+200 | x |   | 27.2 | 0.08 | 0.04 | 0.95 | 0.076 | 0.038 | 82236.84 |
| 66 | 6+300 |   | x | 27.2 | 0.2  | 0    | 0.95 | 0.190 | 0.000 | 16447.37 |
| 67 | 6+400 | x |   | 27.2 | 0.28 | 0    | 0.95 | 0.266 | 0.000 | 11748.12 |
| 68 | 6+500 |   | x | 23.5 | 0.16 | 0    | 0.99 | 0.158 | 0.000 | 19728.54 |
| 69 | 6+600 | x |   | 23.5 | 0.12 | 0.04 | 0.99 | 0.119 | 0.040 | 39457.07 |
| 70 | 6+700 |   | x | 23.5 | 0.12 | 0    | 0.99 | 0.119 | 0.000 | 26304.71 |
| 71 | 6+800 | x |   | 33.7 | 0.04 | 0.04 | 0.90 | 0.036 | 0.036 | 0.00     |
| 72 | 6+900 |   | x | 33.7 | 0.16 | 0    | 0.90 | 0.144 | 0.000 | 21701.39 |
| 73 | 7+000 | x |   | 33.7 | 0.12 | 0.04 | 0.90 | 0.108 | 0.036 | 43402.78 |
| 74 | 7+100 |   | x | 35.3 | 0.04 | 0    | 0.91 | 0.036 | 0.000 | 85851.65 |
| 75 | 7+200 | x |   | 35.3 | 0.2  | 0    | 0.91 | 0.182 | 0.000 | 17170.33 |

|                |       |   |   |       |       |       |       |        |       |            |
|----------------|-------|---|---|-------|-------|-------|-------|--------|-------|------------|
| 76             | 7+300 |   | x | 35.3  | 0.04  | 0     | 0.91  | 0.036  | 0.000 | 85851.65   |
| 77             | 7+400 | x |   | 35.3  | 0.04  | 0     | 0.91  | 0.036  | 0.000 | 85851.65   |
| 78             | 7+500 |   | x | 35.3  | 0.32  | 0.08  | 0.91  | 0.291  | 0.073 | 14308.61   |
| 79             | 7+600 | x |   | 35.3  | 0.12  | 0     | 0.91  | 0.109  | 0.000 | 28617.22   |
| 80             | 7+700 |   | x | 42.8  | 0.24  | 0.08  | 0.94  | 0.226  | 0.075 | 20777.93   |
| 81             | 7+800 | x |   | 42.8  | 0.48  | 0     | 0.94  | 0.451  | 0.000 | 6925.98    |
| 82             | 7+900 |   | x | 40.2  | 0.96  | 0     | 0.95  | 0.912  | 0.000 | 3426.54    |
| 83             | 8+000 | x |   | 40.2  | 0.36  | 0.2   | 0.95  | 0.342  | 0.190 | 20559.21   |
| SUMATORIA      |       |   |   | 35.37 | 0.45  | 0.07  | 77.74 | 35.022 | 5.241 | 2377530.73 |
| VALORES MEDIOS |       |   |   | 0.426 | 0.005 | 0.001 | 0.937 | 0.422  | 0.063 | 28644.949  |

Tabla 9. Tabla de deflexiones corregidas y radios de curvatura  
Fuente: Autoras

#### 4.6 DEFLECTOGRAMAS

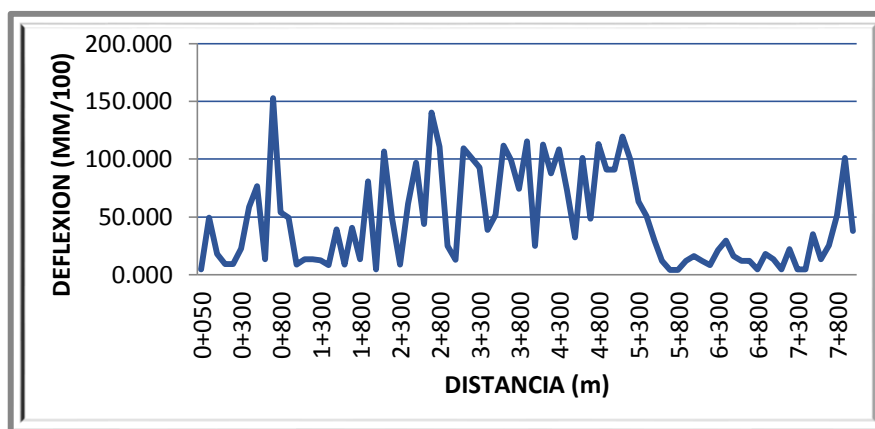
Los siguientes gráficos son las representaciones de los cálculos obtenidos en la tabla anterior.

En la Grafica 1: se observa que la que la mayor deflexión se encuentra en la abscisa 0+300.

En la Grafica 2: se observa que los radios de mayor longitud se presentan entre las abscisa 0+000 a la 2+500 y desde la Abscisa 5+300 a la 7+000.

En la Grafica 1: se observa una comparación entre las Deflexiones u los Radios de Curvatura.

#### 4.7 DEFLEXIÓN VS DISTANCIA



*Gráfico 1. Deflexión vs distancia*  
*Fuente: Autoras*



#### 4.8 RADIO DE CURVATURA VS DISTANCIA

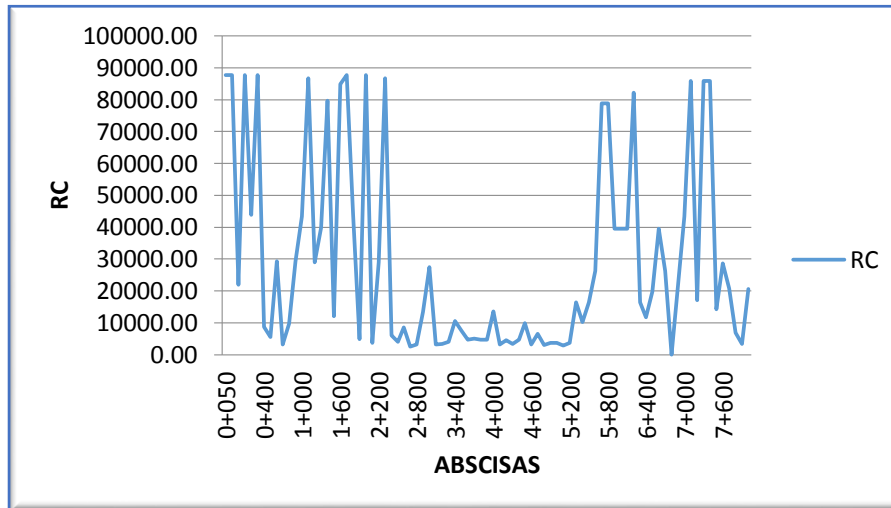


Gráfico 2. Radio de Curvatura vs distancia  
Fuente: Autoras

#### 4.9 COMPARACIÓN ENTRE RADIO DE CURVATURA Y DEFLEXIONES

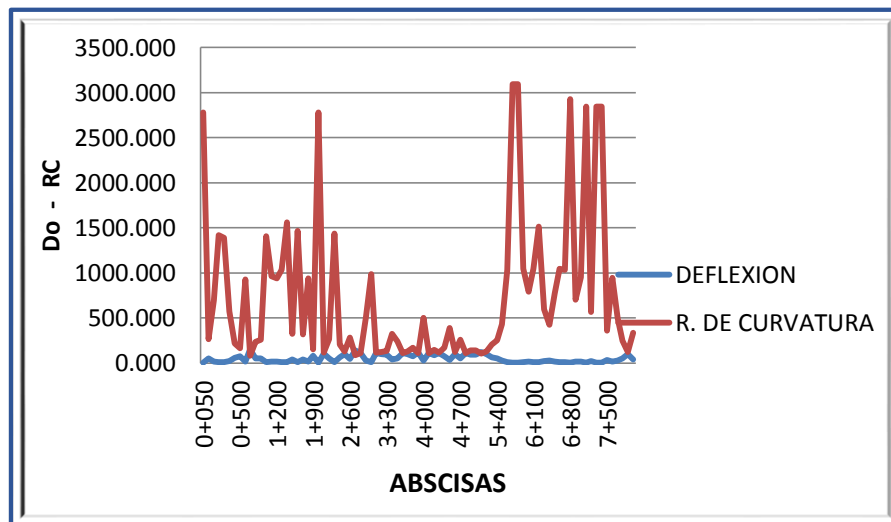


Gráfico 3. Comparación entre el radio de curvatura y deflexiones  
Fuente: Autoras

#### 4.10 RADIO DE CURVATURA

$$Rc = \frac{6250}{2(D^0 - D^{25})}$$

*Fórmula 3. Radio de Curvatura*

Expresa el grado de curvatura de la línea elástica de deflexión, es una característica de fundamental importancia que determina la magnitud de la deformada lineal por tracción que sufren las capas asfálticas al flexionar bajo la carga y en consecuencia en el desarrollo del fisuramiento en forma piel de cocodrilo. (TOVAR SABOGAL, 2009,158p)

#### 4.11 TABLA DE VALORES DE RADIOS DE CURVATURA QUE NO CUMPLEN

| ABSCISA | RADIO DE CURVATURA | ABSCISA | RADIO DE CURVATURA | ABSCISA | RADIO DE CURVATURA | ABSCISA | RADIO DE CURVATURA |
|---------|--------------------|---------|--------------------|---------|--------------------|---------|--------------------|
| 0+050   | 87780.90           | 1+900   | 4876.72            | 4+000   | 13563.37           | 6+100   | 39457.07           |
| 0+100   | 87780.90           | 2+000   | 87780.90           | 4+100   | 3255.21            | 6+200   | 82236.84           |
| 0+150   | 21945.22           | 2+100   | 3774.15            | 4+200   | 4521.12            | 6+300   | 16447.37           |
| 0+200   | 87780.90           | 2+200   | 28935.19           | 4+300   | 3390.84            | 6+400   | 11748.12           |
| 0+250   | 43890.45           | 2+300   | 86805.56           | 4+400   | 4642.01            | 6+500   | 19728.54           |
| 0+300   | 87780.90           | 2+400   | 6132.26            | 4+500   | 9864.27            | 6+600   | 39457.07           |
| 0+400   | 8778.09            | 2+500   | 4088.17            | 4+600   | 3156.57            | 6+700   | 26304.71           |
| 0+500   | 5486.31            | 2+600   | 8585.16            | 4+700   | 6576.18            | 6+800   | 0.00               |
| 0+600   | 29260.30           | 2+700   | 2518.54            | 4+800   | 3035.16            | 6+900   | 21701.39           |
| 0+700   | 3135.03            | 2+800   | 3196.60            | 4+900   | 3660.97            | 7+000   | 43402.78           |
| 0+800   | 9753.43            | 2+900   | 13423.54           | 5+000   | 3660.97            | 7+100   | 85851.65           |

|       |          |       |          |       |          |       |          |
|-------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|----------|
| 0+900 | 29260.30 | 3+000 | 27412.28 | 5+100 | 2876.47  | 7+200 | 17170.33 |
| 1+000 | 43402.78 | 3+100 | 3162.96  | 5+200 | 3660.97  | 7+300 | 85851.65 |
| 1+100 | 86805.56 | 3+200 | 3426.54  | 5+300 | 16447.37 | 7+400 | 85851.65 |
| 1+200 | 28935.19 | 3+300 | 4111.84  | 5+400 | 10279.61 | 7+500 | 14308.61 |
| 1+300 | 39859.69 | 3+400 | 10500.67 | 5+500 | 16447.37 | 7+600 | 28617.22 |
| 1+400 | 79719.39 | 3+500 | 7636.85  | 5+600 | 26304.71 | 7+700 | 20777.93 |
| 1+500 | 12131.21 | 3+600 | 4666.97  | 5+700 | 78914.14 | 7+800 | 6925.98  |
| 1+600 | 84918.48 | 3+700 | 5033.83  | 5+800 | 78914.14 | 7+900 | 3426.54  |
| 1+700 | 87780.90 | 3+800 | 4737.72  | 5+900 | 39457.07 | 8+000 | 20559.21 |
| 1+800 | 43890.45 | 3+900 | 4737.72  | 6+000 | 39457.07 |       |          |

Tabla 10. Tabla de valores de radios de curvatura

Fuente: Autoras

Una vez obtenidos los resultados de la tabla 10 del radio de curvatura, y adoptando el criterio del mismo que dice “*El radio de Curvatura permite determinar la magnitud de la deformación lineal por tracción que sufren las capas asfálticas al flexionar bajo la acción de la cargas de tránsito*”. (Montejo Alfonso).

Por tanto bajo la condición:  $RC \leq 100$  se determina que existe fallas por deformación, ya que no cumplen con el parámetro.

#### 4.12 ESTUDIO DE LA HOMOGENEIDAD Y ZONAS DÉBILES

En la Tabla 11: nos muestra el estudio de la homogeneidad del comportamiento de la estructura del pavimento nos ayudará a zonificar el comportamiento del mismo; obteniendo como zonas débiles lo que está de verde, las zonas fuertes lo que está de rosa y lo marcado con blanco corresponde a las zonas que cumplen con los parámetros.

#### 4.13 DEFLECTOGRAMA DE HOMOGENEIDAD

La Grafica 4: presenta la diferencia que hay entre la Deflexión original corregida y la Deflexión Característica

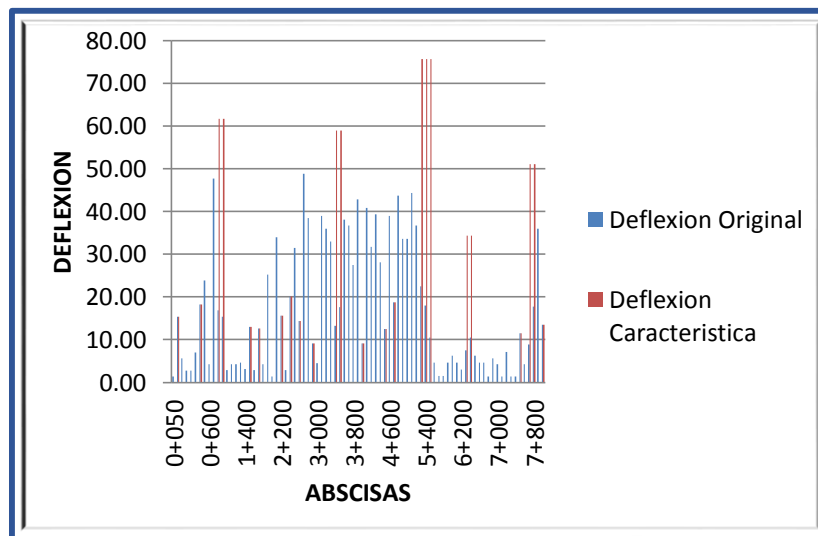


Gráfico 4. Deflectograma de homogeneidad  
Fuente: Autoras

#### 4.14 TABLA DE HOMOGENEIDAD Y ZONAS DÉBILES

| N  | ABSCISA |                            | MEDIA ARITMETICA (md) | RANGO PERMISIBLE DE DEFLEXIOES | CONDICION DE HOMOGENEIDAD | (di-md)     | (di-md) <sup>2</sup> | DESVIACION TIPICA MUESTRAL (S) | DEFLEXION CARACTERISTICA (Dc) | RELACION (S/md) |
|----|---------|----------------------------|-----------------------|--------------------------------|---------------------------|-------------|----------------------|--------------------------------|-------------------------------|-----------------|
|    |         | Deflexión Benkelman (plug) | Viga Benkelman        | Viga Benkelman                 | Viga Benkelman            |             |                      |                                |                               |                 |
| 1  | 0+050   | 1.40                       | 16.61                 | 7.58-22.74                     | TRAMO1                    | ZONA FUERTE |                      |                                |                               |                 |
| 2  | 0+100   | 15.42                      | 16.61                 | 7.58-22.74                     | TRAMO 2                   | 0.00        | 0.00                 | 0.00                           | 15.42                         | 0.00            |
| 3  | 0+150   | 5.61                       | 16.61                 | 7.58-22.74                     | TRAMO 3                   | ZONA FUERTE |                      |                                |                               |                 |
| 4  | 0+200   | 2.80                       | 16.61                 | 7.58-22.74                     | TRAMO 3                   |             |                      |                                |                               |                 |
| 5  | 0+250   | 2.80                       | 16.61                 | 7.58-22.74                     | TRAMO 3                   |             |                      |                                |                               |                 |
| 6  | 0+300   | 7.01                       | 16.61                 | 7.58-22.74                     | TRAMO 3                   |             |                      |                                |                               |                 |
| 7  | 0+400   | 18.22                      | 16.61                 | 7.58-22.74                     | TRAMO 4                   | 0.00        | 0.00                 | 0.00                           | 18.22                         | 0.00            |
| 8  | 0+500   | 23.83                      | 16.61                 | 7.58-22.74                     | TRAMO 5                   | ZONA DEBIL  |                      |                                |                               |                 |
| 9  | 0+600   | 4.20                       | 16.61                 | 7.58-22.74                     | TRAMO 6                   | ZONA FUERTE |                      |                                |                               |                 |
| 10 | 0+700   | 47.65                      | 16.61                 | 7.58-22.74                     | TRAMO 7                   | ZONA DEBIL  |                      |                                |                               |                 |
| 11 | 0+800   | 16.82                      | 16.61                 | 7.58-22.74                     | TRAMO 8                   | 0.70        | 0.49                 | 22.79                          | 61.71                         | 0.37            |
| 12 | 0+900   | 15.42                      | 16.61                 | 7.58-22.74                     | TRAMO 8                   | -0.70       | 0.49                 | 22.79                          | 61.71                         | 0.37            |

|    |       |       |       |            |          |             |      |      |       |      |
|----|-------|-------|-------|------------|----------|-------------|------|------|-------|------|
| 13 | 1+000 | 2.83  | 16.61 | 7.58-22.74 | TRAMO 9  | ZONA FUERTE |      |      |       |      |
| 14 | 1+100 | 4.25  | 16.61 | 7.58-22.74 | TRAMO 9  |             |      |      |       |      |
| 15 | 1+200 | 4.25  | 16.61 | 7.58-22.74 | TRAMO 9  |             |      |      |       |      |
| 16 | 1+300 | 4.63  | 16.61 | 7.58-22.74 | TRAMO 9  |             |      |      |       |      |
| 17 | 1+400 | 3.09  | 16.61 | 7.58-22.74 | TRAMO 9  |             |      |      |       |      |
| 18 | 1+500 | 13.04 | 16.61 | 7.58-22.74 | TRAMO 10 | 0.00        | 0.00 | 0.00 | 13.04 | 0.00 |
| 19 | 1+600 | 2.90  | 16.61 | 7.58-22.74 | TRAMO 11 | ZONA FUERTE |      |      |       |      |
| 20 | 1+700 | 12.61 | 16.61 | 7.58-22.74 | TRAMO 12 | 0.00        | 0.00 | 0.00 | 12.61 | 0.00 |
| 21 | 1+800 | 4.20  | 16.61 | 7.58-22.74 | TRAMO 13 | ZONA FUERTE |      |      |       |      |
| 22 | 1+900 | 25.23 | 16.61 | 7.58-22.74 | TRAMO 14 | ZONA DEBIL  |      |      |       |      |
| 23 | 2+000 | 1.40  | 16.61 | 7.58-22.74 | TRAMO 15 | ZONA FUERTE |      |      |       |      |
| 24 | 2+100 | 34.02 | 16.61 | 7.58-22.74 | TRAMO 16 | ZONA DEBIL  |      |      |       |      |
| 25 | 2+200 | 15.59 | 16.61 | 7.58-22.74 | TRAMO 17 | 0.00        | 0.00 | 0.00 | 15.59 | 0.00 |
| 26 | 2+300 | 2.83  | 16.61 | 7.58-22.74 | TRAMO 18 | ZONA FUERTE |      |      |       |      |
| 27 | 2+400 | 20.06 | 16.61 | 7.58-22.74 | TRAMO 19 | 0.00        | 0.00 | 0.00 | 20.06 | 0.00 |
| 28 | 2+500 | 31.53 | 16.61 | 7.58-22.74 | TRAMO 20 | ZONA DEBIL  |      |      |       |      |
| 29 | 2+600 | 14.33 | 16.61 | 7.58-22.74 | TRAMO 21 | 0.00        | 0.00 | 0.00 | 14.33 | 0.00 |
| 30 | 2+700 | 48.85 | 16.61 | 7.58-22.74 | TRAMO 22 | ZONA DEBIL  |      |      |       |      |
| 31 | 2+800 | 38.49 | 16.61 | 7.58-22.74 | TRAMO 22 |             |      |      |       |      |
| 32 | 2+900 | 9.17  | 16.61 | 7.58-22.74 | TRAMO 23 | 0.00        | 0.00 | 0.00 | 9.17  | 0.00 |
| 33 | 3+000 | 4.49  | 16.61 | 7.58-22.74 | TRAMO 24 | ZONA FUERTE |      |      |       |      |
| 34 | 3+100 | 38.90 | 16.61 | 7.58-22.74 | TRAMO 25 | ZONA DEBIL  |      |      |       |      |

|    |       |       |       |            |          |            |      |       |       |      |
|----|-------|-------|-------|------------|----------|------------|------|-------|-------|------|
| 35 | 3+200 | 35.91 | 16.61 | 7.58-22.74 | TRAMO 25 |            |      |       |       |      |
| 36 | 3+300 | 32.91 | 16.61 | 7.58-22.74 | TRAMO 25 |            |      |       |       |      |
| 37 | 3+400 | 13.18 | 16.61 | 7.58-22.74 | TRAMO 26 | -2.20      | 4.83 | 21.75 | 58.87 | 0.37 |
| 38 | 3+500 | 17.57 | 16.61 | 7.58-22.74 | TRAMO 26 | 2.20       | 4.83 | 21.75 | 58.87 | 0.37 |
| 39 | 3+600 | 38.08 | 16.61 | 7.58-22.74 | TRAMO 27 | ZONA DEBIL |      |       |       |      |
| 40 | 3+700 | 36.66 | 16.61 | 7.58-22.74 | TRAMO 27 |            |      |       |       |      |
| 41 | 3+800 | 27.50 | 16.61 | 7.58-22.74 | TRAMO 27 |            |      |       |       |      |
| 42 | 3+900 | 42.77 | 16.61 | 7.58-22.74 | TRAMO 27 |            |      |       |       |      |
| 43 | 4+000 | 9.07  | 16.61 | 7.58-22.74 | TRAMO 28 | 0.00       | 0.00 | 0.00  | 9.07  | 0.00 |
| 44 | 4+100 | 40.82 | 16.61 | 7.58-22.74 | TRAMO 29 | ZONA DEBIL |      |       |       |      |
| 45 | 4+200 | 31.75 | 16.61 | 7.58-22.74 | TRAMO 29 |            |      |       |       |      |
| 46 | 4+300 | 39.31 | 16.61 | 7.58-22.74 | TRAMO 29 |            |      |       |       |      |
| 47 | 4+400 | 28.06 | 16.61 | 7.58-22.74 | TRAMO 29 |            |      |       |       |      |
| 48 | 4+500 | 12.47 | 16.61 | 7.58-22.74 | TRAMO 30 | 0.00       | 0.00 | 0.00  | 12.47 | 0.00 |
| 49 | 4+600 | 38.98 | 16.61 | 7.58-22.74 | TRAMO 31 | ZONA DEBIL |      |       |       |      |
| 50 | 4+700 | 18.71 | 16.61 | 7.58-22.74 | TRAMO 32 | 0.00       | 0.00 | 0.00  | 18.71 | 0.00 |
| 51 | 4+800 | 43.65 | 16.61 | 7.58-22.74 | TRAMO 33 | ZONA DEBIL |      |       |       |      |
| 52 | 4+900 | 33.61 | 16.61 | 7.58-22.74 | TRAMO 33 |            |      |       |       |      |
| 53 | 5+000 | 33.61 | 16.61 | 7.58-22.74 | TRAMO 33 |            |      |       |       |      |
| 54 | 5+100 | 44.30 | 16.61 | 7.58-22.74 | TRAMO 33 |            |      |       |       |      |
| 55 | 5+200 | 36.66 | 16.61 | 7.58-22.74 | TRAMO 33 |            |      |       |       |      |



|    |       |       |       |            |          |            |       |       |       |      |
|----|-------|-------|-------|------------|----------|------------|-------|-------|-------|------|
| 56 | 5+300 | 22.44 | 16.61 | 7.58-22.74 | TRAMO 34 | 5.49       | 30.09 | 29.37 | 75.69 | 0.39 |
| 57 | 5+400 | 17.95 | 16.61 | 7.58-22.74 | TRAMO 34 | 1.00       | 0.99  | 29.37 | 75.69 | 0.39 |
| 58 | 5+500 | 10.47 | 16.61 | 7.58-22.74 | TRAMO 34 | -6.48      | 42.03 | 29.37 | 75.69 | 0.39 |
| 59 | 5+600 | 4.68  | 16.61 | 7.58-22.74 | TRAMO 35 | ZONA DEBIL |       |       |       |      |
| 60 | 5+700 | 1.56  | 16.61 | 7.58-22.74 | TRAMO 35 |            |       |       |       |      |
| 61 | 5+800 | 1.56  | 16.61 | 7.58-22.74 | TRAMO 35 |            |       |       |       |      |
| 62 | 5+900 | 4.68  | 16.61 | 7.58-22.74 | TRAMO 35 |            |       |       |       |      |
| 63 | 6+000 | 6.24  | 16.61 | 7.58-22.74 | TRAMO 35 |            |       |       |       |      |
| 64 | 6+100 | 4.68  | 16.61 | 7.58-22.74 | TRAMO 35 |            |       |       |       |      |
| 65 | 6+200 | 2.99  | 16.61 | 7.58-22.74 | TRAMO 35 |            |       |       |       |      |
| 66 | 6+300 | 7.48  | 16.61 | 7.58-22.74 | TRAMO 36 | -1.50      | 2.24  | 12.69 | 34.37 | 0.37 |
| 67 | 6+400 | 10.47 | 16.61 | 7.58-22.74 | TRAMO 36 | 1.50       | 2.24  | 12.69 | 34.37 | 0.37 |

|                  |       |                |       |            |          |             |       |       |       |      |
|------------------|-------|----------------|-------|------------|----------|-------------|-------|-------|-------|------|
| 68               | 6+500 | 6.24           | 16.61 | 7.58-22.74 | TRAMO 37 | ZONA FUERTE |       |       |       |      |
| 69               | 6+600 | 4.68           | 16.61 | 7.58-22.74 | TRAMO 37 |             |       |       |       |      |
| 70               | 6+700 | 4.68           | 16.61 | 7.58-22.74 | TRAMO 37 |             |       |       |       |      |
| 71               | 6+800 | 1.42           | 16.61 | 7.58-22.74 | TRAMO 37 |             |       |       |       |      |
| 72               | 6+900 | 5.67           | 16.61 | 7.58-22.74 | TRAMO 37 |             |       |       |       |      |
| 73               | 7+000 | 4.25           | 16.61 | 7.58-22.74 | TRAMO 37 |             |       |       |       |      |
| 74               | 7+100 | 1.43           | 16.61 | 7.58-22.74 | TRAMO 37 |             |       |       |       |      |
| 75               | 7+200 | 7.17           | 16.61 | 7.58-22.74 | TRAMO 37 |             |       |       |       |      |
| 76               | 7+300 | 1.43           | 16.61 | 7.58-22.74 | TRAMO 37 |             |       |       |       |      |
| 77               | 7+400 | 1.43           | 16.61 | 7.58-22.74 | TRAMO 37 |             |       |       |       |      |
| 78               | 7+500 | 11.46          | 16.61 | 7.58-22.74 | TRAMO 38 | 0.00        | 0.00  | 0.00  | 11.46 | 0.00 |
| 79               | 7+600 | 4.30           | 16.61 | 7.58-22.74 | TRAMO 39 | ZONA FUERTE |       |       |       |      |
| 80               | 7+700 | 8.88           | 16.61 | 7.58-22.74 | TRAMO 40 | -4.44       | 19.72 | 18.84 | 51.01 | 0.37 |
| 81               | 7+800 | 17.76          | 16.61 | 7.58-22.74 | TRAMO 40 | 4.44        | 19.72 | 18.84 | 51.01 | 0.37 |
| 82               | 7+900 | 35.91          | 16.61 | 7.58-22.74 | TRAMO 41 | ZONA DEBIL  |       |       |       |      |
| 83               | 8+000 | 13.46          | 16.61 | 7.58-22.74 | TRAMO 42 | 0.00        | 0.00  | 0.00  | 13.46 | 0.00 |
| <b>SUMATORIA</b> |       | <b>1378.82</b> |       |            |          |             |       |       |       |      |

Tabla 11. Tabla de Homogeneidad en zonas débiles  
Fuente: Autoras

Los valores de la tabla 12 se obtuvieron de las siguientes fórmulas, tomando como ejemplo un valor de la deflexión original.

#### 4.15 VALOR MEDIO DE LA DEFLEXIÓN

$$D' = \frac{\sum d}{N} = \frac{10.555}{83} = 0.509 \text{ mm/100}$$

#### 4.16 DESVIACIÓN ESTÁNDAR

$$S = \frac{\sqrt{(\sum d^2 - d' \sum d)}}{(n-1)} = \frac{\sqrt{10.555^2 - 0.448 * 10.555}}{(83-1)} = 4.634 \text{ mm /100}$$

#### 4.17 COEFICIENTE DE VARIACIÓN

$$V = \frac{s}{d'} = \frac{4.083}{0.448} = 9.110$$

*Fórmula 4. Coeficiente de variación*

#### 4.18 DEFLEXIÓN CARACTERÍSTICA

$$D_c = (d' + 2s) * c * k = (0.509 + 2 * 4.634) * 1 * 1 = 9.777 \text{ mm/100}$$

*Fórmula 5. Deflexión característica*

#### 4.19 CAPACIDAD ESTRUCTURAL

La capacidad estructural se determinó a través de métodos no destructivos (NDT), basado en la medida de deflexión, en donde de método permite la estimación del Numero estructural (SN).

El número estructural se determinó para datos de ensayo con Viga Benkelman, la tabla resume los valores calculados por medio de la formula desarrollada para la HDM-4:

$$SN_s = 3.2(DEF_s)^{-0.63} + dSNPK^6$$

*Fórmula 6. Numero estructural*

| ABSCISAS | D <sub>o</sub> (mm/100) | D <sub>o</sub> (in) | SN    | ABSCISAS | D <sub>o</sub> (mm/100) | D <sub>o</sub> (in) | SN    | ABSCISAS | D <sub>o</sub> (mm/100) | D <sub>o</sub> (in) | SN    |
|----------|-------------------------|---------------------|-------|----------|-------------------------|---------------------|-------|----------|-------------------------|---------------------|-------|
| 0+050    | 0.036                   | 0.001               | 26.17 | 1+200    | 0.108                   | 0.004               | 13.00 | 2+600    | 0.364                   | 0.014               | 6.05  |
| 0+100    | 0.392                   | 0.015               | 5.78  | 1+300    | 0.118                   | 0.005               | 12.33 | 2+700    | 1.241                   | 0.049               | 2.79  |
| 0+150    | 0.142                   | 0.006               | 10.93 | 1+400    | 0.078                   | 0.003               | 15.91 | 2+800    | 0.978                   | 0.038               | 3.25  |
| 0+200    | 0.071                   | 0.003               | 16.91 | 1+500    | 0.331                   | 0.013               | 6.42  | 2+900    | 0.233                   | 0.009               | 8.02  |
| 0+250    | 0.071                   | 0.003               | 16.91 | 1+600    | 0.074                   | 0.003               | 16.56 | 3+000    | 0.114                   | 0.004               | 12.57 |
| 0+300    | 0.178                   | 0.007               | 9.49  | 1+700    | 0.320                   | 0.013               | 6.55  | 3+100    | 0.988                   | 0.039               | 3.22  |
| 0+400    | 0.463                   | 0.018               | 5.20  | 1+800    | 0.107                   | 0.004               | 13.10 | 3+200    | 0.912                   | 0.036               | 3.39  |
| 0+500    | 0.605                   | 0.024               | 4.39  | 1+900    | 0.641                   | 0.025               | 4.24  | 3+300    | 0.836                   | 0.033               | 3.58  |
| 0+600    | 0.107                   | 0.004               | 13.10 | 2+000    | 0.036                   | 0.001               | 26.17 | 3+400    | 0.335                   | 0.013               | 6.38  |
| 0+700    | 1.210                   | 0.048               | 2.84  | 2+100    | 0.864                   | 0.034               | 3.51  | 3+500    | 0.446                   | 0.018               | 5.32  |
| 0+800    | 0.427                   | 0.017               | 5.47  | 2+200    | 0.396                   | 0.016               | 5.74  | 3+600    | 0.967                   | 0.038               | 3.27  |
| 0+900    | 0.392                   | 0.015               | 5.78  | 2+300    | 0.072                   | 0.003               | 16.79 | 3+700    | 0.931                   | 0.037               | 3.35  |
| 1+000    | 0.072                   | 0.003               | 16.79 | 2+400    | 0.510                   | 0.020               | 4.89  | 3+800    | 0.698                   | 0.027               | 4.01  |
| 1+100    | 0.108                   | 0.004               | 13.00 | 2+500    | 0.801                   | 0.032               | 3.68  | 3+900    | 1.086                   | 0.043               | 3.04  |

Tabla 12. Determinación de la capacidad estructural

Fuente: Autoras

| ABSCISAS | D <sub>o</sub> (mm/100) | D <sub>o</sub> (in) | SN   | ABSCISAS | D <sub>o</sub> (mm/100) | D <sub>o</sub> (in) | SN    | ABSCISAS | D <sub>o</sub> (mm/100) | D <sub>o</sub> (in) | SN    |
|----------|-------------------------|---------------------|------|----------|-------------------------|---------------------|-------|----------|-------------------------|---------------------|-------|
| 4+000    | 0.230                   | 0.009               | 8.07 | 5+400    | 0.456                   | 0.018               | 5.25  | 6+800    | 0.036                   | 0.001               | 25.98 |
| 4+100    | 1.037                   | 0.041               | 3.13 | 5+500    | 0.266                   | 0.010               | 7.37  | 6+900    | 27.200                  | 0.040               | 0.40  |
| 4+200    | 0.806                   | 0.032               | 3.66 | 5+600    | 0.119                   | 0.005               | 12.25 | 6+900    | 0.144                   | 0.006               | 10.85 |
| 4+300    | 0.998                   | 0.039               | 3.20 | 5+700    | 0.040                   | 0.002               | 24.47 | 7+000    | 0.108                   | 0.004               | 13.00 |
| 4+400    | 0.713                   | 0.028               | 3.96 | 5+800    | 0.040                   | 0.002               | 24.47 | 7+100    | 0.036                   | 0.001               | 25.80 |
| 4+500    | 0.317                   | 0.012               | 6.60 | 5+900    | 0.119                   | 0.005               | 12.25 | 7+200    | 0.182                   | 0.007               | 9.36  |
| 4+600    | 0.990                   | 0.039               | 3.22 | 6+000    | 0.158                   | 0.006               | 10.22 | 7+300    | 0.036                   | 0.001               | 25.80 |
| 4+700    | 0.475                   | 0.019               | 5.11 | 6+100    | 0.119                   | 0.005               | 12.25 | 7+400    | 0.036                   | 0.001               | 25.80 |
| 4+800    | 1.109                   | 0.044               | 3.00 | 6+200    | 0.076                   | 0.003               | 16.23 | 7+500    | 0.291                   | 0.011               | 6.96  |
| 4+900    | 0.854                   | 0.034               | 3.54 | 6+300    | 0.190                   | 0.007               | 9.11  | 7+600    | 0.109                   | 0.004               | 12.91 |
| 5+000    | 0.854                   | 0.034               | 3.54 | 6+400    | 0.266                   | 0.010               | 7.37  | 7+700    | 0.226                   | 0.009               | 8.18  |
| 5+100    | 1.125                   | 0.044               | 2.97 | 6+500    | 0.158                   | 0.006               | 10.22 | 7+800    | 0.451                   | 0.018               | 5.28  |
| 5+200    | 0.931                   | 0.037               | 3.35 | 6+600    | 0.119                   | 0.005               | 12.25 | 7+900    | 0.912                   | 0.036               | 3.39  |
| 5+300    | 0.570                   | 0.022               | 4.56 | 6+700    | 0.119                   | 0.005               | 12.25 | 8+000    | 0.342                   | 0.013               | 6.29  |

Tabla 13. Determinación de la capacidad estructural  
Fuente: Autoras

#### 4.20 METODOLOGIA (Modelo Matemático de Hogg)

Este modelo determina básicamente el CBR de la subrasante. (Consortio Sullana).

#### 4.21 DATOS Y PARAMETROS OBTENIDOS:

##### 4.21.1 MODELO DE HOGG

| D <sub>0</sub>          |         |
|-------------------------|---------|
| DR/D0 (D <sub>0</sub> ) | 1.360   |
| A                       | 371.100 |
| B                       | 2.000   |
| C                       | 0.219   |
| X                       | 0.192   |
| Y                       | 0.602   |
| μ                       | 0.4     |
| M                       | 0.48    |
| K                       | 1.6330  |
| I                       | 0.1689  |

R = Distancia a la que se mide la deflexión DR

D<sub>0</sub> = Deflexión máxima

DR = Deflexión a la distancia R

A, B y C = Coeficientes de correlación

#### 4.21.2 RADIO DE LA HUELLA DE CONTACTO (A)

| FORMULA        | PULGADAS | CENTIMETROS | UNIDADES |
|----------------|----------|-------------|----------|
| $A=V(P/\pi p)$ | 4.23     | 10.75       | cm       |

#### 4.21.3 DETERMINACIÓN DE R5

| FORMULA                             | CENTIMETROS | UNIDADES |
|-------------------------------------|-------------|----------|
| $R5=R((A^c-B)/(((A(D0/DR-1)^c-B)))$ | 125.663     | cm       |

#### 4.21.4 DETERMINACIÓN DE LA LONGITUD ELASTICA L0

| FORMULA                       | CENTIMETROS | UNIDADES |
|-------------------------------|-------------|----------|
| $L0=(YR5+V((YR5)^2-4AXR5))/2$ | 72.049      | cm       |



#### 4.21.5 DETERMINACIÓN DEL MODULO DE ELASTICIDAD DE LA SUBRASANTE E0

| FORMULA                        | RESULTADOS | UNIDADES           |
|--------------------------------|------------|--------------------|
| $S_o/S=1-M(A/L0-0.10)$         | 0.976      |                    |
| $E0=((K*I*P)/(L0*D0))*(S_o/S)$ | 170.086    | kg/cm <sup>2</sup> |

#### 4.21.6 CBR DE LA SUBRASANTE

| FORMULA              | CENTIMETROS | UNIDADES |
|----------------------|-------------|----------|
| $CBR=(E0/130)*1.401$ | 7.943       | %        |

#### 4.21.7 CALIFICACIÓN

En la figura 7 se muestra q para el CBR de la subrasante que hemos obtenido se tiene una calificación de “REGULAR” ya que nuestro CBR es de 7.943%.

| CBR      | Clasificación cualitativa del suelo | Uso         |
|----------|-------------------------------------|-------------|
| 2 - 5    | Muy mala                            | Sub-rasante |
| 5 - 8    | Mala                                | Sub-rasante |
| 8 - 20   | Regular - Buena                     | Sub-rasante |
| 20 - 30  | Excelente                           | Sub-rasante |
| 30 - 60  | Buena                               | Sub-base    |
| 60 - 80  | Buena                               | Base        |
| 80 - 100 | Excelente                           | Base        |

*Figura 7. Tabla de calificación y uso del suelo según el valor del CBR  
Fuente: Assis A., 1988*

**CAPITULO 5:**

**CONCLUSIONES**

**RECOMENDACIONES**

**BIBLIOGRAFIA**

## CAPITULO 5

### 5.1 CONCLUICIONES

1. De acuerdo con los resultados de las Deflexiones Corregidas, se puede concluir que un 71% no cumple con los rangos establecidos ( $0.211 \leq \text{DEFLEXION} \leq 0.633$ ), teniendo en cuenta que estas zonas deben someterse a un estudio particular principalmente las que presentan deflexiones altas.
2. El Radio de Curvatura un 99% de sus valores no se encuentran dentro del rango ( $RC \leq 100$ ); por lo que consideramos fallas por deformación.
3. La vía evaluada se encuentra en una calificación de servicialidad “REGULAR”, puesto que este pavimento flexible posee grandes baches y grietas profundas; teniendo en cuenta la gran cantidad de fallas que se ha observado, esto puede ocasionar pérdida de áridos.
4. El comportamiento estructural del pavimento, mediante el concepto de área, se obtuvo un 26% de zona débil ya que las deflexiones son mayores que los rangos establecidos (7.58 - 22.74).
5. Cuando se trata de pavimentos viejos, los cuales su vida útil ya se ha cumplido, se puede notar como parte de las obras de mantenimiento (bacheo) se ha incorporado

materiales que han modificado la granulometría original de la capa de rodadura, ocasionando en algunos casos deflexiones mínimas.

6. El CBR de la subrasante determinado en la práctica (7.943 %) está en un rango de regular - bueno, considerando que el dato está relacionado con la deflexión máxima.

## 5.2 RECOMENDACIONES

1. En la actualidad existen distintas técnicas y equipos para realizar la evaluación de los pavimentos. Por ello es recomendable de acuerdo a las necesidades del estudio y las características del estudio, seleccionar el más adecuado para realizarla.
2. Se recomienda medir deflexiones intermedias (D1, D2, etc.) que permitan definir el cuenco con la finalidad de obtener parámetros de diseño esenciales en la capacidad estructural del pavimento.
3. Se recomienda a las entidades públicas que realicen evaluaciones a las diferentes vías de la ciudad ya que este método de análisis sirve para dar un mejor mantenimiento a las mismas.
4. Como futura línea de investigación se recomienda investigar sobre el grado de envejecimiento máximo que puede tener un asfalto, determinando así para cual es recomendable u mantenimiento.

### 5.3 BIBLIOGRAFÍA

AASHTO *Guide for Design of Pavement Structures*. (1993). USA: American Association of State Highway and Transportation Officials.

Hogg. (1994). *Equilibrium of a Thin Slab on an Elastic Foundation of finite Depth*. Philosophical Magazine.

Ing. Gustavo Andrés Patiño Lopez, I. F. (2006). *Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles*. Bogota D.C: Universidad Nacional de Colombia, Republica de Colombia Ministerio de Transporte.

Instituto Americano del Asfalto "MS-1 Thickness Design Asphalt Pavement for Highway & Streets". (1991). USA: Institutes Thickness Design Manual.

Limón, I. R. (1978). *Recuperación de Pavimentos Flexibles*. Mexico.

M.S, H. (1977). *Application of Elasticity Models for the evaluation of flexible Pavements*. Israel: Transportation Research Institute.

Mario S Hoffman PhD, P. M. (1985). *Estudios de Evaluación Estructural de Pavimentos Basados en la Interpretación de Curvas de Deflexiones( Ensayos no destructivos)*.

Molina, C. R. (2004). *Evaluación y Rehabilitación de Pavimentos Flexibles por el Método del Recicleje*. Tesis UES.

Montejo, I. A. (1998). *Ingeniería de Pavimentos*. Colombia: Stella Valbuena de Fierro.

MOP-001-E. (1974). *Manual de Diseño de Carreteras*. Quito- New York: TIPPETTS-  
ABBETT-MCCARTHY-STRATTON.