



**UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS**  
**FACULTAD DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL**

## **TESIS**

**EVALUACION, DEFORMACION Y REHABILITACION DEL PAVIMENTO  
FLEXIBLE.**

**OBRA: "MEJORAMIENTO DE LA INTERCONEXION VIAL CRUCE  
PANAMERICANA SUR, ROTONDA – OVALO CEMENTERIO, BINACIONAL,  
EN LA REGION MOQUEGUA"**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER**  
**BACH. ING. CESAR AUGUSTO BARRIOS FLORES**

**PARA OBTAR EL TITULO PROFESIONAL DE**  
**INGENIERO CIVIL**

**MOQUEGUA- PERU**

**2016**

## INDICE

### “EVALUACION, DEFORMACION Y REHABILITACION DEL PAVIMENTO FLEXIBLE

OBRA: “MEJORAMIENTO DE LA INTERCONEXION VIAL CRUCE  
PANAMERICANA SUR, ROTONDA - OVALO CEMENTERIO, BINACIONAL,  
EN LA REGION MOQUEGUA

|                   |        |
|-------------------|--------|
| DEDICATORIA.....  | PAG. 1 |
| RESUMEN.....      | PAG. 2 |
| SUMARY.....       | PAG. 3 |
| SINTESIS.....     | PAG. 4 |
| INTRODUCCION..... | PAG. 5 |

## CAPITULO I

|   |        |
|---|--------|
| 1.1 DESCRIPCION DE LA REALIDAD<br>PROBLEMÁTICA.....         | PAG 8  |
| 1.2 DELIMITACIONES DE LA<br>INVESTIGACION.....              | PAG 8  |
| 1.3 PLANTEAMIENTO DE PROBLEMAS DE<br>INVESTIGACION.....     | PAG 9  |
| 1.4 OBJETIVOS DE LA<br>INVESTIGACION.....                   | PAG 9  |
| 1.5 FORMULACION DE LA HIPOTESIS DE LA<br>INVESTIGACION..... | PAG 10 |
| 1.6 VARIABLES DE LA<br>INVESTIGACION.....                   | PAG 11 |

|  |               |
|--|---------------|
| <b>1.7 DISEÑO DE LA INVESTIGACION.....</b>                       | <b>PAG 14</b> |
| <b>1.8 POBLACION Y MUESTRA DE LA INVESTIGACION.....</b>          | <b>PAG 15</b> |
| <b>1.10 JUSTIFICACION E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACION.....</b> | <b>PAG 16</b> |

## **CAPITULO II**

|  |               |
|--|---------------|
| <b>2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACION.....</b> | <b>PAG 19</b> |
| <b>2.2 BASES TEORICAS.....</b>                   | <b>PAG 22</b> |
| <b>2.3 DEFINICION DE TERMINOS BASICOS.....</b>   | <b>PAG 28</b> |

## **CAPITULO III**

|  |               |
|--|---------------|
| <b>3.1 CONFIABILIDAD Y VALIDACION DEL INSTRUMENTO.....</b> | <b>PAG 43</b> |
| <b>3.1.2 MEDICION DE DEFLEXIONES BENKELMAN.....</b>        | <b>PAG 44</b> |
| <b>3.1.3 EQUIPOS REQUERIDOS.....</b>                       | <b>PAG 45</b> |
| <b>3.1.4 VIGA BENKELMAN.....</b>                           | <b>PAG 46</b> |
| <b>3.1.5 PROCEDIMIENTO EN EL CAMPO.....</b>                | <b>PAG 50</b> |
| <b>3.1.6 CALCULO DE DEFLEXIONES.....</b>                   | <b>PAG 53</b> |
| <b>3.1.7 METODO DE ANALISIS.....</b>                       | <b>PAG 53</b> |
| <b>3.1.8 DETERMINACION DEL M.E. DE LA SUBRASANTE.....</b>  | <b>PAG 57</b> |
| <b>3.1.9 RADIO DE CURVATURA.....</b>                       | <b>PAG 59</b> |

|   |        |
|---|--------|
| 3.1.10 PARAMETROS DE EVALUACION.....                                  | PAG 60 |
| 3.1.11 SIGNIFICADO DE $L\emptyset$ .....                              | PAG 61 |
| 3.1.12 SIGNIFICADO DE $E\emptyset$ Y SU RELACION CON EL<br>CBR.....   | PAG 61 |
| 3.1.13 SIGNIFICADO DE $E^*$ Y HC.....                                 | PAG 63 |
| 3.1.14 PARAMETROS DE $H/L\emptyset$ y $\mu$ .....                     | PAG 64 |
| 3.1.15 PLANILLAS DE RELEVANTAMIENTO.....                              | PAG 65 |
| 3.1.16 CORRECCION DE LAS DEFLEXIONES POR EFECTO DE<br>$T^\circ$ ..... | PAG 66 |
| 3.1.17 VARIABILIDAD DE LA CAPACIDAD<br>ESTRUCTURAL.....               | PAG 67 |
| 3.1.18 ENSAYO MERLIN.....   | PAG 70 |
| 3.2 ANALISIS CUANTITATIVO DE LAS VARIABLES.....                       | PAG 82 |

#### CAPITULO IV

|  |         |
|--|---------|
| 4.1 PRUEBA DE HIPOTESIS GENERAL.....             | PAG 84  |
| 4.1.2 FALLA ESTRUCTURAL.....                     | PAG 84  |
| 4.1.3 FALLA FUNCIONAL.....                       | PAG 85  |
| 4.1.4 FALLAS COMUNES Y SU POSIBLE REPARACION.... | PAG 90  |
| 4.2 PRUEBA DE HIPOTESIS ESPECIFICAS.....         | PAG 100 |

## **CAPITULO V**

### **PROYECTO DE REHABILITACION**

|  |                |
|--|----------------|
| <b>5.1 INTRODUCCION.....</b>   | <b>PAG 111</b> |
| <b>5.2 DISEÑO DE ALTERNATIVAS DE REHABILITACION.....</b>             | <b>PAG 112</b> |
| <b>5.3 IMPORTANCIA DE UNA INSPECCION<br/>FRECUENTE.....</b>          | <b>PAG 112</b> |
| <b>5.4 MEZCLAS ASFALTICAS Y MATERIALES.....</b>                      | <b>PAG 113</b> |
| <b>5.5 CAUSA Y REPARACION DE<br/>DEFORMACIONES.....</b>              | <b>PAG 113</b> |
| <b>5.6 CAUSA Y REPARACION DE LA<br/>DESINTEGRACION.....</b>          | <b>PAG 114</b> |
| <b>5.7 CAUSA Y REPARACION DE SUPERFICIES<br/>RESBALADIZAS.....</b>   | <b>PAG 115</b> |
| <b>5.8 MEJORAS PROYECTADAS PARA LOS TRAMOS<br/>ESTUDIADOS.....</b>   | <b>PAG 116</b> |
| <b>5.9 PROYECTO DE REHABILITACION<br/>PERMANENTE.....</b>            | <b>PAG 117</b> |
| <b>5.10 DESCRIPCION DE LOS TRABAJOS.....</b>                         | <b>PAG 117</b> |
| <b>5.11 ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO RUTINARIO.....</b>              | <b>PAG 118</b> |
| <b>5.12 OBRAS DE MANTENIMIENTO PERIODICO.....</b>                    | <b>PAG 118</b> |
| <b>5.13 INDICADORES DE ESTADO.....</b>                               | <b>PAG 119</b> |
| <b>5.14 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES SOBRE EL<br/>ESTUDIO.....</b> | <b>PAG 124</b> |

## **ANEXO I**

### **GUIA PARA LA RECOPIACION DE ANTECEDENTES DE LOS PAVIMENTOS**

**GUIA PARA LA RECOPIACION DE ANTECEDENTES DE LOS  
PAVIMENTOS..... PAG 129**

## **ANEXO II**

### **FORMATOS UTILIZADOS PARA LA RECOPIACION DE DATOS DE CAMPO**

**FORMATOS UTILIZADOS PARA LA RECOPIACION DE DATOS DE  
CAMPO..... PAG 130**

## **ANEXO III**

### **GUIA PARA EL ESTUDIO DE LAS DEFLEXIONES EN ESTRUCTUAS DE PAVIMENTO ASFALTICO**

**GUIA PARA EL ESTUDIO DE LAS DEFLEXIONES EN ESTRUCTUAS DE  
PAVIMENTO ASFALTICO..... PAG 132**

## **ANEXO IV**

### **DOCUMENTOS DE ESTUDIO – INFORMACION DE LA TESIS**

**DOCUMENTOS DE ESTUDIO – INFORMACION DE LA TESIS... PAG 137**

**BIBLIOGRAFIA..... PAG 138**

## INDICE DE FIGURAS

|  |          |
|--|----------|
| 1. AVANCE DEL DETERIORO DE UN CAMINO RESPECTO AL TIEMPO....<br>PAG28.                |          |
| 2. MEDICION DE LA VIGA BENKELMAN.....  | PAG. 44  |
| 3. EQUIPOS REQUERIDOS .....  | PAG. 45  |
| 4. ESQUEMA DE LA VIGA BENKELMAN.....   | PAG. 48  |
| 5. DETERMINACION DE TEMPERATURA.....   | PAG. 49  |
| 6. PROCESO DE MEDICION CON VIGA BENKELMAN.....                                       | PAG. 51  |
| 7. SIGNIFICADO CUALITATIVO DE LOS DIFERENTES TIPOS DE CURVAS<br>DE DEFLEXIONES ..... | PAG. 62  |
| 8. PARAMETROS IRI – RANGO “D” .....  | PAG. 78  |
| 9. ESQUEMA RUGOSIMETRO.....  | PAG. 79  |
| 10. ESCALA DE TABLERO IRI .....  | PAG. 80  |
| 11. FORMATO DE ENSAYO .....  | PAG. 81  |
| 12. AGRIETAMIENTO.....   | PAG. 91  |
| 13. DEFORMACION PERMANENTE EN LA SUPERFICIE DEL<br>PAVIMENTO.....                    | PAG. 92  |
| 14. FALLAS POR CORTE.....  | PAG. 93  |
| 15. AGRIETAMINTO LONGITUDINAL.....   | PAG. 94  |
| 16. ESTADO DE ESFUERZOS EN LA SUBRAZANTE.....  | PAG. 101 |
| 17. GRANULOMETRIA I Y II UTILIZADOS EN EL ESTUDIO.....                               | PAG. 103 |
| 18. DIFERENTES GRANULOMETRIAS USADAS EN EL<br>ESTUDIO.....                           | PAG. 104 |
| 19. METODOS MECANISTAS.....  | PAG. 106 |

## INDICE DE CUADROS

1. VARIABLES DE LA INVESTIGACIONES (INDICADORES-INDICES)..... PAG. 11
2. VARIABLES DEPENDIENTES (INDICADORES- INDICES)..... PAG. 12
3. OPERACIONALIZACION DE VARIABLES..... PAG. 13
4. COEFICIENTE DE CORRELACION PARA EL CALCULO DE R5 EN EL MODELO HOGG ..... PAG. 56
5. COEFICIENTE DE CORRELACION PARA LA DETERMINACION DE LO EN EL MODELO DE HOGG ..... PAG. 57
6. TIPO DE MANIFESTACIONES DE LAS FALLAS DE LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES ..... PAG. 95-96-97
7. PRINCIPALES FACTORES QUE AFECTAN A LOS TRES TIPOS BASICOS DE FALLA DE UN PAVIMENTOS FLEXIBLE..... PAG. 98-99
8. INDICADORES PARA EL PAVIMENTO..... PAG. 119-120
9. INDICADORES PARA LAS ZONAS LATERALES..... PAG. 121-122
10. INDICADORES PARA LA SEÑALIZACION Y SEGURIDAD VIAL..... PAG. 122-123

## INDICE DE TABLAS

|  |         |
|--|---------|
| 1. PARAMETRO DE SERVICIO DEL MODELO ESTRUCTURAL....            | PAG. 15 |
| 2. ESPESOR DE SUBRAZANTE.....                                  | PAG. 31 |
| 3. REQUERIMIENTOS GRANULOMETRICOS PARA BASE<br>GRANULAR.....   | PAG. 32 |
| 4. ESPECIFICACIONES DE BASE PARA RANGO GRANULAR.....           | PAG. 34 |
| 5. VALOR RELATIVO DE SOPORTE .....                             | PAG. 34 |
| 6. AGREGADO GRUESO EN BASE .....                               | PAG. 35 |
| 7. AGREGADO FINO EN BASE .....                                 | PAG. 36 |
| 8. REQUERIMIENTO DE AGREGADO GRUESO – CAPA DE<br>RODADURA..... | PAG. 37 |
| 9. REQUERIMIENTO DE AGREGADO FINO – CAPA DE<br>RODADURA.....   | PAG. 37 |
| 10. PROCEDIMIENTO DE CAMPO .....                               | PAG. 50 |

## DEDICATORIA

Esta tesis se la dedico a mi Dios quien supo guiarme por el buen camino, darme fuerzas para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se presentaban, enseñándome a encarar las adversidades sin perder la dignidad ni desfallecer en el intento.

A mi madre **ADELA FLORES TQUI** por todo su apoyo, consejos, comprensión, amor y ayuda en los momentos más difíciles de mi carrera te amo mama.

A mi padre **JUAN GRUBALDO BARRIOS DELGADO** por todo su apoyo, amor y comprensión y por ayudarme con los recursos necesarios para poder estudiar, los dos me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi carácter, mi empeño, mi perseverancia, mi coraje para conseguir mis objetivos, a los dos un millón de gracias los quiero un montón.

A mi hermano **JUAN MANUEL BARRIOS FLORES** por estar siempre presente, acompañarme para poder realizar mis sueños gracias hermano por tus consejos te quiero mucho.

A mi pareja **KATIA POMACOSI MANSILLA** gracias mi amor por apoyarme en mi trabajo final de tesis, por darme las fuerzas para seguir adelante y por tu comprensión en todo este tiempo te amo.

## RESUMEN

La presente tesis comprende la evaluación de la situación actual en que se encuentra la superficie de la carpeta asfáltica, por medio del cálculo por deflectometría utilizando la viga Benkelman y determinar el IRI por el ensayo de merlín.

La elaboración de la presente tesis se ha fundamentado en ciertos conceptos básicos en que se apoya este método, así como también conceptos básicos sobre el diseño, construcción, mantenimiento y vida útil de los pavimentos asfálticos, por otro lado es necesario también acotar la poca cantidad de información sobre este tema por lo cual en algunos casos se asumió hipótesis de difícil comprobación a través de los datos disponibles de campo.

Los pavimentos se planean, diseñan y construyen para que estén en servicio, en condiciones adecuadas, un determinado número de años a los cuales se conoce como vida de servicio. Sin embargo al estar en funcionamiento los pavimentos son sometidos a la acción de tránsito, factores climáticos y otros, que lo van deteriorando, presentando diferentes condiciones de servicio a través de los años.

La presente tesis está orientada básicamente a realizar un estudio y evaluación del pavimento asfáltico mediante el método no **destructivo**, debido a diversos factores que favorecen su uso. Por ende la tesis toma como nombre **“EVALUACION, DEFORMACION Y REHABILITACION DEL PAVIMENTO FLEXIBLE. OBRA:”MEJORAMIENTO DE LA INTERCONEXION VIAL CRUCE PANAMERICANA SUR, ROTONDA – OVALO CEMENTERIO, BINACIONAL, EN LA REGION MOQUEGUA”** . Diseño de pavimentos que según documentos se adjuntan y presentan pavimento asfáltico y cuyo periodo de servicio o vida útil es corta.

Se ha desarrollado y descrito una metodología para la evaluación estructural basada en la deformación del pavimento, el estado de la superficie de la capa de rodadura se encuentra en un deterioro total.

## **SUMMARY**

This thesis includes evaluating the current situation where the asphalt surface by means of calculation deflectometry using the Benkelman beam and determine the IRI testing is Merlin.

The development of this thesis has been based on some basic concepts on which this method is based, as well as basics of design, construction, maintenance and service life of asphalt pavements, on the other hand it is also necessary to limit the small amount information on this subject which in some cases difficult to prove hypothesis was assumed through the available data field.

The floors are planned, designed and built for a number of years which is known as service life in service, under appropriate conditions. But when in operation pavements are subjected to the action of traffic, weather and other factors, which are deteriorating, presenting different conditions of service through the years.

This thesis is basically oriented to carry out a study and evaluation of asphalt pavement by non-destructive, due to various factors that favor its use. Hence the thesis takes the name "EVALUATION, AND STRAIN OF FLEXIBLE PAVEMENT REHABILITATION WORK ROAD INTERCONNECTION.

According pavement design documents are attached and have asphalt pavement and whose period of service life is short.

Has been developed and disclosed a methodology for structural evaluation based on the deformation of the pavement, the surface condition of the surface layer is in a total deterioration.

## SINTESIS

El trabajo de investigación alcanzara estudios a nivel de pregrado, aplicando los conocimientos adquiridos en las aulas universitarias.

El trabajo de investigación se realizara a nivel de laboratorio, siendo el trabajo de gabinete y de exploración de muestras asfálticas.

El trabajo busca en su primera etapa recopilar y presentar los conceptos de deformación y análisis del pavimento en la obra: **“MEJORAMIENTO DE LA INTERCONEXION VIAL CRUCE PANAMERICANA SUR, ROTONDA – OVALO CEMENTERIO, BINACIONAL DE LA REGION MOQUEGUA”**.

En la segunda etapa se realizaran ensayos de laboratorio tales como de campo:

- Viga Benkelman
- Rugosidad del pavimento.

Los ensayos del laboratorio in-situ del pavimento de la obra: **“MEJORAMIENTO DE LA INTERCONEXION VIAL CRUCE PANAMERICANA SUR, ROTONDA – OVALO CEMENTERIO, BINACIONAL DE LA REGION MOQUEGUA”**. Se compararan con los ensayos de la muestra patrón y con las normas especificadas en el reglamento nacional de edificaciones y en el MTC.

## INTRODUCCION

El transporte es un elemento de gran influencia en la economía de las zonas urbanas y rurales, y la serviciabilidad de las carreteras contribuye al desarrollo socio – económico de los sectores de la población, por ello es necesario de una adecuada planificación en los proyectos viales para que puedan garantizar y facilitar el mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes. Dicha serviciabilidad es función directa del estado superficial y estructural del pavimento. Por ello es de gran importancia para la región Moquegua que se cuente con una red vial eficiente, que permita la comunicación entre sus diferentes núcleos urbanos y rurales.

En la ciudad de Moquegua se pueden apreciar que las vías pavimentadas de la localidad, anexos y provincias, no cuentan con un buen control de calidad para dichas obras viales, lo cual hace que los pavimentos sufran deterioro antes de cumplir sus años de vida útil por lo que han sido diseñados.

En muchos de los casos solamente los residentes de obra adoptan medidas poco conocidas en el ámbito del control de calidad en algunos de ellos hasta desconocen el control de calidad o especificaciones técnicas que debe cumplir las propiedades físicas y químicas según lo estipulados en el reglamento nacional de edificaciones o en la norma del MTC EG 2013.

Como todo proyecto de ingeniería, para obras viales, se planteó alternativas necesarias, definiendo a nivel de esquema las partidas principales en la ejecución que requiera cada una de ellas. Considerando los aspectos constructivos y los costos de inversión para cada una de ellas con el propósito de seleccionar la alternativa que asegure el funcionamiento y la durabilidad adecuada.

En forma adicional en este trabajo de investigación se realiza un diagnóstico vial para la obra: **“MEJORAMIENTO DE LA INTERCONEXION VIAL CRUCE PANAMERICANA SUR, ROTONDA – OVALO CEMENTERIO, BINACIONAL DE LA REGION MOQUEGUA”**. De la vía existente en el estudio, el cual pretende saber las condiciones actuales de la estructura y de la superficie de rodadura, como ejercicio académico para que dicho proyecto, sirva como material de consulta a estudiantes de pregrado y posgrado, y además pretende

comprar procedimientos de inspección vial con el fin de generar las conclusiones que al respecto tengan lugar en la investigación.

# **CAPITULO I**

## **CAPITULO I**

### **1.1 DESCRIPCION DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA**

El principal problema que presentan las carreteras pavimentadas se trata de su composición tanto estructural como material, en el campo estructural en un mal diseño o cálculo del pavimento ya sea por el método a diseñar o estudios realizados para el cálculo del espesor de pavimentos, en el ámbito de lo material muchos de los ingenieros residentes de obras o supervisores de obra desconocen la calidad de los agregados y los trabajos a realizar en el control de la calidad de los agregados. Es de muy importancia poder tener en cuenta el control de calidad en cada obra de pavimentación, dicho control debe ser dado por un especialista en la materia de geotecnia.

Los agregados cumplen un valor importante en el desempeño estructural de un pavimento, deben de cumplir normas especificadas por el MTC o bien en su caso normas que se encuentran en el expediente técnico de la obra.

Hoy en día, en las obras de pavimentación no se viene realizando un buen control de calidad, esto se debe a que son pocas las personas que se dedican a esta rama que es muy importante en la construcción

## **1.2 DELIMITACIONES DE LA INVESTIGACION**

A.- Delimitación espacial:

El proyecto de investigación es aplicable a las vías de transporte (pavimento - flexible) para este proyecto se desarrolló en la interconexión vial - Moquegua.

B.- Delimitación temporal:

Se realizara en dos fases:

1.- Primera Fase:

La primera fase comprende la evaluación y aprobación del proyecto iniciado en el mes de febrero y terminado en el mes de julio del 2014

2.- Segunda Fase:

La segunda fase comprende desde el desarrollo del proyecto hasta finalizar con las conclusiones y recomendaciones del mes de agosto del 2014.

### **1.3 PLANTEAMIENTO DE PROBLEMAS DE INVESTIGACION**

#### **1.3.1 PROBLEMA GENERAL**

Se debe al incremento del parque automotor en la ciudad de Moquegua, esto da lugar a un problema vital para el diseño del pavimento, su rugosidad y su serviciabilidad.

**¿El pavimento cumple con los requisitos mínimos establecidos por el MTC (2014) y por el RNE (2013)?**

#### **1.3.2 PROBLEMA ESPECIFICOS**

- 1. ¿Está bien diseñado el pavimento?, ¿El pavimento cumple con las especificaciones del MTC (2014)?**
- 2. ¿Según la norma del MTC (2014), cumple con el uso de serviciabilidad?**
- 3. ¿En cuánto ha crecido el parque automotor en Moquegua?**

### **1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION**

#### **1.4.1 OBJETIVO GENERAL**

Presentar y comparar los resultados obtenidos por la evaluación de la estructura del pavimento y su capa de rodadura requerido según la solicitud del tránsito del sector, y definir cuál es la estructura más favorable a emplear según el análisis de las diferentes metodologías y condiciones existentes y proyectadas en la vía de diseño para determinar la integridad estructural del pavimento y la condición operacional de la superficie de rodadura.

Con el fin de afianzar los conocimientos académicos obtenidos durante la especialización en el área del diseño de pavimentos, ya que para las regiones y el país, una gran parte de su desarrollo económico social desde el punto de vista del mejoramiento de la calidad de vida, está

íntimamente fundamentado en el diseño y estado de la estructura del pavimento o en su mantenimiento.

#### 1.4.2 OBJETIVO ESPECIFICO

- Realizar un análisis previo de las características de la zona como lo es el tránsito, ubicación, el clima, los espesores del pavimento existentes, los resultados del estudio de mecánica de suelos. Esto con el fin de definir los parámetros necesarios a emplear y existente para los diseño de la estructura del pavimento flexible mediante los diferentes métodos propuestos.
- Realizar un conteo vehicular (**CALCULO DEL ESAL**) para determinar la integridad estructural del pavimento y la condición operacional de la superficie de rodadura.
- Estudiar los volúmenes de transito obtenidos y determinar la tasa de crecimiento vehicular.

### 1.5 FORMULACION DE LA HIPOTESIS DE LA INVESTIGACION

#### 1.5.1 HIPOTESIS GENERAL

- La deformación de un pavimento se debe en muchos casos a su mala compactación de sus capas adyacentes, a su mala ejecución durante el proceso constructivo del pavimento y a su mal diseño de espesor de capas.

#### 1.5.2 HIPOTESIS ESPECÍFICAS

- El ensayo de viga benkelman nos determina la deformación unitaria del pavimento mediante el módulo de resiliencia (Mr.).

- La rugosidad del pavimento simplemente es el enclaminamiento del pavimento y esto es medido mediante el ensayo de Merlín.

## 1.6 VARIABLES DE LA INVESTIGACION

### 1.6.1 VARIABLE INDEPENDIENTE

X = Ensayo de Merlín

Y = Ensayo de viga benkelman

#### A.- INDICADORES

X = Mide la rugosidad del pavimento

Y = Mide la deformación del pavimento

#### B.- ÍNDICES

| INDICADORES  | INDICES                                       |
|--|---|
| X = Mide el enclaminamiento de la carpeta de rodadura                  | X = IRI (índice de rugosidad inicial – final) |
| Y = determina la deformación del pavimento si es malo, regular o bueno | Y = Puede ser por 1,2 y 3                     |

### 1.6.2 VARIABLE DEPENDIENTE

K = mejora de las propiedades físico – mecánica de los materiales para el uso en carreteras.

#### A.- Indicadores

K1 = granulometría

K2 = límites de consistencia

K3 = peso específico

| INDICADORES   | INDICES  |
|---|--|
| K1 = determina el % de finos y su gradación para el material de sub base y base                                   | K1 =debe contener entre 8 a 15 % de finos                                    |
| K2 = determina el índice de plasticidad del material de base o sub base según lo especifica en las normas del MTC | K2 = el índice de plasticidad es de 4 % máximo y si es mejor sería cero o NP |
| K3 = determina el peso específico del agregado grueso o fino  | K3 = debe tener un peso específico entre 2.4 a 2.7 gr/cm3                    |

### 1.6.3 OPERACIONALIZACION DE VARIABLES

| VARIABLES | CATEGORIAS | INDICADORES | ITEMS |
|-----------|------------|-------------|-------|
|-----------|------------|-------------|-------|

|   |  |  |   |
|---|--|--|---|
| <p>INDEPENDIENTES.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• RUGOSIDAD</li> <br/> <li>• Viga benkelman</li> <br/> <li>• Peso bulk</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• propiedades físicas</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• IRI</li> <br/> <li>• Deformación</li> <br/> <li>• % vacíos</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Trabajabilidad</li> <br/> <li>• Servicio</li> <br/> <li>• durabilidad</li> </ul> |
| <p>DEPENDIENTES</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• mejorar la capa de rodadura y darle mayor Trabajabilidad</li> </ul>                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• índice de plasticidad</li> <li>• % de finos</li> <li>• CBR</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mejor Trabajabilidad</li> </ul>                                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• % requerido máximo y mínimo.</li> </ul>  |

## 1.7 DISEÑO DE LA INVESTIGACION

### 1.7.1 TIPO DE INVESTIGACION

Este tipo de investigación pertenece o es “**CUANTITATIVO**” porque es aquella en la que se recogen y analizan datos cuantitativos sobre las variables presentadas en la investigación.

#### 1.7.2 NIVEL DE INVESTIGACION

El nivel de investigación es: **EXPERIMENTAL** porque la variable independiente influenciara en la variable dependiente ya que el resultado de este se dará en función a cuanto estén estudiadas dicha información de la investigación.

#### 1.7.3 METODOS DE INVESTIGACION

Con la presente investigación se pretende mejorar las propiedades físicas y mecánicas de los materiales (agregados) para la construcción de carreteras o vías de pavimentación, para el desarrollo de la investigación se considera la siguiente metodología, cuyo desarrollo es el siguiente:

- ✓ Planteamiento del problema.
- ✓ Marco teórico.
- ✓ Recopilación y evaluación de información existente.
- ✓ Redacción y revisión de los capítulos del temario de la tesis.
- ✓ Ensayos de laboratorio.
- ✓ Evaluación e interpretación de resultados obtenidos.

#### 1.7.4 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El tipo de investigación es **EXPERIMENTAL**. Donde al menos una variable es manipulada y las unidades son aleatoriamente

asignadas a los distintos niveles o categorías del pavimento flexible del proyecto en estudio.

## 1.8 POBLACION Y MUESTRA DE LA INVESTIGACION

### 1.8.1 Población

La investigación tomara como población, el diseño de pavimento que tiene la obra ya ejecutada que está ubicada:

Lugar : interconexión vial  
Departamento : Moquegua  
Provincia : Mariscal Nieto  
Distrito : Moquegua

### 1.8.2 Muestra

Para obtener la muestra se deberá efectuar prospecciones de campo se realizara pruebas de viga benkelman y pruebas de rugosidad (ensayo merlín), una por kilómetro, en caso de haber diferenciación en las características de las muestras contiguas, se hará una adicional entre ambas.

| Parámetro  | Valor de servicio      |
|--|------------------------|
| Deformación radial de tracción en la base de la capa asfáltica, $\epsilon_{r1}$        | $1,986 \times 10^{-4}$ |
| Esfuerzo vertical de compresión sobre la subrasante, $\sigma_{z3}$ en $\text{kg/cm}^2$ | 0,188                  |
| Deformación vertical de compresión sobre la subrasante, $\epsilon_{z4}$                | $3,464 \times 10^{-4}$ |
| Deflexión en la superficie, $\Delta_o$ , mm  | 0,5715                 |
| Deflexión en la subrasante, $\Delta_s$ , mm  | 0,3742                 |

**Tabla 1 - Parámetros de servicio del modelo estructural**

## 1.9 TECNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCION DE DATOS

### 1.- Infraestructura

- Laboratorio de mecánica de suelos de la empresa Geopol E.I.R.L. (samegua)
  
- Laboratorio de geotecnia, pavimentos y ensayo del MTC.

## 2.- Material de oficina

- Lapiceros( azul y rojo)
  
- Hojas Bond
  
- Corrector
  
- Clips
  
- Folder

## **1.10 JUSTIFICACION E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACION**

### **1.10.1 JUSTIFICACIÓN**

Se justifica por que las pruebas e investigaciones que se realizarán sobre la carpeta asfáltica o capa de rodadura nos proporcionaran datos para la investigación y sacar nuestras conclusiones del tipo de falla estructural del pavimento construido y de las propiedades físico–mecánicas del suelo, en las carreteras vecinales del Perú y del departamento de Moquegua en especial.

### **1.10.2 IMPORTANCIA**

Es importante porque las Canteras existentes de donde se obtiene el material de BASE, SUBBASE y AFIRMADO para la construcción de vías (infraestructura vial), debe tener un buen

control de calidad, ya sea por etapas o por procesos de explotación de material y así poder mejorar las propiedades físico – mecánicas del suelo en las carreteras vecinales.

## **CAPITULO II**

### **CAPITULO II**

#### **MARCO TEORICO**

##### **2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN**

Se denomina 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: ancho, trazo horizontal y vertical, resistencia adecuada a las cargas para evitar las fallas y los agrietamientos, además de una adherencia adecuada entre el vehículo y el pavimento aun en condiciones húmedas.

Es importante considerar que el aspecto más importante en la estructura de los pavimentos, es el que tiene que ver con la resistencia de las capas, la cual debe ser la adecuada para controlar los esfuerzos destructivos del tránsito, de la intemperie y del agua.

Puesto que los esfuerzos de un pavimento decrecen con la profundidad, se deberán colocar los materiales de mayor capacidad de carga en las capas superiores, siendo de menor capacidad los que se colocan en las capas inferiores, además de que son los materiales que más comúnmente se encuentran en la naturaleza, y por consecuencia resultan lo 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 lo constituye, también resulta de gran influencia en el procedimiento constructivo del pavimento, siendo dos factores importantes la compactación y la humedad, ya que cuando un material se acomoda adecuadamente, este se consolida y por efecto de las cargas y es cuando se producen deformaciones permanentes.

## ANTECEDENTES LOCALES

En el departamento de Moquegua y en el entorno local, se cuenta con muy poca información acerca de la deformación y análisis de un pavimento esto se debe a que no cuentan con un buen control de calidad y solo realizan las obras por beneficio propio.

## ANTECEDENTES NACIONAL

En el ámbito nacional en algunos casos no determinan la deformación del pavimento por no conocer los métodos a aplicar o por simple hecho de no conocer lo que es el control de calidad.

Los antecedentes de Evaluación (medición de deflexiones) de un pavimento están muy relacionados a los estudios de espesores, capacidad estructural de las capas del mismo y del tipo de suelo en el que se encuentra construido, por lo que constituye un elemento muy valioso.

La vía evaluada en la presente tesis, así como las vías en la ciudad de Moquegua, nunca antes han tenido una evaluación y estudio como se realizó en la presente.

El estudio y evaluación se realizó por el método no destructivo mediante las deflexiones del pavimento, concluyendo de esta manera que no se contó con material que sirva como antecedentes de estudios anteriores realizados en Moquegua, pero si con estudios realizados en otras ciudades del país, por otro lado la vía estudiada ha sido construida en febrero del 2010 teniendo hasta la fecha una edad de 4 años (según el informe de liquidación de obras) del **GOBIERNO REGIONAL MOQUEGUA**

## **ANTECEDENTES RECOGIDOS.**

Los antecedentes recogidos para la ejecución del estudio y evaluación de los pavimentos, comprende las siguientes aéreas de información.

- Datos geotécnicos: se contó con copias de los ensayos de laboratorio de suelos de los materiales existentes en el lecho del lugar donde se construyó el pavimento, estos ensayos son:
  - Análisis Granulométrico.
  - Ensayo de propiedades físicas.
  - Ensayo de proctor modificado.
  - Ensayo de CBR.
- Datos de construcción: se tuvo acceso al plano del lugar de ensayo, también se cuenta con copias de los ensayos de laboratorio a los materiales utilizados, tales como:
  - Ensayo de gravedad específica
  - Ensayo de absorción
  - Propiedades físicas de los agregados
- Referencias de rehabilitaciones ejecutadas; NO EXISTEN rehabilitaciones porque es un pavimento nuevo.
- Datos relativos al comportamiento del pavimento; se tiene como resultados de la inspección visual que realice inicialmente.
- Análisis de estudios y proyectos elaborados; no se cuenta con esta información porque el pavimento es nuevo.

## **2.2 BASES TEORICAS**

### **2.2.1 COMPOSICION DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL Y LA RED NACIONAL**

Nuestra red vial está clasificada en tres categorías: carreteras nacionales, Departamentales y vecinales. Cuenta con un aproximado de 86.965,00 kilómetros de extensión, de los cuales 13.683,00 kilómetros se encuentran pavimentados (16% de la red total). La red nacional incluye 25.165,00 kilómetros (29%), la departamental 14.500,00 kilómetros (17%) y las vecinales 47.300,00 kilómetros (54%).

La red nacional comprende las rutas o ejes troncales de importancia nacional. Vincula las capitales de departamento, principales ciudades, áreas productivas, puertos y fronteras

## 2.2.2 EL MANTENIMIENTO VIAL Y SU RELACION CON LA RUGOSIDAD

Las características funcionales de una vía tienen gran incidencia en las condiciones de seguridad y comodidad, lo que afecta económicamente a los costos de operación y mantenimiento. Las irregularidades que presentan las vías tienen relación directa con los costos de operación de los vehículos, por consiguiente afecta la velocidad, el desgaste de las llantas y el consumo de combustible. Estas irregularidades aparte de ocasionar desgastes en los vehículos modifican el estado de esfuerzos y deformaciones en la estructura de la vía. La calidad de un pavimento se puede entender como la capacidad estructural que soporta a diferentes solicitaciones, asimismo como la comodidad que siente el usuario al transitar sobre el pavimento.

Mantenimiento es la prevención y conservación de una carretera en su condición original de construcción o en su condición subsiguientemente mejorada. El pavimento, si se mantiene en su condición original, podría durar teóricamente para siempre. Pero en la práctica, el mantenimiento apenas ayuda al pavimento a que cumpla su función satisfactoriamente durante su vida de diseño.

El mantenimiento no solamente preserva la superficie del pavimento, sino que también previene el desgaste acelerado. No debe considerarse como

un recurso temporal, sino una inversión en la estructura del pavimento y una garantía contra una renovación costosa del mismo.

A continuación presento una descripción de casi la totalidad de mantenimientos y rehabilitaciones, para cada tipo de averías o fallas que se presentan en los pavimentos en general, para así poder tener una guía de qué hacer cuando se presenta dicho problema.

### **2.2.2.1 BACHEO**

El bacheo es probablemente el método más difundido de reparación en el mantenimiento de carreteras y calles. Todos los pavimentos requieren bacheo alguna vez. Si los baches no ocurren por causas naturales, los producen los cortes y zanjas que origina el tránsito. Los defectos varían desde áreas agrietadas y abrasiones superficiales hasta baches profundos.

El bacheo requiere una supervisión experimentada y firme. Una reparación oportuna de las pequeñas fracturas ayudara a mantener bajos los gastos porque una vez que el área se ha roto y entra el agua a la subrasante, se produce una falla muy grande.

Los bacheos profundos se hacen para hacer una reparación duradera del pavimento. Es así que presento el procedimiento a seguir para su rehabilitación y/o mantenimiento.

- ☒ El material del área a ser preparada debe ser removido hasta la profundidad necesaria para almacenar un soporte firme. Esto puede implicar la remoción de parte de la subrasante.
- ☒ La excavación debe además extender por lo menos 0.3m (1 pie) dentro del pavimento en buen estado que circunda el área a ser bacheada.
- ☒ Debe tener sus cantos a escuadra y forma rectangular. Una sierra de pavimento realiza un corte rápido y definido.
- ☒ Las caras verticales reciben luego un riego de liga.

- ☒ Si el piso de bache es una base granular, que es parte de la estructura del pavimento, deberá ser imprimado antes de colocar la mezcla asfáltica para bacheo.
- ☒ Si la profundidad del bache se extiende hasta o dentro de la subrasante y se contempla la posibilidad de efectuar un bacheo asfáltico, entonces se debe compactar capa por capa y la rasante deberá llevar un riego de liga para posteriormente colocar la mezcla asfáltica.
- ☒ Si la profundidad es mayor, el relleno debe ser colocado en capas y cada capa debe ser compactada cuidadosamente. Un compactador vibratorio es excelente para baches pequeños. Para áreas más grandes sería más práctico utilizar un rodillo.
- ☒ Se completa la reparación colocando una capa superficial y compactándola posteriormente, hasta emparejarla con la superficie del pavimento.

#### **2.2.2.2 CAUSA Y REPARACION DE FISURAS**

Las fisuras aparecen de muchas formas. En algunos casos el tratamiento correcto puede ser el llenado de las fisuras simples, en otros puede ser necesaria la remoción completa del área afectada y ejecución del drenaje, antes de efectuar las reparaciones efectivas.

Los tipos de grietas que los equipos de mantenimiento encuentran más comúnmente son:

- a) Grietas piel de cocodrilo.
- b) Fisuras de borde.
- c) Fisuras de contracción.
- d) Fisuras de desplazamiento.

## **a) GRIETAS PIEL DE COCODRILO**

Son fisuras interconectadas formando una serie de pequeños bloques semejando la piel de cocodrilo o alambrado de gallinero. Generalmente están asociadas a una base granular no tratada que ha fallado en una subrasante elástica.

### **⊗ REHABILITACION O REPARACION PERMANENTE**

- Se elimina el material de superficie y de base en la zona agrietada hasta la profundidad que se haya producido la falla en la base.
- Al extraer el material de la zona a reparar las caras cortadas deben ser rectas y verticales, dándose a la excavación tal forma que exista en la dirección del tráfico un apoyo rectangular, contra el que pueda colocarse el material de relleno.
- Aplicar una imprimación a la superficie de base granular.
- Se termina la capa de superficie con una mezcla asfáltica (preferentemente en caliente).
- Sea cual fuere el material empleado, cada capa debe ser compactada correctamente.

### **⊗ MANTENIMIENTO O REPARACIÓN PROVISIONAL**

#### **• PARCHE SUPERFICIAL**

- Se barre la superficie de las zonas agrietadas.
- Se aplica un riego de adherencia.
- Se aplica a esta zona una capa muy delgada de mezcla asfáltica.
- Se compacta la mezcla final.

#### **• TRATAMIENTO SUPERFICIAL**

- Se barre la superficie a tratar hasta dejarla perfectamente limpia.
- Se aplica por riego la cantidad de asfalto necesario.
- Se aplican los agregados mezclados con asfalto.
- Se apisona el tratamiento superficial.

- Puede aplicarse un segundo riego superficial.

## **b) FISURAS DE BORDE**

Son grietas no lejos del borde del pavimento. Comúnmente las fisuras de borde son causadas por la falta de soporte lateral del pavimento asfáltico. También pueden ser causadas por un asentamiento o deformación del material de base subyacente al área fisurada.

Para su reparación a continuación presento algunas pautas a seguir

- En algunos casos puede ser suficiente con un sellado de arena o gravilla.
- En casos avanzados será necesario rellenar las grietas o aplicar un parche superficial o sustituir el pavimento completo.
- La reparación de este tipo de avería o falla se reduce realmente a sistemas de conservación preventivas que evite el agrietamiento.

## **c) FISURAS DE CONTRACCION**

Las fisuras de contracción son grietas interconectadas formando una serie de bloques grandes y usualmente con esquinas o ángulos agudos. Generalmente es difícil determinar si las fisuras de contracción son causadas por un cambio de volumen en la mezcla asfáltica o en la base o en la subrasante.

Frecuentemente están causadas por un cambio volumétrico de la mezcla de agregado fino y asfalto que tienen un alto contenido de asfalto de baja penetración. La ausencia de tráfico acelera las grietas de contracción en estos pavimentos.

Las fisuras de contracción deben ser rellenadas con lechada de emulsión asfáltica seguida por un tratamiento superficial o una lechada de sellado sobre toda la superficie descrita en las grietas piel de cocodrilo.

#### **d) FISURAS DE DESLIZAMIENTO**

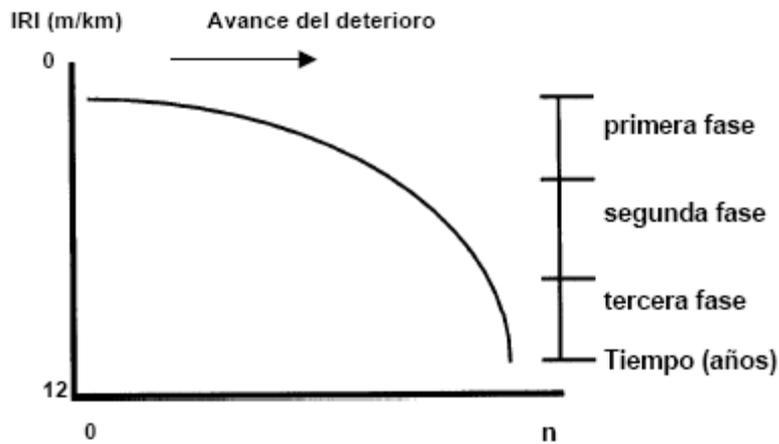
Las fisuras de deslizamiento son grietas, resultado de fuerzas horizontales producidas por el tráfico. Son debidas a una falta de liga entre la capa superficial y la capa inferior. Esta falta de liga puede estar debida a polvo, suciedad, aceite o ausencia de un riego de liga.

El único medio efectivo para repararlas es la remoción de la capa superficial desde los alrededores de la grieta hasta el punto donde existe una buena liga entre capas. Luego se bachea el área con una mezcla asfáltica en frío o caliente.

### **2.2.3 COMPORTAMIENTO TIPICO DE LA CONDICION SUPERFICIAL EN FUNCION DEL IRI.**

Los factores que afectan la condición superficial (de manera principal el tráfico de vehículos y las precipitaciones pluviales) ocasionan una disminución no lineal en la calidad superficial en función de la rugosidad dividiéndose en tres etapas, donde la primera tiene un deterioro poco significativo en los primeros años; la segunda presenta desgaste más acusado y la tercera significa una etapa de deterioro acelerado, en pocos años el nivel de servicio cae de forma importante, por esta razón va a llegar a un costo significativo de mantenimiento del camino y como límite puede ser necesaria una reconstrucción total del mismo.

#### **Avance del deterioro de un camino respecto al tiempo**



## 2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

### 2.3.1 SUBRASANTE

De la calidad de esta capa depende, en gran parte, el espesor que debe tener un pavimento, sea flexible o rígido, como parámetro de evaluación de esta capa se emplea la capacidad de soporte o resistencia a la deformación por esfuerzo cortante bajo las cargas de tránsito. Es necesario tener en cuenta la sensibilidad del suelo a la humedad, tanto en lo que se refiere a la resistencia como a las eventuales variaciones de volumen (hinchamiento – retracción). Los cambios de volumen de un suelo de subrasante de tipo expansivo pueden ocasionar graves daños en las estructuras que se apoyen sobre este, por esta razón cuando se construya un pavimento sobre este tipo de suelo deberá tomarse la precaución de impedir las variaciones de humedad del suelo para lo cual habrá que pensar en la impermeabilización de la estructura.

### 2.3.2 SUBBASE

- **FUNCION ECONOMICA:** Una de las principales funciones de esta capa es netamente económica; en efecto, el espesor total que se requiere para que el nivel de esfuerzos en la subrasante sea igual o menor que su propia resistencia, puede ser construido con

materiales de alta calidad; sin embargo, es preferible distribuir las capas más clasificadas en la parte superior y colocar en la parte inferior del pavimento la capa de menor calidad, la cual es frecuentemente la más barata. Esta solución puede traer consigo un aumento en el espesor total del pavimento y, no obstante, resultar más económico.

- **CAPA DE TRANSICION:** La subbase bien diseñada impide la penetración de los materiales que constituyen la base con los de la subrasante y, por otra parte, actúa como filtro de la base, impidiendo que los finos de la subrasante la contaminen y menoscaben su calidad.
- **DISMINUCION DE DEFORMACIONES:** Algunos cambios volumétricos de la capa subrasante, generalmente asociados a cambios en su contenido de humedad (expansión) o a cambios extremos de temperatura (heladas), pueden absorberse con la capa subbase, impidiendo que dichas deformaciones se reflejen en la superficie de rodadura.
- **DISTRIBUCION DE ESFUERZOS:** En la subbase continua la disipación de esfuerzos transmitidos por la base, de manera que las presiones verticales a nivel de subrasante sean menores a las admisibles.
- **RESISTENCIA:** La subbase debe soportar los esfuerzos transmitidos por las cargas de los vehículos a través de las capas superiores y transmitirlos a un nivel adecuado a la subrasante.

### 2.3.3 BASE

- **FUNCION ECONOMICA:** Respecto a la carpeta asfáltica, la base tiene una función económica análoga a la que tiene la subbase.

- **DRENAJE:** En muchos casos la base debe drenar el agua que se introduzca a través de la carpeta o por las bermas, así como impedir la ascensión capilar.
- **DISTRIBUCION DE ESFUERZOS:** La función principal de la base es la de absorber los esfuerzos horizontales de tracción generados en la fibra inferior de la carpeta asfáltica.
- **RESISTENCIA:** La función fundamental de la base de un pavimento es proporcionar un elemento resistente que transmita a la subbase y a la subrasante los esfuerzos producidos por el tránsito en una intensidad apropiada.

#### 2.3.4 CARPETA ASFALTICA

- **SUPERFICIE DE RODAMIENTO:** La carpeta debe proporcionar una superficie uniforme, estable y seguro del tránsito, de textura y color conveniente y resistir los efectos abrasivos del tránsito.
- **IMPERMEABILIDAD:** Hasta donde sea posible, debe impedir el paso del agua hacia el interior del pavimento.
- **DISTRIBUCION DE ESFUERZOS:** La carpeta asfáltica está sometida básicamente a esfuerzos de compresión y tensión. La función principal es la de disipar los esfuerzos horizontales generada por las cargas de los vehículos, pasando de un valor positivo (de compresión) en la superficie a un valor negativo (de tracción) en la fibra inferior, de manera que no se produzca el agrietamiento de la capa.
- **RESISTENCIA:** Su resistencia a la tensión completa la capacidad estructural del pavimento.

#### 2.3.5 CRITERIOS A TOMAR EN EL DISEÑO DE LA PAVIMENTACION

Lo siguiente implica las condiciones mínimas que deben observar los componentes estructurales de un pavimento según la normatividad vigente:

### 2.3.5.1 SUBRASANTE:

Ψ Los materiales deberán estar libres de cantidades perjudiciales de materia orgánica (desechos, basura, plantas, etc.)

Ψ Se debe de tener especial cuidado en la selección como al tratamiento y compactación de la subrasante, teniendo en cuenta la densidad natural, densidad máxima (proctor modificado o estándar) y la humedad de la subrasante.

Ψ El espesor mínimo de la subrasante debidamente compactada estará relacionada con el tipo de tránsito o CBR.

Ψ Deberá exigirse una compactación mayor al valor relativo de la densidad natural sobre la densidad máxima  **$((\gamma_{nat}/\gamma_{max})*100)$** .

Ψ Se debe clasificar la capacidad de soporte de la subrasante calificándose como pésimo (desecharlo), malo (colocar subbase con material seleccionado, bueno, excelente.

Ψ El espesor de la subrasante tiene que estar dentro de los valores que se muestra en la tabla N° 3.01 según el método **AASHTO-T-180-D**.

| TABLA N° 3.01            |                          |
|--------------------------|--------------------------|
| ESPESOR DE LA SUBRASANTE |                          |
| No menor de 6" a 12"     | Si hay transito reducido |
| No menor de 12" a 18"    | Si hay transito regular  |
| No menor de 18" a 24"    | Si hay transito intenso  |

### 2.3.5.2 SUBBASE

Se podrá utilizar partículas limpias, con suelos tipo grava arenosa, arenas arcillosas o suelos similares, que cumplan los siguientes requisitos:

- Inorgánicos.
- Libres de materia vegetal.
- Libres de escombros.
- Libres de basuras.
- Sin presencia de terrones.
- Sin presencia de trozos degradables.
- La fórmula de mezclar en obra deberá ser seleccionada teniendo en cuenta la disponibilidad de los materiales y los requerimientos de servicio del proyecto.
- Los límites de gradación que debe tener un subbase es como se detalla en la tabla N° 3.02 según ASTM D 1241
- 

| TABLA N° 3.02                               |                             |                |                |                |
|---|-----------------------------|----------------|----------------|----------------|
| REQUERIMIENTOS GRANULOMETRICOS PARA SUBBASE |                             |                |                |                |
| GRANULAR                                    |                             |                |                |                |
| TAMIZ                                       | PORCENTAJE QUE PASA EN PESO |                |                |                |
|   | GRADACION<br>A (1)          | GRADACION<br>B | GRADACION<br>C | GRADACION<br>D |
| 50 mm (2")                                  | 100                         | 100            | -----          | -----          |
| 25 mm (1")                                  | -----                       | 75-95          | 100            | 100            |
| 9.5 mm (3/8")                               | 30-65                       | 40-75          | 50-85          | 60-100         |
| 4.75 mm (Nº4)                               | 25-55                       | 30-65          | 35-65          | 50-85          |
| 2.0 mm (Nº10)                               | 15-40                       | 20-45          | 25-50          | 40-70          |
| 4.25 mm (Nº40)                              | 8-20                        | 15-30          | 15-30          | 25-45          |
| 75 mm (Nº200)                               | 2-8                         | 5-15           | 5-15           | 8-15           |

\*Fuente: Sección 303 de las EG-2000 del MTC

- (1) La curva de gradación "A" deberá emplearse en zonas cuya altitud sea igual o superior a 3000 m.s.n.m.
- (1) La curva granulométrica SB-3 deberá usarse en zonas con altitud mayor de 3500 m.s.n.m.

† Norma EG-2000 (Especificaciones técnicas generales para la construcción de carreteras).

✦ Además se debe de cumplir con los siguientes requisitos de calidad tabla N° 3.03

| TABLA N° 3.03                     |           |        |        |                |                |
|-----------------------------------|-----------|--------|--------|----------------|----------------|
| ENSAYO                            | NORMA     | NORMA  | NORMA  | REQUERIMIENTO  |                |
|                                   | MTC       | ASTM   | AASHTO | < 3000 m.s.n.m | ≥ 3000 m.s.n.m |
| Abrasion                          | MTC E 207 | C 131  | T 96   | 50 % max       | 50 % max       |
| CBR (1)                           | MTC E 132 | D 1883 | T 193  | 40 % min       | 40 % min       |
| Limite Liquido                    | MTC E 110 | D 4318 | T 89   | 25 % max       | 25 % max       |
| Indice Plasticidad                | MTC E 111 | D 4318 | T 89   | 6 % max        | 4 % max        |
| Equivalente arena                 | MTC E 114 | D 2419 | T 176  | 25 % max       | 35 % min       |
| Sales Solubles                    | MTC E 219 | -----  | -----  | 1 % max        | 1 % max        |
| Particulas chatas y Alargadas (2) | MTC E 211 | D 4791 |        | 20 % max       | 20 % max       |

(1) Referido al 100 % de la maxima densidad seca y una penetracion de carga de 0.1" (2.5 mm)

(2) la relacion ha emplearse para la determinacion es 1/3 (espesor / longitud).

✦ **Norma EG-2000 (Especificaciones técnicas generales para la construcción de carreteras).**

### 2.3.5.3 BASE

El material utilizado en la base debe contar con los siguientes requisitos:

- ✦ Ser resistente a los cambios de humedad y temperatura.
- ✦ No presentar cambios de volumen que sean perjudiciales.
- ✦ La graduación del material de la base debe hallarse dentro de los limites indicados en la tabla N° 3.04, según método ASTM D 1241:

| TABLA N° 3.04  |                             |           |           |           |
|----------------|-----------------------------|-----------|-----------|-----------|
| RANGO GRANULAR |                             |           |           |           |
| TAMIZ          | PORCENTAJE QUE PASA EN PESO |           |           |           |
|                | GRADACION                   | GRADACION | GRADACION | GRADACION |
|                | A                           | B         | C         | D         |
| 50 mm (2")     | 100                         | 100       | -----     | -----     |
| 25 mm (1")     | -----                       | 75-95     | 100       | 100       |
| 9.5 mm (3/8")  | 30-65                       | 40-75     | 50-85     | 60-100    |
| 4.75 mm (N°4)  | 25-55                       | 30-60     | 35-65     | 50-85     |
| 2.0 mm (N°10)  | 15-40                       | 20-45     | 25-50     | 40-70     |
| 4.25 mm (N°40) | 8-20                        | 15-30     | 15-30     | 25-45     |
| 75 mm (N°200)  | 2-8                         | 5-15      | 5-15      | 8-15      |

- Fuente: Sección 305 de las EG-2000 del MTC.
- † Norma EG-2000 (especificaciones técnicas generales para construcción de carreteras).
- † El material de base granular deberá cumplir además con las siguientes características físico-mecánicas y químicas que a continuación se indican en la Tabla N° 3.05, según MTC E 132, NORMA ASTM D 1883, NORMA AASHTO T193.

**TABLA 3.05**  
**Valor Relativo de Soporte, CBR**  
 NTP 339.145:1999

| TABLA N° 3.05                        |                        |          |
|--------------------------------------|------------------------|----------|
| Valor Relativo de Soporte CBR<br>(1) | Trafico Ligero y Medio | Min 80 % |
|                                      | Trafico Pesado         | Min 100% |

- † Norma EG-2000 (especificaciones técnicas generales para construcción de carreteras).
- † El agregado grueso, materiales retenidos en la malla N°4, debe cumplir las siguientes características, detallados en la tabla N° 3.06

TABLA N° 3.06

| ENSAYO                               | NORMA     | NORMA  | NORMA  | REQUERIMIENTO  |                |
|--------------------------------------|-----------|--------|--------|----------------|----------------|
|                                      | MTC       | ASTM   | AASHTO | < 3000 m.s.n.m | ≥ 3000 m.s.n.m |
| Partículas con una cara fracturada   | MTC E 210 | D 5821 |        | 80 % min       | 80 % min       |
| Partículas con dos caras fracturadas | MTC E 210 | D 5821 |        | 40 % min       | 50 % min       |
| Abrasion los Angeles                 | MTC E 207 | C 131  | T 96   | 40 % max       | 40 % max       |
| partículas chatas y Alargadas (1)    | MTC E 221 | D 4791 |        | 15 % max       | 15 % max       |
| Sales Solubles Totales               | MTC E 219 | D 1888 |        | 0.5 % max      | 0.5 % max      |
| Perdida con Sulfato de Sodio         | MTC E 209 | C 88   | T 104  | -----          | 12 % max       |
| Perdida con Sulfato de Magnesio      | MTC E 209 | C 88   | T 104  | -----          | 18 % max       |

(1) La relacion ha emplearse para la determinacion es: 1/3 ( espesor/longitud).

- ✦ Norma EG-2000 (especificaciones técnicas generales para construcción de carreteras).
- ✦ Del agregado fino que es la fracción del material que pase en la malla N°4, tiene las siguientes características que se muestran en la tabla N° 3.08 limite liquido del 25%, según el método AASHTO T-89, ASTM D-423.

| TABLA N° 3.06                  |           |        |        |                |                |
|--------------------------------|-----------|--------|--------|----------------|----------------|
| REQUERIMIENTO DE AGREGADO FINO |           |        |        |                |                |
| ENSAYO                         | NORMA     | NORMA  | NORMA  | REQUERIMIENTO  |                |
|                                | MTC       | ASTM   | AASHTO | < 3000 m.s.n.m | ≥ 3000 m.s.n.m |
| Limite Líquido                 | MTC E 110 | D 4318 | T 89   | 25%            | 35%            |
| Indice Plástico                | MTC E 111 | D 4318 | T 89   | 4 % max        | 2 % max        |
| Equivalente de arena           | MTC E 114 | D 2419 | T 176  | 35 % mín       | 45 % mín       |
| Sales Solubles Totales         | MTC E 219 |        |        | 0.55 % max     | 0.5 % max      |
| Indice de Durabilidad          | MTC E 214 |        |        | 35 % mín       | 35 % mín       |

† Norma EG-2000 (especificaciones técnicas generales para construcción de carreteras).

#### 2.5.3.4 CAPA DE RODADURA

- † El suelo debe estar libre de material vegetal y grumos de arcilla.
- † El agregado grueso retenido en la malla N°4, comprende piedra triturada (chancada), escoria triturada o grava zarandeada debe tener las siguientes características que se muestra en la tabla N° 3.07.

| TABLA N° 3.07                    |           |        |        |               |
|----------------------------------|-----------|--------|--------|---------------|
| REQUERIMIENTO DE AGREGADO GRUESO |           |        |        |               |
| ENSAYO                           | NORMA     | NORMA  | NORMA  | REQUERIMIENTO |
|                                  | MTC       | ASTM   | AASHTO |               |
| Durabilidad                      | MTC E 209 | C 88   | T 104  | 12 % max      |
| Abrasion                         | MTC E 207 | C 131  | T 96   | 50 % max      |
| Particulas chatas y Alargadas    | MTC E 211 | D 4791 |        | 15 % max      |
| Absorcion de Agua                |           |        |        | 1 % max       |

- † Norma EG-2000 (especificaciones técnicas generales para construcción de carreteras)
- † El material que pasa la malla N°40, se denomina agregado fino, el cual tiene las siguientes características, que se muestran en la tabla N°3.08

| TABLA N° 3.08                  |           |        |        |               |
|--------------------------------|-----------|--------|--------|---------------|
| REQUERIMIENTO DE AGREGADO FINO |           |        |        |               |
| ENSAYO                         | NORMA     | NORMA  | NORMA  | REQUERIMIENTO |
|                                | MTC       | ASTM   | AASHTO |               |
| Durabilidad                    | MTC E 214 | C 88   | T 104  | 15 % max      |
| Equivalente de Arena           | MTC E 114 | D 2419 | T 176  | 50 % max      |
| Absorcion de Agua              |           | C 128  |        | 1 % max       |
| Indice de Plasticidad          | MTC E 111 | D 4318 | T 89   | < 4           |

- † Norma EG-2000 (especificaciones técnicas generales para construcción de carreteras).

### 2.3.6 RECOMENDACIONES PARA UN BUEN PAVIMENTO

Como se ha visto anteriormente existen diferentes tipos de pavimentos. Los mismos que se encuentran en función a una serie de parámetros como son:

- ☒ Tipo de utilización
- ☒ Necesidad estructural

Llego a la conclusión que no siempre los pavimentos de menor costo inicial son los convenientes, sino que es necesario efectuar un estudio minucioso a través de la vida útil del pavimento, tomando en consideración los costos de mantenimiento, para ello es de suma importancia conocer a fondo lo que es el control de calidad **QA/QC**.

Así mismo un buen pavimento debe cumplir con las siguientes características:

- ☒ Debe ser resistente a las cargas, ya que de lo contrario los esfuerzos verticales y/o horizontales producen fallas de hundimiento y desplazamientos horizontales. En las vías evaluadas se vio que no se cumple este aspecto ya que en gran parte de estas presentan este tipo de fallas.
- ☒ los pavimentos diseñados deben proporcionar una circulación cómoda, eficiente y económica.
- ☒ En temporada de lluvias debe resistir a la humedad sobre el terreno de fundación.
- ☒ En lo posible debe ser indeformable, aceptándose solo en pequeña magnitud de tal manera que no corra riesgo de deterioro. De la evaluación que se realizó se observó que a pesar del corto tiempo de servicio (3 años) el pavimento ya presenta algunas deformaciones produciéndose así un desgaste acelerado del mismo.

✘ Debe ser liso y duro a fin de que no obstaculice el avance de la rueda, evitando así al motor del vehículo mayores esfuerzos.

A continuación definimos los siguientes términos a fin de tener una idea clara de lo que se está tratando en esta tesis de investigación:

- I. **CONCRETO ASFALTICO:** Mezcla en caliente de alta calidad completamente controlada de cemento asfáltico y agregados bien graduados.
- II. **SELLO DE LECHADA DE EMULSION ASFALTICA O SLURRY SEAL:** Una mezcla de asfalto emulsionado de curado lento, agregado fino y relleno mineral, a la que se le añade agua para producir una consistencia de lechada.
- III. **SOBRECAPA ASFALTICA:** Construcción de una o más capas de asfalto sobre un pavimento existente, la sobrecapa generalmente incluye una capa nivelante, para corregir el perfil del pavimento viejo, seguido de una o varias capas uniformes para proveer el espesor requerido.
- IV. **EXUDACION O SANGRADO DEL ASFALTO:** es el movimiento ascendente del asfalto de un pavimento asfáltico dando como resultado la formación de una película de asfalto sobre la superficie.
- V. **CANALES:** “ahuellamiento”. Depresiones canalizadas que pueden desarrollarse en la huella vehicular de un pavimento asfáltico.
- VI. **CALLE URBANA:** Una calle cuyo tránsito es predominante de carácter local.
- VII. **ENCALAMINADO:** Es un tipo de Movimiento plástico simbolizado por ondulaciones a través de la superficie del pavimento.
- VIII. **GRIETA:** Hendidura aleatoria aproximadamente vertical del pavimento debido a causas naturales o a la colocación del tráfico.
- IX. **DEFLEXION:** Cantidad de movimiento vertical descendente de una superficie, debido a la aplicación de una carga sobre ella.
- X. **DEFLEXION RECUPERADA REPRESENTATIVA:** Es el valor medio de las deflexiones recuperadas medidas en una sección de prueba, más de dos desviaciones estándar, ajustadas por temperatura y para el periodo más crítico del año, para medir el desempeño del pavimento.

- XI. **ESAL DE DISEÑO:** El número total de aplicaciones de carga por eje simple equivalente a 80 kN (18000.00 LB) esperando durante el periodo de diseño.
- XII. **DISTORSION:** Cualquier cambio de la superficie de un pavimento desde su forma original.
- XIII. **CARGA POR EJE SIMPLE (ESAL):** 18000.00 LB Es el efecto sobre el desempeño del pavimento, de cualquier combinación de cargas por eje de magnitud variable, equiparada al número de cargas por eje simple de 18000 LB requerido para producir un efecto equivalente.
- XIV. **DEPRESIONES DEL TERRENO:** Áreas bajas localizadas, de tamaño limitado que pueden o no estar acompañadas de agrietamiento.
- XV. **FACTOR DE EQUIVALENTE DE CARGA (FEC):** Es un factor usado para convertir las aplicaciones de cargas por eje de cualquier magnitud, a un número equivalentes de cargas por eje simple de 18000.00 LB o 80 KN.
- XVI. **GRIETA LONGITUDINAL:** Es una grieta que sigue un curso aproximadamente paralelo a la línea central.
- XVII. **ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO:** Son todas las capas de material selecto colocadas sobre el suelo de fundación o suelo de subrasante, diferentes de cualquier capa o capas construidas en operaciones de plataformado.
- XVIII. **BACHES:** Hoyos en forma de taza de tamaños variables en el pavimento, resultantes de la desintegración localizada.
- XIX. **GRIETAS DE CONTRACCION:** Fisuras interconectadas que forman una serie de bloques grandes, comúnmente con esquinas agudas o filudas.
- XX. **SERVICIABILIDAD PRESENTE:** Es la capacidad de una sección especificada de pavimento para seguir, para el uso destinado de un tránsito heterogéneo en el día de la evaluación.
- XXI. **INDICE DE SERVICIABILIDAD PRESENTE (PSI):** Es la combinación matemática de valores, obtenida a partir de ciertas medidas físicas de un gran número de pavimentos, formulada para predecir, dentro de los límites prescritos, la clasificación de la serviciabilidad presente (psi) para esos pavimentos.

- XXII. CLASIFICACION DE LA SERVICIABILIDAD PRESENTE:** Es la media de las clasificaciones individuales hecha por los miembros de un panel especifico seleccionado para ese propósito.
- XXIII. RENOVACION SUPERFICIAL:** Renovaciones superficial o restauración de las características superficiales de un pavimento. A diferencia de un esfuerzo, no tiene por objeto aumentar la capacidad resistente del mismo, aun cuando en determinados casos pueda mejorar esta capacidad.
- XXIV. RIEGO DE ADHERENCIA (RIEGO DE LIGA):** Aplicación de un ligante bituminoso sobre una superficie, con el fin de conseguir su unión con una capa bituminosa que ha de ejecutarse posteriormente.

## **CAPITULO III**

### **CAPITULO III**

#### **PRESENTACION DE RESULTADOS**

##### **3.1 CONFIABILIDAD Y VALIDACION DEL INSTRUMENTO**

## VIGA BENKELMAN

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 final de su vida útil, o cuando el pavimento va a cambiar de función.

Ante el problema de la evaluación estructural, el ingeniero vial tradicionalmente ha recurrido a la perforación de calicatas, a la toma de muestras para su ensayo de laboratorio, y al análisis de cada uno de los componentes o materiales por separado, para incorporarlos luego en el sistema pavimento a fin de reducir las características estructurales del mismo, esta metodología es muy costosa además de ser muy lento y altera el equilibrio del sistema al perforar, es por ello que recibe el nombre de método destructivo.

En la presente tesis doy a conocer una alternativa diferente, la cual es el método no destructivo, y se basa en la interpretación de las deflexiones medidas en la superficie de un pavimento, tienen la ventaja de no realizar calicatas ni recoger muestras. Las deflexiones en la superficie de un pavimento reflejan una respuesta global del sistema pavimento subrasante, bajo una carga dada, su medición es simple, económica, rápida y sobre todo no destructiva, es decir no se altera el equilibrio e integridad del sistema. Este método se realiza con la ayuda del equipo llamado **“VIGA BENKELMAN”** utilizado para la medición de deflexiones y cuyo campo de aplicación de estas es muy amplio empleándose principalmente para:

- ☒ Determinar la vida útil remanente de un pavimento.
- ☒ Evaluar estructuralmente pavimentos con miras a su rehabilitación
- ☒ Evaluar los métodos de diseño de pavimentos y control de ejecución de obras.
- ☒ Determinar la condición de un pavimento con miras a su conservación
- ☒ En determinadas regiones, seleccionar la carga por rueda permitida en periodos críticos.

Las características principales de este método se fundamentan en que la forma y dimensión de la curva de deflexiones encierran una variada información acerca de la estructura del pavimento y su subrasante, otra característica es que por constituir la muestra de ensayo el pavimento mismo, esta refleja la compleja interacción entre sus componentes.

### 3.1.2 MEDICION DE DEFLEXIONES BENKELMAN

Para medir las deflexiones en la superficie del pavimento se ha utilizado una viga benkelman bajo la carga de un volquete de 5m<sup>3</sup> de capacidad con un peso en seco de 6.120,00 Kg, con agregado fino y grueso (hormigón), dando así un peso total de 8.520,00 Kg. Y presión de inflado de 80 psi (75 a 85 psi)



Estas medidas pueden ser ampliadas con la interpretación del radio de curvatura el cual depende principalmente de los módulos de elasticidad de las capas superiores y muy poco de las inferiores de esta manera, teniendo en cuenta las características y espesor de las capas asfálticas, se podrán diferenciar dos casos límite.

- ☒ Si la mayor parte de la deflexión se produce en la subrasante, se obtendrá grandes radios de curvatura (en relación a la magnitud de la deflexión).
- ☒ Si la mayor parte ocurre en las capas superiores, situación indicativa de la deficiente calidad de estas, se obtendrá pequeños radios de curvatura aun a veces con deflexiones tolerables.

### 3.1.3 EQUIPOS REQUERIDOS

El equipo requerido para la realización de ensayos de medición de deflexiones es el siguiente:

- a) Un deflextometro: se usó el equipo “**VIGA BENKELMAN**”, modelo VIGA BENKELMAN MODEL 47-1460, SERIAL N° H050706 – ELE INTERNATIONAL.



- b) Extensómetro con dial indicadores de divisiones cada 0.01 mm  
MODELO VIGA MODEL 47-1460
- c) Volquete cargado, con eje trasero de 18000.00 lbs, igualmente distribuidas en un par de llantas dobles infladas a una presión de 80 psi. (75 a 85 psi.).
- d) Accesorios de medición y varios (cinta métrica de 3 mts., cinta métrica de 30 m, plumones, plomada, desarmador, alicates, lapiceros, señales de seguridad, termómetro, cincel, martillo, mira topográfica. Etc.)

### 3.1.4 VIGA BENKELMAN

La **VIGA BENKELMAN** que se observa en la figura 5.02, funciona según el principio de palanca, es un instrumento completamente mecánico y de diseño simple. Como se muestra en la figura 5.04 la viga consta esencialmente de dos partes:

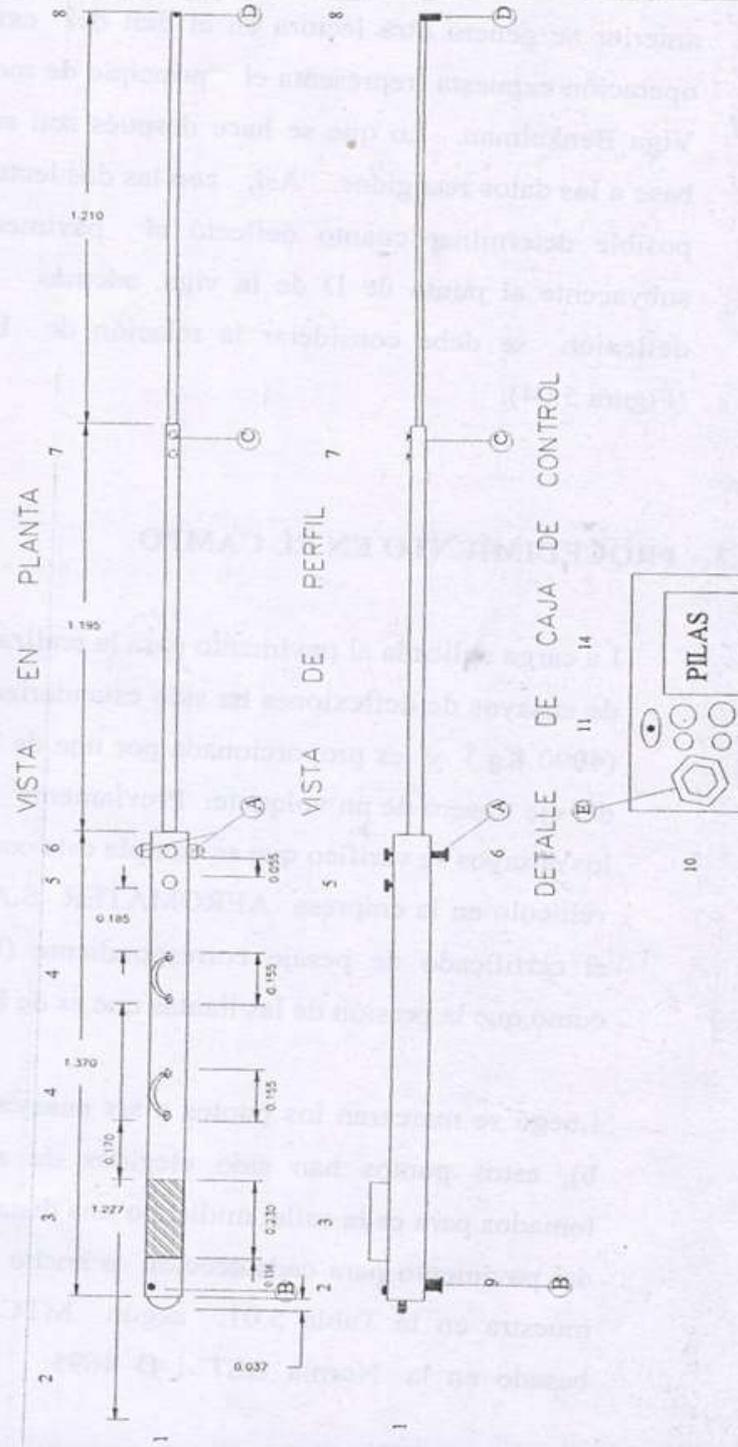
- a) Un cuerpo de sostén que se sitúa directamente sobre el terreno mediante 3 apoyos (dos delanteros fijos “A” y uno trasero regulable “B”) figura 5.04.
- b) Un brazo móvil acoplado al cuerpo fijo mediante una articulación de giro o pivote “C”, uno de cuyos extremos apoya sobre el terreno (Punto D) y el otro se encuentra en contacto sensible con el vástago de un extensómetro de movimiento vertical (Punto E).

Adicionándole el equipo posee un vibrador incorporado que al ser accionado, durante la realización de los ensayos, evita que el indicador del dial se trabe y/o que cualquier interferencia exterior afecte las lecturas, como se verá más adelante, consta también de dos diales, uno horizontal y el otro vertical los cuales se usan por separado.

El extremo D o “punto de la viga” es de espesor tal que puede ser colocada entre una de las llantas dobles del eje trasero de un volquete cargado con material cualquiera. Por el peso aplicado se produce una deformación del pavimento, consecuencia de lo cual la punta baja una cierta cantidad, con respecto al nivel descargado de la superficie. Como efecto de dicha acción el brazo DE gira en torno al punto fijo “C”, con respecto al cuerpo “AB”, determinando que el extremo “E” produzca un movimiento vertical en el vástago del extensómetro apoyado en él, generando así una lectura en el dial indicador.

Si se retiran luego las llantas cargadas, el punto D se recupera en lo que a deformación elástica se refiere y por el mismo mecanismo anterior se genera otra lectura en el dial del extensómetro. La operación expuesta representa al “**principio de medición**” con la **VIGA BENKELMAN**, lo que se hace después son solo cálculos en base a los datos recogidos. Así, con las dos lecturas obtenidas es posible determinar cuánto deflecto el pavimento en el lugar subyacente al punto D de la viga, además para calcular la deflexión se debe considerar la relación de brazos existentes.

**Figura 5.04**  
**ESQUEMA DE LA VIGA BENKELMAN**



- |                               |                               |                               |   |
|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|---|
| (1) Regulador de pata trasera | (5) Seguro de brazo (grande)  | (9) Pata trasera              | (13) Porta pernos grande                  |
| (2) Seguro del regulador      | (6) Patas delanteras          | (10) Seguro para diales       | (14) Baterías para el vibrador del equipo |
| (3) Caja de control           | (7) Seguro de brazo (pequeño) | (11) Interruptor del vibrador |   |
| (4) Manijas del equipo        | (8) Palpador del equipo       | (12) Porta pernos pequeño     |   |



a) Determinando la temperatura del pavimento





- b) estabilizando el brazo de la viga
- c) temperatura del pavimento

### 3.1.5 PROCEDIMIENTO EN EL CAMPO.

La carga aplicada al pavimento para la realización de esta clase de ensayos de deflexiones ha sido estandarizada en 9.000,00 lbs. (4.090,00 kg.) Y es proporcionada por una de las llantas dobles del eje trasero de un volquete. Previamente a la realización de los ensayos se verifico que se cumpla esta condición pesando el vehículo en la empresa

### TOLEDO SCALE CORPORATION

**S.A.C.** el cual otorgo el certificado de pesaje correspondiente, así como que la presión de las llantas que es de 80 psi.

Luego se marcaran los puntos a ser ensayadas, estos puntos han sido elegidos de acuerdo a criterios tomados para en el área de estudio,

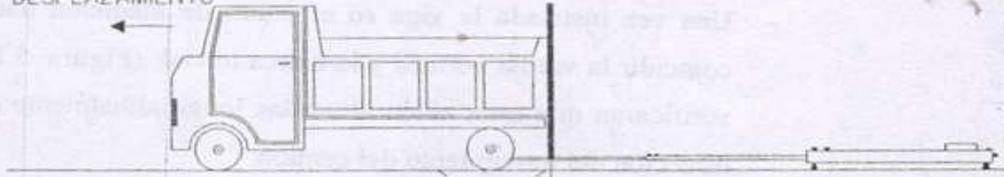
| TABLA 5.01                             |  |
|--|--|
| DISTANCIA DESDE EL BORDE DEL PAVIMENTO |  |
| ANCHO DEL CARRIL                       | DISTANCIA DESDE EL BORDE DEL PAVIMENTO |
| 2.70 m                                 | 0.45 m                                 |
| 3.00 m                                 | 0.60 m                                 |
| 3.30 m                                 | 0.75 m                                 |
| 3.60 m a mas                           | 0.90 m                                 |

Midiendo una distancia desde el borde del pavimento para cada sección o ancho de vía.

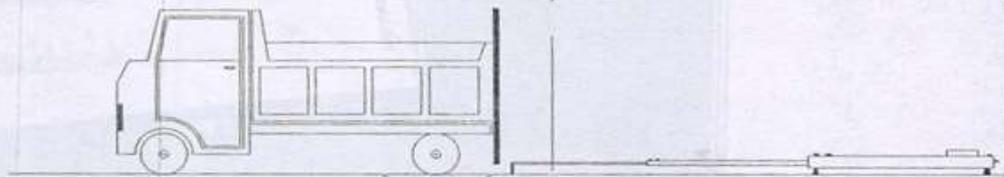
Una vez localizado el lugar donde se realizara el ensayo, se sitúa la llanta a usarse sobre el punto de manera tal que este coincida aproximadamente con el eje vertical del centro de gravedad del conjunto. Para esta operación es aceptable una tolerancia en el rango de 3 pulgadas alrededor del punto.

PROCESO DE MEDICIÓN DE DEFLEXIONES  
CON LA VIGA BENKELMAN

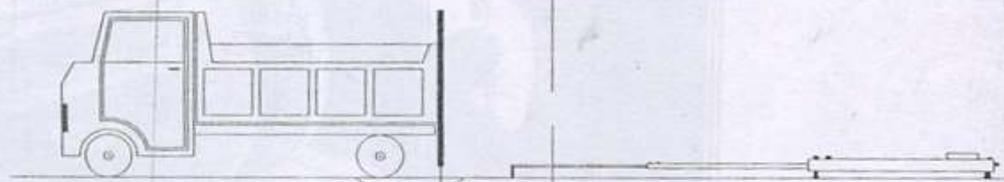
DIRECCIÓN DEL  
DESPLAZAMIENTO



(a) Posición Inicial



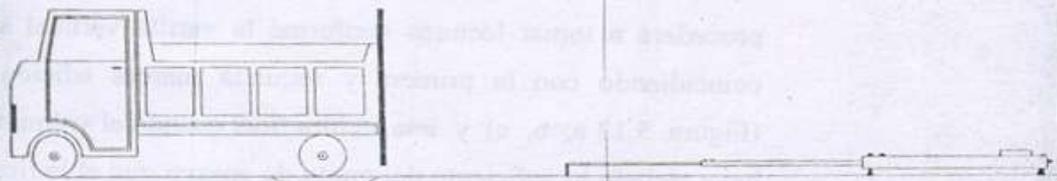
(b) Posición a 25 cm. a velocidad constante mínima.



(c) Posición a 50 cm. a velocidad constante mínima.



(d) Posición a 75 cm. a velocidad constante mínima.



(e) Posición a 100 cm. a velocidad constante mínima.

Figura 5.11: Proceso de Medición

Estacionados los neumáticos se inserta entre ellos el extremo del brazo móvil de la viga, colocándolo nuevamente en la forma más aproximada, sobre el punto de ensayo seleccionado. Dado que esto último se dificulta por la inaccesibilidad tanto visual como manual, se realizara previamente la siguiente operación: se coloca la viga en la posición como si estuviera entre las llantas pero hacia la parte exterior de las mismas, haciendo coincidir igualmente, haciendo uso de una plomada, el extremo del brazo móvil con el eje vertical del centro de gravedad. Tomando como punto de referencia una varilla vertical adosada a la parte trasera del camión, se efectúa un marca en la viga de manera tal que, en adelante, basta con hacerlas coincidir (la marca con la varilla vertical) para asegurarse que el extremo de la viga coincida con el centro de las llantas, en el momento de iniciar las mediciones.

De igual forma se puede efectuar, a partir de la primera sucesiva marca a distancia elegida a las cuales se desee medir las deflexiones adicionales (se tomara lecturas a 25, 50,75 y 100cm). Para la metodología de análisis se requiere de por lo menos tres lecturas, pero se puede obtener más con fines de verificación, lo cual es recomendable, o si es que se desea tener una idea grafica del tipo de curvas de deflexión que se producen.

Como norma se realiza la primera marca adicional a una distancia tal que la deflexión que se obtenga en este punto sea la mitad de la deflexión máxima (obtenida en la marca inicial). La segunda marca adicional se realiza al doble de la distancia de la primera marca adicional. Estas dos distancias se determinaran específicamente para cada proyecto de evaluación que se emprenda.

Es común que se observe variaciones durante la realización de ensayos, pero no deberá hacerse modificaciones mientras que las deflexiones tomadas en la primera marca adicional estén en el rango entre 35% y 65% de la deflexión máxima.

Una vez instaladas la viga en el punto de medición haciendo coincidir la varilla vertical y la marca inicial, se verificaran que estas estén instaladas longitudinalmente con la dirección del movimiento del camión.

Se pondrá el dial del extensómetro en cero, se activara el vibrador y mientras el volquete se desplaza muy lentamente se procederá a tomar lecturas conforme la varilla vertical vaya coincidiendo con la primera y segunda marcas adicionales y una lectura final cuando el volquete se haya alejado lo suficiente del punto de ensayo que el indicador del dial ya no tenga movimiento (aproximadamente 5mts).

Para este ensayo ha sido necesaria la participación de dos asistentes, uno que coordine con el conductor del volquete, y otro que verifique que coincidan las marcas hechas en la viga.

Una vez culminado con el ensayo se recoge todo el equipo utilizado para luego trasladarlo al siguiente punto de ensayo que tuvieron que ser marcados previo a todo el trabajo.

### **3.1.6 CALCULO DE DEFLEXIONES**

Una vez tomados los datos de campo, el cálculo de las deflexiones para cada estación consiste en sustraer la lectura final (punto de referencia de deflexión cero) a cada una de las otras, representando las respectivas diferencias de la deformación en dichos puntos, las cuales en conjunto definen la curva de deflexión de la superficie del pavimento.

### **3.1.7 METODO DE ANALISIS**

Para facilitar el análisis de los numerosos datos de ensayos que se recopilaron en el proyecto de evaluación estructural se han computarizado los procedimientos de interpretación. Usando una hoja de cálculo elaborado por mi persona al cual denominare “**BENKEL- UAP**” basándome en el modelo matemático de HOGG.

A continuación se presentan los diferentes pasos de interpretación con los respectivos algoritmos de su utilización.

### 3.1.7.1 MODELO DE CARGA

La carga en el ensayo de la **VIGA BENKELMAN** proviene del eje trasero simple con llanta doble de un volquete. La carga del eje es de orden de 18,000.00 libras y la presión de inflado es de 80 psi. En el modelo de carga se asume que la presión de inflado es igual a la presión de contacto, que la huella de contacto de cada llanta es circular y de radio "A" y, una distancia de "3A" entre los centros de cada llanta, por equilibrio se establece la siguiente relación:

$$A = \sqrt{\frac{P}{\pi * P}}$$

Dónde:

A = Radio de huella circular del contacto

P = Carga sobre una llanta

P = Presión de inflado

De esta manera, si la carga del eje es de 18.000,00 libras (4.500,00 libras por llanta) y la presión de inflado es de 80 psi:

$$A = \sqrt{\frac{4500}{\pi * 80}} = 4.23" = 10.7cm$$

### 3.1.7.2 DETERMINACION DE R5

R5 es la distancia "R" del centro geométrico de la llanta doble en dirección longitudinal, en la cual se obtiene que la relación  $DR/D\phi = 0.5$  en la curva de deflexiones. Para el modelo de Hogg se ha establecido que R5 puede determinarse usando la siguiente expresión.

$$R5 = R \left( \frac{A^c - B}{\left( A \left( \frac{D\phi}{DR} - 1 \right) \right)^c - B} \right)$$

Dónde:

R = distancia a la que mide la deflexión DR

D $\phi$  = Deflexion máxima.

DR = Deflexión a la distancia R.

A, B y C = Coeficientes de correlación cuyo valor se indica en el cuadro 5.02

El valor de R5 sirve de insumo para determinar la longitud elástica (L  $\phi$ ) del pavimento.

#### CUADRO 5.02

**COEFICIENTE DE CORRELACION PARA EL CÁLCULO DE R5 EN EL  
MODELO DE HOGG**

| <b>H/L<math>\phi</math></b> | <b><math>\mu</math></b> | <b>A</b> | <b>B</b> | <b>C</b> |
|-----------------------------|-------------------------|----------|----------|----------|
| $\infty$                    | Cualquier Valor         | 3.115    | 0        | 0.584    |
| 10<br>DR/D $\phi$ >0.7      | 0.5                     | 2.460    | 0        | 0.592    |
| 10<br>DR/D $\phi$ <0.7      | 0.5                     | 371.1    | 2        | 0.219    |
| 10<br>DR/D $\phi$ >0.426    | 0.4                     | 2.629    | 0        | 0.548    |
| 10<br>DR/D $\phi$ <0.426    | 0.4                     | 2283.4   | 3        | 0.2004   |

**3.1.7.3 DETERMINACION DE LA LONGITUD ELASTICA (L $\phi$ )**

La longitud elástica (L $\phi$ ) del pavimento puede calcularse usando la siguiente ecuación:

$$L\phi = \frac{Y.R5 + \sqrt{(Y.R5)^2 - 4.A.X.R5}}{2}$$

Dónde:

R5 = distancia R

A = radio de la huella circular de carga

X, Y = coeficiente de correlación cuyo valor se indica en el cuadro

5.03

### CUADRO 5.03

#### COEFICIENTE DE CORRELACION PARA LA DETERMINACION DE $L\phi$ EN EL MODELO DE HOGG

| H/ $L\phi$ | $\mu$           | X     | Y     |
|------------|-----------------|-------|-------|
| 10         | 0.5             | 0.183 | 0.620 |
| 10         | 0.4             | 0.192 | 0.602 |
| $\infty$   | Cualquier Valor | 0.180 | 0.525 |

#### 3.1.8 DETERMINACION DEL MODULO DE ELASTICIDAD DE LA SUBRASANTE ( $E\phi$ )

La determinación del módulo de elasticidad de la subrasante constituye un punto central de este método de evaluación. Para desarrollarlas en la computadora se efectúa en 2 pasos:

- a) **PRIMER PASO:** consiste en establecer la relación teórica entre la rigidez para carga puntual y la rigidez para carga distribuida sobre un área, para un coeficiente dado del valor  $A / L\phi$ . La rigidez se define como el coeficiente entre la carga y la deflexión ( $S=P/D\phi$ )  
La relación teórica se calcula por medio de la ecuación:

$$S_0/S = 1-M (A/L\phi - 0.10)$$

Donde:

$S_0$  = rigidez para carga puntual.

$S$  = rigidez para carga de área.

$M$  = coeficiente numérico que adopta los siguientes valores:

Para  $H/L\emptyset = 10$ ;  $\mu = 0.5$ :  $M = 0.52$

Para  $H/L\emptyset = 10$ ;  $\mu = 0.4$ :  $M = 0.48$

Para  $H/L\emptyset = \infty$ ;  $\mu =$  cualquier valor:  $M = 0.44$

**b) SEGUNDO PASO:** Una vez determinado el valor de  $S_0/S$ , se calcula el módulo de elasticidad de la subrasante por medio de la siguiente ecuación:

$$E\emptyset = \frac{K \cdot I \cdot R}{L\emptyset \cdot D\emptyset} S_0/S$$

Dónde:

$K$  = Coeficiente numérico que depende del coeficiente de poisson de la subrasante y que adopta los siguientes valores:

Para  $\mu = 0.5$ :  $K = 1.5$

Para  $\mu = 0.4$ :  $K = 1.633$

$I$  = Coeficiente numérico que adopta los siguientes valores:

Para  $H/L\emptyset = 10$ ;  $\mu = 0.5$ :  $I = 0.1689$

Para  $H/L\emptyset = 10$ ;  $\mu = 0.4$ :  $I = 0.1614$

Para  $H/L\emptyset = \infty$ ;  $\mu =$  cualquier valor:  $I = 0.1925$

$P$  = carga total en la llanta doble

$L\emptyset$  = longitud elástica

$D\emptyset$  = Deflexión medida máxima.

### 3.1.9 RADIO DE CURVATURA

El grado de curvatura de la línea elástica de deflexión es una característica de fundamental importancia, que determina la magnitud de la deformación lineal por tracción que sufren las cargas asfálticas al flexionar bajo las cargas, y en consecuencia, en el desarrollo del fisuramiento en forma de piel de cocodrilo.

Para el cálculo del radio de curvatura se determinó la medición de la línea de deflexión completa, en base a un gran número de puntos, y la determinación del círculo que mejor se adapta a la zona de mayor curvatura (bajo el eje de carga).

Por lo tanto, considerando una deflexión auxiliar a 25 cm. Se puede determinar el radio de curvatura con la fórmula siguiente:

$$R = \frac{10 * (25C)^2}{2(D_0 - D_{25})} = \frac{625}{2(D_0 - D_{25})}$$

Dónde:

R = Radio de curvatura en metros

D<sub>0</sub> = Deflexión recuperable a 0 cm en mm.

D<sub>25</sub> = Deflexión recuperable 25 cm en mm.

10 = coeficiente por cambio de unidades.

En el pavimento estudiado, se observa que la debilidad creciente de las mismas se refleja en mayores deflexiones acompañadas de menores radios de curvatura.

### 3.1.10 PARAMETROS DE EVALUACION

Según se ha expuesto la metodología de evaluación estructural de pavimentos basada en la interpretación de deflexiones de superficie se sustenta matemáticamente en el **MODELO HOGG** y en conceptos de la teoría de la elasticidad y resistencia de materiales. Los insumos para el procedimiento de los datos se dividen en cuatro categorías:

- Datos de cara (P y p).
- Deflexiones medidas ( $D\emptyset$ , DR, R).
- Datos de pavimento (espesores y características de las capas).
- Parámetros del modelo ( $H/L\emptyset$  y  $\mu$ ).

La metodología, por su parte, produce los siguientes datos de salida:  $L\emptyset$ ,  $D\emptyset$  y  $E^*$ . Obviamente, los datos de salida dependen de los datos de entrada. La carga de ensayos es generalmente un dato fijo para cada proyecto y solo circunstancias especiales debe estar en el rango recomendado de  $P = 8.460,00$  Kg y  $p = 80$  psi. Las deflexiones medidas son el resultado de los ensayos y varían seguramente de proyectos a proyectos y entre diferentes puntos de un mismo proyecto debido a la heterogeneidad del pavimento y subrasante y a errores inevitables de medición.

La selección de una o más distancias “R” depende del proyecto y del criterio del Ingeniero encargado del proyecto, aunque es común y practico medir, como mínimo,  $D\emptyset, D25, D50, D100$  a distancias de 0, 25, 50, 75, 100 cm del eje de la carga.

Los espesores y características de las capas del pavimento no siempre se conocen, pero en nuestro caso tuvimos acceso al expediente técnico y su liquidación correspondiente, así podemos decir que el pavimento estudiado tiene un espesor de 47 cm. Comprobándolo con la perforación de calicatas. Esta información es necesario para determinas “HC”, cuyo valor influye en los valores de  $L\emptyset, E\emptyset$ , siendo esta una característica importante del modelo de Hogg.

### **3.1.11 SIGNIFICADO DE $L\emptyset$ :**

La longitud característica de ( $L\emptyset$ ) del pavimento es, por definición, un parámetro que refleja la rigidez relativa entre un pavimento y su subrasante. Por tratarse de una relación de rigideces, el valor de  $L\emptyset$  permite una rápida evaluación cualitativa del sistema pavimento – subrasante.

No hay que olvidar que se trata de una relación de rigideces de manera que un valor bajo de  $L\emptyset$  puede corresponder tanto al caso de un buen pavimento sobre una buena subrasante como el caso de un mal pavimento sobre una débil subrasante.

La determinación de  $L\emptyset$  en el proceso de evaluación depende solamente del cociente  $DR/D\emptyset$  y del valor  $R$ . es decir que dos pavimentos cualesquiera con igual cociente  $DR/D\emptyset$  a una misma distancia  $R$  dada, tienen el mismo  $L\emptyset$  aunque  $DR/D\emptyset$  sean diferentes. Los valores específicos de  $D\emptyset$  y  $DR$  influyen en los módulos de  $E\emptyset$  y  $E^*$  según se explica más adelante.

### **3.1.12 SIGNIFICADO DE $E\emptyset$ Y SU RELACION CON EL CBR**

El parámetro  $E\emptyset$  representa el modulo de elasticidad de la masa de subsuelo que participa en la deformación del sistema pavimento – subrasante. Es decir que  $E\emptyset$  es menor cuando mayor es la deflexión y la longitud característica del pavimento para una relación de rigideces  $S_o/S$  dada, y viceversa. El primer caso corresponde a un pavimento que tiene una curva de deflexiones profunda y extensa y, en general pueden establecerse las **RELACIONES CUALITATIVAS** entre las características de la curva de deflexiones y el sistema que se ilustra en la figura 5.16.

Cabe insistir que las de la figura 5.16 son relaciones comparativas generales que pretenden ayudar a la visualización del sistema de  $E\emptyset$  y el pavimento en relación del significado de  $E\emptyset$  y el pavimento en relación con las características de la curva de deflexiones medida.

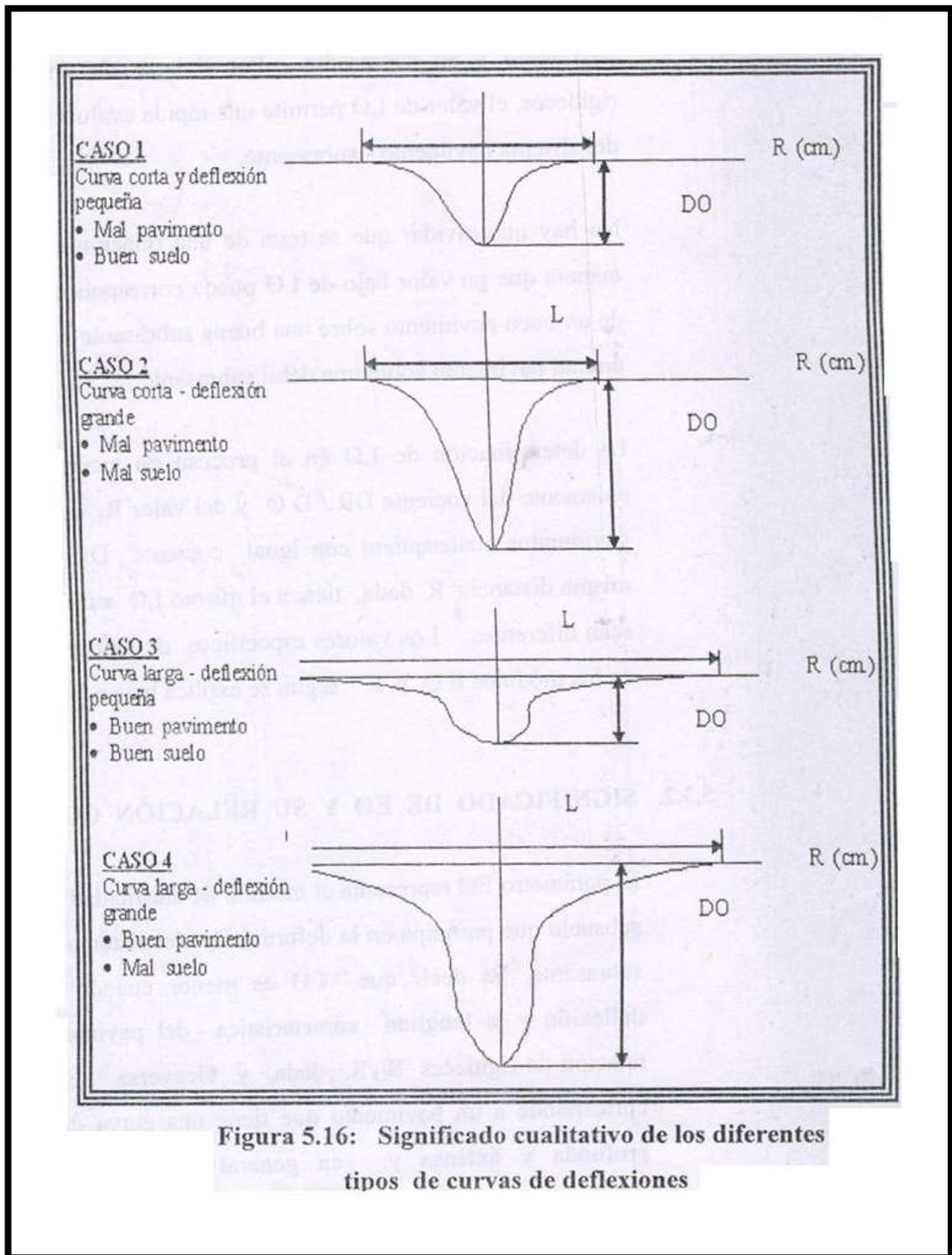


Figura 5.16: Significado cualitativo de los diferentes tipos de curvas de deflexiones

A pesar que el modulo  $E_0$  es un parámetro mecánico fundamental del subsuelo, se ha establecido, además una relación entre este valor y el

valor de CBR de la subrasante, para facilitar el diseño de refuerzo requerido o para chequear diseños usando métodos tradicionales. Esta relación ha sido establecida experimentalmente, comparando los valores de  $E\emptyset$  obtenidos de la metodología de evaluación estructural, usando deflexiones medidas con la **VIGA BENKELMAN** y valores de CBR obtenidos en sitio.

De numerosas comparaciones de este tipo se ha podido establecer la siguiente relación:

$$E\emptyset = 100 \text{ a } 160 \text{ CBR}$$

Para  $E\emptyset$  expresado en Kg/cm<sup>2</sup> y el CBR en porcentaje

El coeficiente numérico (100 a 160) de la relación se denomina “FACTOR DE CBR” y se recomienda utilizar un factor de 110 para ensayos numéricos a menos que exista alguna razón que justifique su cambio.

### **3.1.13 SINGIFICADO DE E\* y HC**

El valor de  $E^*$  representa un módulo de elasticidad compuesto o equivalente de todas las capas del pavimento con un espesor “HC”. El espesor “HC” cuando influye en el valor de  $E^*$  de manera de que cuando menor es el valor de “HC”, mayor es el valor de  $E^*$  obtenido.

Los valores HC y  $E^*$  están interconectados y son, en cierta medida, intercambiables. Para ilustrar este concepto es conveniente pensar en términos de diseño: para una subrasante y tráfico dados el ingeniero de diseño puede optar por un espesor pequeño de excelente materiales (bajo HC y alto  $E^*$ ) o un espesor grande de materiales mediocres o malos (alto HC y bajo  $E^*$ ).

En ambos casos el ingeniero trata de proteger a la subrasante contra esfuerzos excesivos y cuenta para esto con varias combinaciones de HC y  $E^*$  (los extremos serían un pavimento rígido vs. Un pavimento flexible).

### **3.1.14 PARAMETROS DE H/L $\emptyset$ y $\mu$**

La metodología de evaluación permite la selección de la profundidad de la “capa rocosa” y puede optar por el valor  $H/L\emptyset = 10$  o  $H/L\emptyset = 100$  que pertenece a una capa rocosa en el infinito. La adaptación de uno u otro valor de  $H/L\emptyset$  influye en todos los resultados de la evaluación:  $L\emptyset, E\emptyset$  (CBR) y  $E^*$ .

Para estudios rutinarios se recomienda el uso del  $H/L\emptyset = 10$  que implica que la capa rocosa se encuentra a una profundidad igual a 10 veces la longitud característica del pavimento. Así, para un  $L\emptyset$  de 20 cm. Se asume una capa rocosa de 2.0 m de profundidad, para  $L\emptyset$  igual a 40 cm. La capa rocosa se encuentra a 4.0 m de profundidad, y así sucesivamente. Como se indicó previamente, el uso de un  $H/L\emptyset$  finito (10 en este caso) produce resultados de evaluación más satisfactorios y representativos.

El valor  $H/L\emptyset = 100$  (capa rocosa en el infinito) puede usarse para evaluar la sensibilidad de los resultados o para chequear el grado de concordancia entre curvas de deflexiones medidas y curvas teóricas cuando se cuenta con valores de deflexiones medidos a diferentes distancias del eje de la carga. Este chequeo es, a propósito, un método legítimo para verificar los resultados de evaluación según se ilustra más adelante.

En cuanto al coeficiente de poisson,  $\mu$ , las soluciones aceptan los valores de 0.4 y 0.5, recomendándose el uso del valor de 0.4 para trabajos rutinarios entre uno u otro no acceden típicamente del 10%.

### **3.1.15 PLANILLAS DE RELEVANTAMIENTO**

Con el objetivo de recoger en forma ordenada la información en el campo, se confeccionó una plantilla de deflexiones **BENKELMAN** que se muestra en el ANEXO II.

En ella se indica la progresiva del punto medido, las lecturas obtenidas con la viga que permite el cálculo de la deflexión D0, D25, D50 y D100. Determinadas las deflexiones se corrigieron las mismas por efecto de la temperatura, circunstancias que se detallaran más adelante, con los valores así obtenidos se determinó el radio de curvatura.

Posteriormente se realiza un relevamiento completo de la condición del pavimento en el entorno del punto ensayado, se llevó a cabo con el propósito de caracterizar e interpretar cada resultado obtenido.

Dicho relevamiento comprende:

- ☞ Una indicación del tipo de figuración observado en la superficie del pavimento, en base al catálogo de fisuras.
- ☞ Una apreciación del porcentaje del área bacheada.
- ☞ Una apreciación cualitativa de las condiciones de drenaje (bueno, regular y malo) y completada con la indicación si se trata de una sección en corte o en terraplén.

Influye también, la temperatura del pavimento en el momento de la medición y del espesor de mezclas asfálticas, medido en el borde del pavimento, para la mencionada corrección por temperatura.

Una columna de observaciones permite comentarios adicionales, tales como la existencia de peladuras y desintegraciones, exudaciones del asfalto.

### 3.1.16 CORRECCION DE LAS DEFLEXIONES POR EFECTO DE LA TEMPERATURA.

Ya se ha indicado brevemente que la temperatura del pavimento afecta las deflexiones recuperables, de forma tal dos mediciones realizadas en el mismo punto pero a distinta temperatura, indicaran resultados diferentes.

Para un pavimento dado. La longitud de la deflexión aumenta con un incremento en la temperatura de las capas asfálticas, esto es atribuido a una disminución de la rigidez de las mezclas bituminosas, por lo que el efecto dependerá del espesor de dichas capas y de la rigidez de las capas subyacentes.

Existen procedimientos para evaluar tal corrección y llevar las determinaciones a una temperatura estándar 20° C de referencia. Para corregir deflexiones por efecto de la temperatura se ha aplicado la siguiente formula.

$$D_{20} = \frac{D_t}{1 \times 10^{-3} \times e^{(t - 20^{\circ}C)} + 1}$$

Dónde:

Dt : deflexión recuperable, medida a la temperatura "t" C° en centésimas de mm.

D20 : deflexión recuperable a la temperatura estándar (20°C) espesor de mezclas asfálticas en cm. Medido en el borde del pavimento.

### 3.17 VARIABILIDAD DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL

La introducción y generalización de las medidas de deflexiones ha permitido un aporte de interés en el campo de la mecánica de pavimentos al revelar la de su uniformidad de su capacidad estructural. Aun en aquellas consideradas como correctamente proyectadas y construidas, lo que obliga a su estudio con criterio probabilístico.

Una primera desuniformidad, en el sentido transversal se revela en muchos casos por las mayores deflexiones de la huella externa con respecto a la interna de un mismo carril, atribuida principalmente a una reducción del confinamiento lateral asociada a la terminación del pavimento, y a condiciones más adversas del suelo, principalmente en lo que hace a su contenido de humedad y grado de densificación.

Por este motivo, las deformaciones se han conducido en la huella externa del carril considerado crítico a una distancia del borde variable en función del ancho de la vía, según las recomendaciones indicadas. La desuniformidad en el sentido longitudinal se revela en la gran dispersión de los valores individuales, aun para determinaciones muy próximas entre si debido a la variabilidad de las propiedades de los materiales y del proceso constructivo.

Dado que para interpretar los resultados no se puede considerar los valores individuales, surge la necesidad de establecer una deflexión que presente adecuadamente cada sección o tramo del pavimento y por ende de una evaluación en un tráfico en función de las progresivas que se denomina deflectograma, en los que se incluyen los datos de interés obtenidos en el campo.

El deflectograma constituye un elemento fundamental para el análisis de la variabilidad de la capacidad estructural. Este sentido cabe destacar que el principal objetivo de la medición de deflexiones radica en poder diferenciar secciones de distinta capacidad estructural en un mismo tramo, por lo tanto, es en base al deflectograma que se procede a:

- ∩ Diferenciar secciones de distinta capacidad y/o comportamiento considerando deflexiones, fallas observadas y estructura del pavimento las que son procesadas estadísticamente.
- ∩ Eliminar valores extremo aislados, no representativos y que distorsionar los resultados.
- ∩ Delimitar secciones en las que se requiere intensificar los estudios o realizar estudios principales.

Del mismo modo los parámetros que se obtienen mediante el análisis son:

- ∩ La distancia R5, para la cual la relación  $DR/D\emptyset = 0.5$ , en donde DR es la deflexión medida a la distancia R y  $D\emptyset$  es la deflexión máxima.
- ∩ El módulo de elasticidad o módulo resiliente de la subrasante.
- ∩ El CBR del suelo de subrasante, correspondiente al área de influencia del bulbo de presiones determinando por la carga de ensayo.
- ∩ El espesor equivalente de la capa de refuerzo, en función a la calidad de los materiales utilizados.

Los criterios de deflexión que se pueden adoptar en forma tentativa, para juzgar la capacidad portante de los suelos son:

$D\emptyset < 40 \times 10^{-2}$  mm, suelo con buena capacidad se soporte.

$40 \times 10^{-2} < D\emptyset < 80 \times 10^{-2}$  mm, suelo con regular capacidad de soporte.

$80 \times 10^{-2} < D\emptyset < 120 \times 10^{-2}$  mm, suelo con mala capacidad de soporte.

$D\emptyset > 120 \times 10^{-2}$  mm, suelo con capacidad se soporte pésima.

Para el “factor de longitud de curva” R5, se pueden considerar en forma tentativa los siguientes criterios.

$R5 < 25$  cm, pavimento con comportamiento malo.

$25 < R5 < 30$  cm, pavimento con comportamiento regular.

$30 < R5 < 40$  cm, pavimento con comportamiento bueno.

$40 < R5 < 50$  cm, pavimento con comportamiento excelente.

$R5 > 50$  cm, pavimento con comportamiento rígido.

Este primer análisis de campo que puede efectuarse en forma tentativa, en base a la deflexión máxima y a la longitud de curva, deben posteriormente complementarse realizando el cálculo de los parámetros estructurales del pavimento.

Para el caso de los suelos se calcula, el módulo de elasticidad del suelo o el módulo resiliente; para el caso de los pavimentos se calcula, el módulo de elasticidad combinado de las capas del pavimento.

Para efectos de la verificación de la capacidad portante del suelo de subrasante basta con evaluar el valor obtenido para el módulo resiliente (MR), no siendo necesario el cálculo del CBR.

De otro lado también se puede verificar con el uso de las curvas de deflexión mostradas en la figura 5.16.

### **3.1.18 ENSAYO DE MERLÍN (RUGOSIMETRO)**

El Laboratorio Británico de Investigación de Transportes y Caminos (TRRL) Desarrolló el rugosímetro MERLIN (acrónimo de la terminología inglesa Machine for Evaluating Roughness using low-cost Instrumentation), basándose en el principio del perfilómetro estático, con el objetivo de obtener un equipo de bajo costo, fácil manejo y un método de análisis simple con resultados confiables.

A pesar de la gran exactitud de los resultados que proporciona el MERLIN, sólo Superada por la exactitud que proporciona el método topográfico, la desventaja del equipo es su bajo rendimiento si se compara con los rugosímetro dinámicos automatizados, tales como: el Bump Integrator, Mays Meter, Perfilómetro Laser, etc. La gran cantidad de tiempo consumido en la toma de datos y cálculo del IRI, utilizando el método gráfico original establecido por el TRRL, se hace más notoria cuando se trata de evaluar la rugosidad de vías de gran longitud (100 km o más) y se dispone de muy poco tiempo para ello. Debido a que en los países latinoamericanos la oportunidad de empleo de los rugosímetro aún sigue siendo esporádica, lo que no justifica muchas veces la manutención de vehículos, destinados a la operación de equipos dinámicos y los costos de calibración relativamente altos, o a que las redes a ser evaluadas no son de gran extensión, el MERLIN constituye una buena alternativa, siempre y cuando sea resuelto el problema del bajo rendimiento (uso de métodos adecuados para medición y cálculo), más aún cuando los resultados que proporciona son más exactos que los de cualquier equipo automatizado.

En dicho contexto las tareas principales, para establecer una metodología que permita una mayor eficiencia, han sido las de estudiar las fuentes que inciden en el bajo rendimiento del equipo y desarrollar métodos que permitan procesos automatizados, complementándose esto con la inclusión de criterios de análisis y especificaciones técnicas para la calificación de los resultados, lo que ha sido posible por la experiencia

ganada entre 1993 y 1998, luego de la evaluación de más de 3.000,00 km de pavimentos, en más de 100 proyectos de carreteras.

### **CORRELACIONES “D” VERSUS IRI**

Para relacionar la rugosidad determinada con el merlín con el índice de rugosidad internacional (IRI), que es el parámetro utilizado para uniformizar los resultados provenientes de la gran diversidad de equipos que existen en la actualidad, se utilizan las siguientes expresiones:

- a) Cuando  $2.4 < IRI \leq 15.9$ , entonces  $IRI = 0.593 + 0.0471 * D \dots \dots (1)$ .
- b) Cuando  $IRI < 2.4$ , entonces  $IRI = 0.0485 * D \dots \dots (2)$ .

La expresión 1 es la ecuación original establecida por el TRRL mediante simulaciones computarizadas, utilizando una base de datos proveniente del ensayo internacional sobre rugosidad. La ecuación de correlación establecida es empleada para la evaluación de pavimentos en servicio, con superficie de rodadura asfáltica, granular o de tierra, siempre y cuando su rugosidad se encuentre comprendida en el intervalo indicado.

La expresión 2 es la ecuación de correlación establecida de acuerdo a la experiencia peruana y luego de comprobarse, después de ser evaluados más de 3000 km de pavimentos, que la ecuación original TRRL, no era aplicable para el caso de pavimentos asfálticos nuevos o poco deformados. Se desarrolló entonces, siguiendo la misma metodología que la utilizada por el laboratorio británico, una ecuación que se emplea para el control de calidad de pavimentos recién construidos.

Existen otras expresiones que han sido estudiadas para el caso de superficies que presentan cierto patrón de deformación que incide, de una manera particular, en las medidas que proporcionan en MERLIN M.A., para el caso de superficies con macadam de penetración de extendido manual, la siguiente expresión:

$$IRI = 1.913 + 0.0490 * D \dots \dots (3)$$

#### **3.1.18.1 MÉTODO DE MEDICIÓN**

El rugosímetro merlín, es un instrumento versátil, sencillo y económico, pensado especialmente para uso en países en vías de desarrollo.

Los métodos para la medición de la rugosidad se agrupan en 4 clases, siendo los de clase 1 los más exactos (mira y nivel, TRRL Beam, perfilómetros estáticos). La clase 2 agrupa los métodos que utilizan los perfilómetros estáticos y dinámicos, pero que no cumplen con los niveles de exactitud que son exigidos para la clase 1. Los métodos clase 3 utilizan ecuaciones de correlación para derivar sus resultados a la escala IRI (Bum integrator, Mays meter). Los métodos clase 4 permiten obtener resultados meramente referenciales y se emplean cuando se requieren únicamente estimaciones gruesas de la rugosidad.

El método de medición que utiliza el MERLIN, por haber sido diseñado este equipo como una variación de un perfilómetro estatico y debido a la gran exactitud de sus resultados, califica como un método clase 1. La correlación de los resultados obtenidos con el MERLIN, con la escala del IRI, tiene un coeficiente de determinación prácticamente igual a la unidad ( $R^2 = 0.98$ ). Por su gran exactitud, solo superado por el método topográfico (mira y nivel), algunos fabricantes de equipos tipo respuesta, lo recomiendan para la calibración de sus rugosímetro.

El MERLIN es un equipo de diseño simple, presenta un esquema ilustrado del instrumento, consta de un marco formado por dos elementos verticales y uno horizontal. Para facilidad de desplazamiento y operación el elemento vertical delantero es una rueda, mientras que el trasero tiene adosados lateralmente dos soportes inclinados, uno en el lado derecho para fijar el equipo sobre el suelo durante los ensayos y otro en el lado izquierdo para descansar el equipo. El elemento horizontal se proyecta, hacia la parte trasera, con 2 manijas que permiten levantar y movilizar el equipo, haciéndolo rodar sobre la rueda en forma similar a una carretilla.

Aproximadamente en la parte central del elemento horizontal, se proyecta hacia abajo una barra vertical que no llega al piso, en cuyo extremo inferior pivotea un brazo móvil. El extremo inferior del brazo móvil está en contacto directo con el piso, mediante un patín empernado y ajustable, el

cual se adecua a las imperfecciones del terreno mientras que el extremo superior termina en un puntero o indicador que se desliza sobre el borde de un tablero, de acuerdo a la posición que adopta el extremo inferior del patín móvil al entrar en contacto con el pavimento. La relación de brazos entre los segmentos extremo inferior del patín móvil-pivote y pivote-puntero es de 1 a 10, de manera tal que un movimiento vertical de 1 mm, en el extremo inferior del patín móvil, produce un desplazamiento de 1 cm del puntero.

### **3.1.18.2 MÉTODO PARA EL CÁLCULO DE LA RUGOSIDAD**

Como se ha explicado, para la generación de los 200 datos que se requieren para determinar un valor de rugosidad, se emplea una escala arbitraria de 50 unidades colocada sobre el tablero del rugosímetro, la que sirve para registrar las doscientas posiciones que adopta el puntero del brazo móvil. La división N° 25 debe ser tal que corresponda a la posición central del puntero sobre el tablero cuando el perfil del terreno coincide con la línea o cuerda promedio. En la medida que las diversas posiciones que adopte el puntero coincidan con la división 25 o con algunas cercanas, el ensayo demostrara que el pavimento tiene un perfil igual o cercano a una línea recta (baja rugosidad). Por el contrario, si el puntero adopta repetitivamente posiciones alejadas a la división N° 25 (dispersión alta), se demostrara que el pavimento tiene un perfil con múltiples inflexiones (rugosidad elevada).

La dispersión de los datos obtenidos con el MERLIN se analiza calculado la distribución de frecuencias de las lecturas o posiciones adoptadas por el puntero, la cual puede expresarse, para fines didácticos, en forma de histograma, posteriormente se establece el Rango de los valores agrupados en intervalos de frecuencia (D), luego de descartarse el 10% de datos que correspondan a posiciones del puntero poco representativas o erráticas. En la práctica se elimina 5% (10 datos) del extremo inferior del histograma y 5% (10 datos) del extremo superior.

El Rango D determinado se debe expresar en milímetros para lo cual se multiplica el número de unidades calculado por el valor que tiene cada unidad en milímetros ( $7.35 \times 5\text{mm} = 36.75\text{mm}$ ).

### **FACTOR DE CORRECCION PARA EL AJUSTE DE D**

Las ecuaciones 1 y 2 representan correlaciones entre el valor D y la rugosidad en unidades IRI, las cuales han sido desarrolladas para una condición de relación de brazos del rugosímetro de 1 a 10, esta relación en la práctica suele variar y depende del desgaste que experimenta el patín del brazo móvil del instrumento. En consecuencia, para corregir los resultados se verificara la relación de brazos actual del instrumentó y, se determina un factor de corrección que permita llevar los valores a condiciones estándar.

Para determinar el factor de corrección se hace uso de un disco circular de bronce de aproximadamente 5 cm de diámetro y 6 mm de espesor, y se procede de la siguiente manera:

1. Se determina el espesor de la pastilla, en milímetros, utilizando un calibrador que permita una aproximación al décimo de mm. El espesor se calculara como el valor promedio considerando 4 medidas diametralmente opuestas.
2. Se coloca el rugosímetro sobre una superficie plana (un piso de terrazo) y se efectúa la lectura que corresponde a la posición que adopta el puntero cuando el patín móvil se encuentra sobre el piso, se levanta el patín y se coloca la pastilla de calibración debajo de el, apoyándola sobre el piso. Esta acción hará que el puntero sobre el tablero se desplace, asumiendo una relación de brazos estándar de 1 a 10, una distancia igual al espesor de la pastilla multiplicado por 10 (es decir  $6.2 \times 10 = 62\text{ mm}$ ), lo que significa, considerando que cada casillero mide 5mm, que el puntero se ubicara aproximadamente en el casillero 12, siempre y cuando la relación de brazos actual del equipo sea igual a la asumida. Si no sucede esto, se deberá encontrar un factor de corrección (F.C.) usando la siguiente expresión:

$$F.C.= (EP*10) / ((LI-LF)*5)..... (4)$$

Dónde:

- EP :        espesor de la pastilla
- LI :        posición inicial del puntero
- LF :        posición final del puntero

Por ejemplo:

Si la posición inicial del puntero fue 25 y la final fue 10, entonces el factor de corrección será:

$$F.C.= (6.2*10) / ((25-10)*5) = 0.82666$$

### **VARIACION DE LA RELACION DE BRAZOS**

Para facilidad del trabajo, el rugosímetro admite dos posiciones para el patín del brazo pivotante.

- a) Una posición ubicada a 10 cm del punto de pivote, posición estándar que se utiliza en el caso de pavimentos nuevos o superficies muy lisas (baja rugosidad). En ese caso la relación de brazos utilizada será de 1 a 10.
- b) Una posición ubicada a 20 cm del punto de pivote, posición alterna que se utiliza en el caso de pavimentos afirmados muy deformados o pavimentos muy deteriorados. En ese caso la relación de brazos será 1 a 5. De usar esta posición, el valor D determinado deberá multiplicarse por un factor de 2.

### **CALCULO DEL RANGO D CORREGIDO**

El valor D calculado deberá modificarse considerando el factor de corrección F.C = 0.82666 definida y la relación de brazos empleada en los ensayos. El valor D corregido RB=1. El valor D corregido será  $36.75 \text{ mm} \cdot 0.82666 \cdot 1 = 30.38 \text{ mm}$ . Este valor llevado a condiciones estándar es la rugosidad en “unidades Merlín”.

### **DETERMINACIÓN DE LA RUGOSIDAD EN LA ESCALA DEL IRI**

Para transformar la rugosidad de unidades MERLIN a la escala del IRI, se usa las expresiones 1 y 2 aplicando la expresión para el caso del  $\text{IRI} < 2.5$ , se obtiene finalmente, para el ejemplo seguido, una rugosidad igual a 1.47 m/km.

### **LIMITES DE LA RUGOSIDAD PARA EL CONTROL DE CALIDAD DE PAVIMENTOS**

Para el caso de pavimentos asfálticos nuevos o rehabilitados, la rugosidad o regularidad superficial se deberá controlar calculando el parámetro denominado IRI característico, el cual es definido por la siguiente expresión:

$$\text{IRIc} = \text{IRIp} + 1.645\sigma$$

Dónde:

IRIc : IRI característico

IRIp : IRI promedio

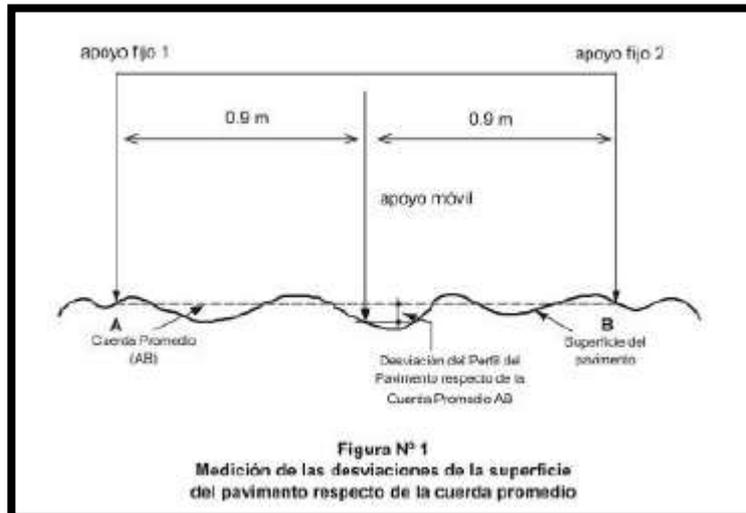
$\sigma$  : Desviación estándar.

De acuerdo al factor de correlación empleado ( $K=1.645$ ), se cumplirá que el 95% del pavimento experimentara una rugosidad igual o menor al IRI característico.

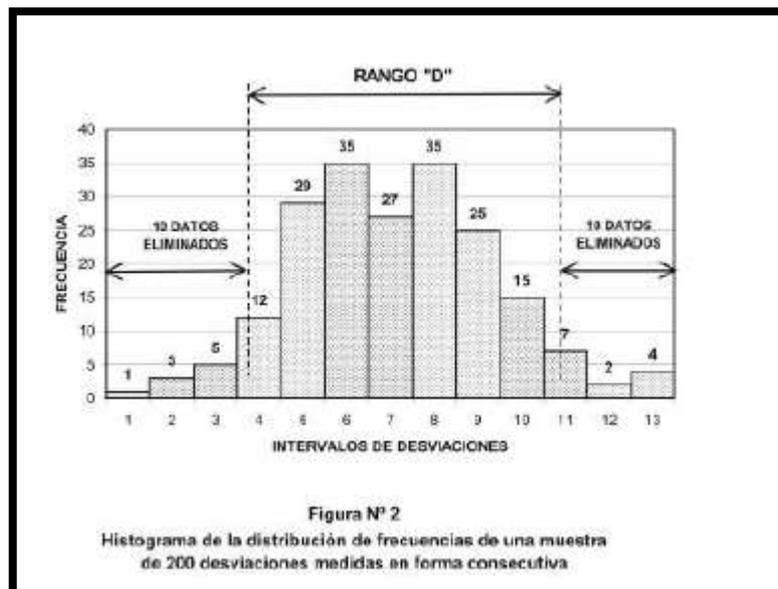
Calculado el IRI característico, el sector o tramo será aceptado si cumple con las siguientes condiciones:

- a) Para pavimentos asfálticos nuevos, el IRIc deberá ser menor o igual a 2.0 m/km.
- b) Para pavimentos con recapeado asfáltico, el IRIc deberá ser menor o igual a 2.5 m/km.
- c) Para pavimentos con sellado asfáltico, el IRIc deberá ser menor o igual a 3.0 m/km.

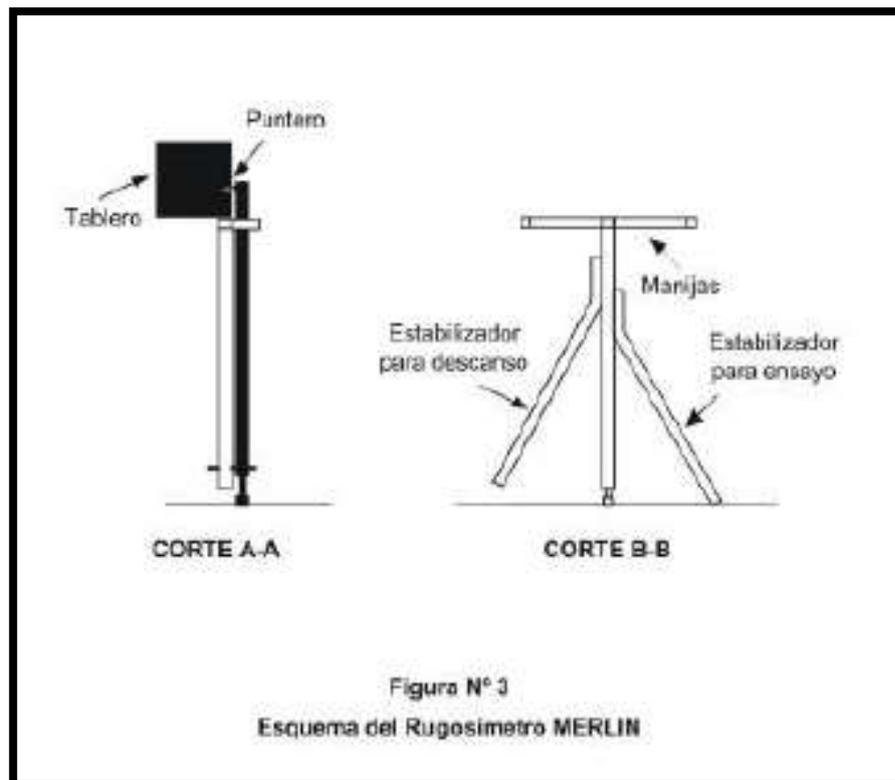
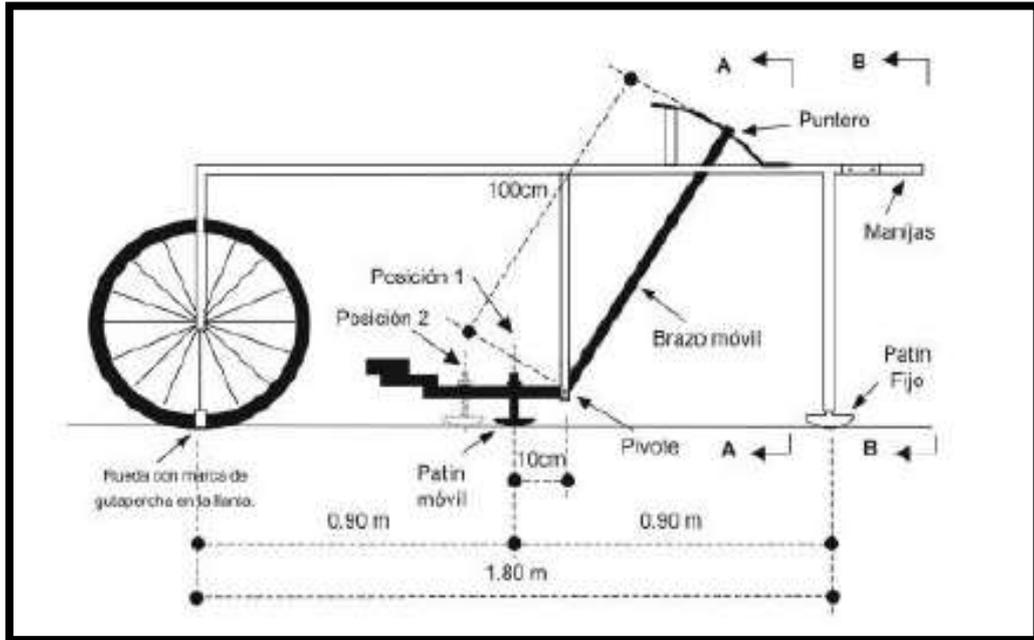
En caso de no cumplirse con estos límites, el sector o tramo deberá subdividirse en secciones de rugosidad homogénea, y se calculará el IRI característico para cada una de ellas, los que deberán cumplir los límites indicados.



**Figura N° 1**  
Medición de las desviaciones de la superficie del pavimento respecto de la cuerda promedio



**Figura N° 2**  
Histograma de la distribución de frecuencias de una muestra de 200 desviaciones medidas en forma consecutiva



|                           |  |    |
|---------------------------|--|----|
| <b>RUGOSIMETRO MERLIN</b> |  | 50 |
| 1 DIVISION = 5 mm         |  | 49 |
|                           |  | 48 |
|                           |  | 47 |
|                           |  | 46 |
|                           |  | 45 |
|                           |  | 44 |
|                           |  | 43 |
|                           |  | 42 |
|                           |  | 41 |
|                           |  | 40 |
|                           |  | 39 |
|                           |  | 38 |

**ENSAYOS PARA MEDICION DE LA RUGOSIDAD CON MERLIN  
(HOJA DE CAMPO)**

PROYECTO : \_\_\_\_\_ OPERADOR : \_\_\_\_\_  
 SECTOR : \_\_\_\_\_ SUPERVISOR : \_\_\_\_\_  
 TRAMO : \_\_\_\_\_ FECHA : \_\_\_\_\_  
 CARRIL : \_\_\_\_\_

ENSAYO N°  KM  HORA

|    | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |                                   |
|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|-----------------------------------|
| 1  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    | (TIPO DE PAVIMENTO):              |
| 2  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    | ASPHALTO <input type="checkbox"/> |
| 3  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    | ASPHALTO <input type="checkbox"/> |
| 4  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    | ASPHALTO <input type="checkbox"/> |
| 5  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    | ASPHALTO <input type="checkbox"/> |
| 6  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    | ASPHALTO <input type="checkbox"/> |
| 7  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    | ASPHALTO <input type="checkbox"/> |
| 8  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    | ASPHALTO <input type="checkbox"/> |
| 9  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    | ASPHALTO <input type="checkbox"/> |
| 10 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    | ASPHALTO <input type="checkbox"/> |
| 11 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    | ASPHALTO <input type="checkbox"/> |
| 12 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    | ASPHALTO <input type="checkbox"/> |
| 13 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    | ASPHALTO <input type="checkbox"/> |
| 14 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    | ASPHALTO <input type="checkbox"/> |
| 15 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    | ASPHALTO <input type="checkbox"/> |
| 16 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    | ASPHALTO <input type="checkbox"/> |
| 17 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    | ASPHALTO <input type="checkbox"/> |
| 18 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    | ASPHALTO <input type="checkbox"/> |
| 19 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    | ASPHALTO <input type="checkbox"/> |
| 20 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    | ASPHALTO <input type="checkbox"/> |

OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

**Figura N° 5**  
**Formato para la recolección de datos de campo**

## **3.2 ANALISIS CUANTITATIVO DE LAS VARIABLES**

### **ENSAYO MERLIN**

Para este estudio se realizó vía de la interconexión vial por carril se determinó 1 puntos de IRI (rugosidad), teniendo como prueba de ensayo en total 8 ensayos para darle una mayor veracidad y exactitud, a su vez para poder determinar el nivel de rugosidad que tiene la vía en estudio, cabe resaltar que el IRI nos va a proporcionar en unidades IRI cuanto está desgastado el pavimento y por ende requiere una rehabilitación de la carpeta de rodadura. Se adjunta plano de puntos de IRI.

### **ENSAYO DE VIGA VENKELMAN**

Este tipo de ensayo no destructivo se realizó 01 punto por tramo de estudio, teniendo en total 04 puntos de viga benkelman, Se realizaron en la vía de la interconexión vial, teniendo como resultado: se adjunta el cuadro.

### **3.3 PRUEBAS DE NORMALIDAD**

#### **ENSAYO MERLIN**

Se adjunta hoja de cálculo de ensayo.

#### **ENSAYO DE VIGA VENKELMAN**

Se adjunta hoja de cálculo de ensayo.

## **CAPITULO IV**

### **CAPITULO IV**

#### **PROCESO DE CONTRASTE DE HIPOTESIS**

##### **4.1 PRUEBA DE HIPOTESIS GENERAL**

Antes de nada definiremos como falla a las condiciones que se presentan en un pavimento, cuando este pierde las características de servicio para las que fue diseñado.

#### **4.1.2 FALLA ESTRUCTURAL**

Es una deficiencia del pavimento que ocasiona, de inmediato o posteriormente, una reducción en la capacidad de carga de este. En su etapa más avanzada, la falla estructural se manifiesta en la obstrucción generalizada del pavimento, a la que se asocia precisamente el índice de servicio. No necesariamente implica una falla estructural inmediata, ya que lo primero es consecuencia de su incapacidad para soportar las cargas del pavimento.

La identificación de una falla, que es definir su tipo y la causa que lo ha provocado, a veces es una cosa relativamente sencilla y obvia para personas experimentadas en la rama de la construcción de carreteras. En otros casos es necesario llevar a cabo un reconocimiento completo de la zona fallada, que abarque las distintas partes que forman la estructura de la obra y hacer una serie de estudios y sondeos, recabar antecedentes de la construcción, etc.

Las fallas las podemos clasificar tomando en cuenta el elemento estructural donde se originan:

- Fallas atribuibles a la carpeta.
- Fallas originales en la interface, carpeta-base como consecuencia de una interacción inadecuada, esto es, un mal acoplamiento entre el material de la base y la carpeta.
- Fallas originadas en la base, subbase o terracerías, como consecuencia de la inestabilidad de una o varias de estas capas.
- Fallas originadas por la repetición de cargas.
- Fallas ocasionadas por los agentes climatológicos.

#### **4.1.3 FALLA FUNCIONAL**

Los aspectos más importantes del pavimento que intervienen en el valor del índice de servicio actual son:

- Las ondulaciones longitudinales.
- Las deformaciones transversales.
- La textura de la superficie.
- El porcentaje de baches y áreas preparadas.

Tomando en cuenta que el índice de servicio se refiere únicamente a las condiciones de la superficie de rodamiento; la estructura funcional en sí, nos proporcionara un tránsito cómodo a los usuarios y una superficie de rodamiento adecuada a las necesidades de este. En su determinación o apreciación no intervendrán factores como diseño geométrico, estado de acotamientos, señalización, etc.

La falla funcional en sí, consiste en las deficiencias superficiales del pavimento a las que se asocian precisamente el índice de servicio, que afectan en mayor o menor grado la capacidad del camino en proporcionar al usuario un tránsito cómodo y seguro.

Los tipos de fallas no están necesariamente relacionados, pero pueden establecerse que cuando se presenta una falla estructural, también ocurrirá en un plazo más o menos corto la falla funcional. En ocasiones una falla funcional que no se atiende a su debido tiempo, puede también conducir a una falla estructural.

Índice de servicio: es una medida subjetiva, de la clasificación del estado de servicio de la capa de rodamiento, obtenida por cuatro personas en un vehículo estándar a 80 km/hr. Suponiendo un recorrido de 80 km por día, donde la calificación entre una y otra persona, para que sea válida; no deberá diferir de 0.3 unidades y la escala que se maneja es de 0 a 5, siendo:

0-1 muy malo

1-2 malo

2-3 regular

3-4 bueno

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

- La repetición de las cargas
- Los agentes del clima
- 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.

Presento en forma resumida, las causas que originan fallas en los pavimentos flexibles que son atribuidos a lo mismo y de los cuales se ha hecho una descripción analizando cada una de las distintas capas que lo forman.

#### **EN LA SUBBASE**

- Mala calidad del material utilizado.
- Baja compactación
- Falta de espesor
- Defectos de construcción o de acabados

#### **EN LA BASE**

- Mala calidad del material utilizado.
- Baja compactación.
- Falta de espesor.
- Falta de afinidad del material pétreo con el asfalto de impregnación.

- Falta de limpieza o barrido de la superficie de base al momento de impregnar
- Defectos de construcción o de acabado.
- Defecto de la base impregnada por exposición excesiva al tránsito y a los efectos del clima, antes de protegerlas con la carpeta.

### **EN LAS CARPETAS DE RIEGO**

- Mala calidad de los materiales pétreos o granulometría defectuosa de estos.
- Falta de afinidad de los materiales pétreos con el asfalto.
- Cantidad escasa de materiales pétreos.
- Materiales pétreos con exceso de humedad al momento de la aplicación.
- Tránsito sobre el riego de asfalto antes de cubrir con el pétreo.
- Tránsito demasiado pronto sobre el material pétreo aplicado, principalmente cuando los vehículos no circulan a velocidades bajas.
- Defectos de construcción de la carpeta (falta de rastreo, planchado o barrido de los materiales pétreos, distribución no uniforme de los materiales, etc.)

### **EN LA CARPETA DE MEZCLA ASFÁLTICA EN FRIO**

- Mala calidad en los materiales pétreos o defectuosos en su granulometría.
- Falta de afinidad del material pétreo con el asfalto.
- Exceso de asfalto en la mezcla.
- Escasez de asfalto en la mezcla.
- Materiales pétreos demasiado húmedos al momento de agregar el asfalto.
- Tipo de asfalto inadecuado en la mezcla asfáltica o mala calidad del producto utilizado.
- Falta de uniformidad en la incorporación del asfalto en la mezcla.
- Baja compactación de la mezcla.

- Defectos de construcción en el tendido y de acabados.
- Baja resistencia de la mezcla asfáltica.
- Mezcla asfáltica muy permeable, sin proteger con algún tratamiento de sellado.
- Rigidez relativamente alta de la carpeta.

### **EN EL RIEGO DE IMPREGNACION**

- Tipo inadecuado de asfalto o mala calidad del producto.
- Cantidad excesiva de asfalto.
- Cantidad escasa de asfalto.
- Tránsito demasiado pronto sobre el riego de asfalto.
- Asfalto frío (viscosidad alta) que impide su penetración en la base.
- Defectos en la aplicación del asfalto (atribuibles a la petrolizadora o al operador).
- Exceso de arena de “poreo – arenado” cuando este se usa.

### **EN LOS RIEGOS DE LIGA**

- Tipo inadecuado de asfalto o mala calidad del producto.
- Cantidad excesiva de asfalto (provoca la famosa frase película).
- Cantidad escasa de asfalto.
- Asfalto muy frío, o que ha perdido su poder de aglutinación, al momento de extender la carpeta (de mezcla en el lugar), o cubrirse con los materiales pétreos (carpeta de riego).
- Defectos en la aplicación del asfalto (atribuibles a la petrolizadora o al operador).

### **EN EL RIEGO DE SELLO**

- Mala calidad de los materiales pétreos utilizados o a defectos en su granulometría.
- Falta de afinidad del material pétreo con el asfalto.
- Exceso o escasez del material pétreo o del asfalto.
- Asfalto inadecuado o mala calidad del producto.

- Materiales pétreos demasiado húmedos al momento de aplicación.
- Tránsito sobre el riego de asfalto, antes de cubrir con el pétreo.
- Asfalto muy frío o que ha perdido su poder de aglutinación, al momento de cubrirlo con el material pétreo.
- Defectos de la aplicación del asfalto.
- Tránsito demasiado pronto sobre el material pétreo aplicado, principalmente cuando los vehículos no circulan o a bajas velocidades.
- Defectos de construcción (distribución no uniforme del material pétreo, falta de rastreo, planchado o barrido del material, traslapes incorrectos de los riegos, etc.)
- Efecto del tránsito pesado en zonas sub-diseñadas o deficientemente construidas del pavimento.
- Paso del tránsito de vehículos o del equipo de construcción sobre la carpeta recién tendida, o sin la debida compactación.

#### **4.1.4 FALLAS MÁS COMUNES Y SU POSIBLE REPARACION**

Los 3 principales tipos de daños en un pavimento flexible son:

1. El agrietamiento.
2. La distorsión
3. La desintegración.

De acuerdo con las ideas antes expresadas y como guía para ayudar a conocer distintos tipos de fallas, a continuación se ilustran mediante una serie de fotografías las que se consideran comunas en esta tesis, las posibles causas que las producen; así como también para cada falla su criterio general de reparación.

#### **4.1.4.1 AGRIETAMIENTO**

##### **4.1.4.1.1 GRIETAS 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, subbase o subrasante inestables, la cual puede deberse a que dichos materiales se encuentren saturados o sean de espesor insuficiente para soportar las cargas. Existen 2 métodos para reparar los agrietamientos en piel de cocodrilo, uno de ellos es considerado como corrección permanente y el otro es una reparación temporal o de emergencia.

##### **CORRECCION PERMANENTE O DE BACHEO PROFUNDO**

- a) REMOSION DE LA CARPETA ASFÁLTICA Y DE LA BASE: el corte deberá hacerse cuadrado o rectangular con cara a los lados verticales, además los lados deberán formar ángulos rectos entre sí, y dos de ellos deben quedar paralelos a la dirección del tráfico. Se remueve la carpeta y la base en el espesor necesario, hasta alcanzar un soporte firme, extendiendo la excavación por lo menos 30 cm. Dentro del pavimento dañado. Puede ser necesario remover algo de subrasante, si el daño fue ocasionado por la presencia de agua, será necesario remover el material húmedo e instalar un drenaje.
- b) APLICACIÓN DE RIEGO DE LIGA A LAS SUPERFICIES VERTICALES: se aplica un riego de liga a las superficies verticales.

- c) LLENADO CON MEZCLA ASFÁLTICA: para obtener mejores resultados, el llenado deberá efectuarse con concreto asfáltico en frío. Puede llenarse en todo su espesor con la mezcla asfáltica.
- d) EXTENDIDO LA MEZCLA: se extiende cuidadosamente para evitar el segregado de la mezcla en todo su espesor: el relleno de las capas inferiores puede hacerse con buen material de base o se puede también colocar el material de carpeta y base que fue removida, procurando que el material de relleno quede de buena calidad.
- e) COMPACTACION: si el agujero es mayor de 15 cm de profundidad, compáctese perfectamente en capas iguales, el trabajo se puede efectuar con planchas vibratorias (pato), pisones de mano, etc.



#### **4.1.4.1.2 DEFORMACIÓN PERMANENTE EN LA SUPERFICIE DE PAVIMENTOS (SURCOS)**

Este tipo de falla presentada en la superficie, frecuentemente está asociada al aumento de compacidad en las capas granulares de la base o subbase, debida a su vez, a la carga excesiva, la carga repetida (aumento de compacidad por vibración) o a la rotura de granos; también puede deberse a

consolidación en la subrasante o aun en el cuerpo de la terracería.

Se produce cuando un ancho del surco excede al de la llanta y tiende a ser mayor en comparación a este, cuando más profunda sea la cadencia que provoca el fenómeno. La deformación a la que se está haciendo referencia, debe distinguirse del surco que se produce por simple desplazamiento lateral de una carpeta defectuosa; la señal distintiva es que en este último caso el material se eleva a los dos lados del surco, en tanto que en un surco de origen profundo, este se produce sin dichas ondulaciones.



#### **4.1.4.1.3 FALLAS POR CORTANTE**

Estas fallas esta típicamente asociadas a la falta de resistencia al esfuerzo cortante en la base o subbase del pavimento y en menor caso, en la subrasante. Consisten generalmente en surcos profundos, nítidos y marcados, cuyo ancho no excede mucho del de la llanta. Este caso suele haber también elevación del material de carpeta a ambos lados del surco,

pero la falla se distingue fácilmente de un simple desplazamiento de carpeta por la mayor profundidad afectada.



#### **4.1.4.1.4 AGRIETAMIENTO LONGITUDINAL**

Consiste en la aparición de grietas longitudinales de no gran abertura (en el orden de 0.5 cm) en toda el área que corresponde a la de circulación de las cargas más pesadas.

Agrietamientos de este tipo son debidos a movimientos de las capas de pavimento que tienen lugar predominantemente en dirección horizontal; el fenómeno puede ocurrir en la base, en la subbase o, con cierta frecuencia, en la subrasante. Son indicativos de fenómenos de congelamiento y deshielo o de cambios volumétricos por variación del contenido de agua, sobre todo en la subrasante.



#### 4.1.4.1.5 CONSOLIDACION DEL TERRENO DE CIMENTACION

La consolidación de terrenos de cimentación blandos puede producir distorsión del pavimento, independientemente de los espesores o de la condición estructural del mismo.

Las deformaciones de la sección transversal pueden producir agrietamientos longitudinales. Cuando por falta de resistencia en el terreno de cimentación, se compromete la estabilidad de los terraplenes, también se producen agrietamientos típicos con trayectoria circular, marcando lo que podrá llegar a ser la cabeza de la falla eventual: estas grietas perjudican, como es natural al pavimento



#### TIPOS Y MANIFESTACIONES DE LAS FALLAS DE LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES

| TIPO             | MANIFESTACION   | CAUSAS   |
|------------------|-----------------|--|
| • Fracturamiento | • Agrietamiento | • Exceso de carga (insuficiencia estructural)<br>• Repetición de carga |

|   |   |   |
|---|---|---|
|   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Destrucción por agrietamiento</li> </ul> | <p>(fatiga).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cambios de temperatura.</li> <li>• Cambios de humedad (defecto constructivo).</li> <li>• Ondulamiento por fuerzas horizontal (deficiencia estructural o defecto constructivo).</li> <li>• Contracción.</li> <li>• Exceso de carga (insuficiencia estructural).</li> <li>• Repetición de carga (fatiga).</li> <li>• Cambios de temperatura.</li> <li>• Cambios de humedad (defecto constructivo).</li> </ul> |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Deformación</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Deformación permanente.</li> </ul>       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Exceso de carga (insuficiencia estructural).</li> <li>• Proceso de deformación viscosa (fatiga, insuficiencia estructural y defecto constructivo).</li> <li>• Aumento de compacidad (defecto constructivo, rotura de granos).</li> </ul>   |



**PRINCIPALES FACTORES QUE AFECTAN A LOS TRES TIPOS BASICOS  
DE FALLAS DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE.**

| <b>TIPO DE FALLA</b> | <b>CAUSA ULTIMA</b>  |                                     |                                |
|----------------------|----------------------|-------------------------------------|--------------------------------|
|                      | <b>TRANSITO</b>      | <b>PAVIMENTO</b>                    | <b>CIMENTACION<br/>(APOYO)</b> |
| • fracturamiento     | • carga por<br>rueda | • Rigidez de las<br>diversas capas. | • Rigidez en<br>base y         |

|  |   |   |   |
|--|---|---|---|
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>(magnitud).</li> <li>• Repeticiones.</li> <li>• Área de influencia de la carga.</li> <li>• Velocidad.</li> <li>• Arreglo y disposición de ruedas y ejes.</li> </ul>                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Flexibilidad (adaptabilidad a la fatiga).</li> <li>• Durabilidad.</li> <li>• Deformación plástica.</li> <li>• Deformación elástica.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>subbase.</li> <li>• Deformación plástica.</li> <li>• Deformación elástica.</li> </ul>                                    |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Deformación</li> </ul>                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Carga por rueda (magnitud).</li> <li>• Repeticiones.</li> <li>• Área de influencia de la carga.</li> <li>• Velocidad.</li> <li>• Arreglo y disposición de ruedas y eje.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Espesor.</li> <li>• Resistencia.</li> <li>• Compresibilidad.</li> <li>• Susceptibilidad a cambios de volumen.</li> <li>• Deformación plástica.</li> <li>• Deformación elástica.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Susceptibilidad a los cambios de volumen.</li> <li>• Deformación plástica.</li> <li>• Deformación elástica.</li> </ul> |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Desintegración (fallas de carpeta)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Presión de la llanta.</li> <li>• Repeticiones.</li> <li>• Velocidad.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Características del asfalto.</li> <li>• Características del agregado (porosidad, falta de adherencia con el asfalto).</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Resiliencia en las capas de pavimentos.</li> <li>• Infiltración de agua.</li> <li>• Cambios de temperatura.</li> </ul> |

## **4.2 PRUEBA DE HIPOTESIS ESPECÍFICAS**

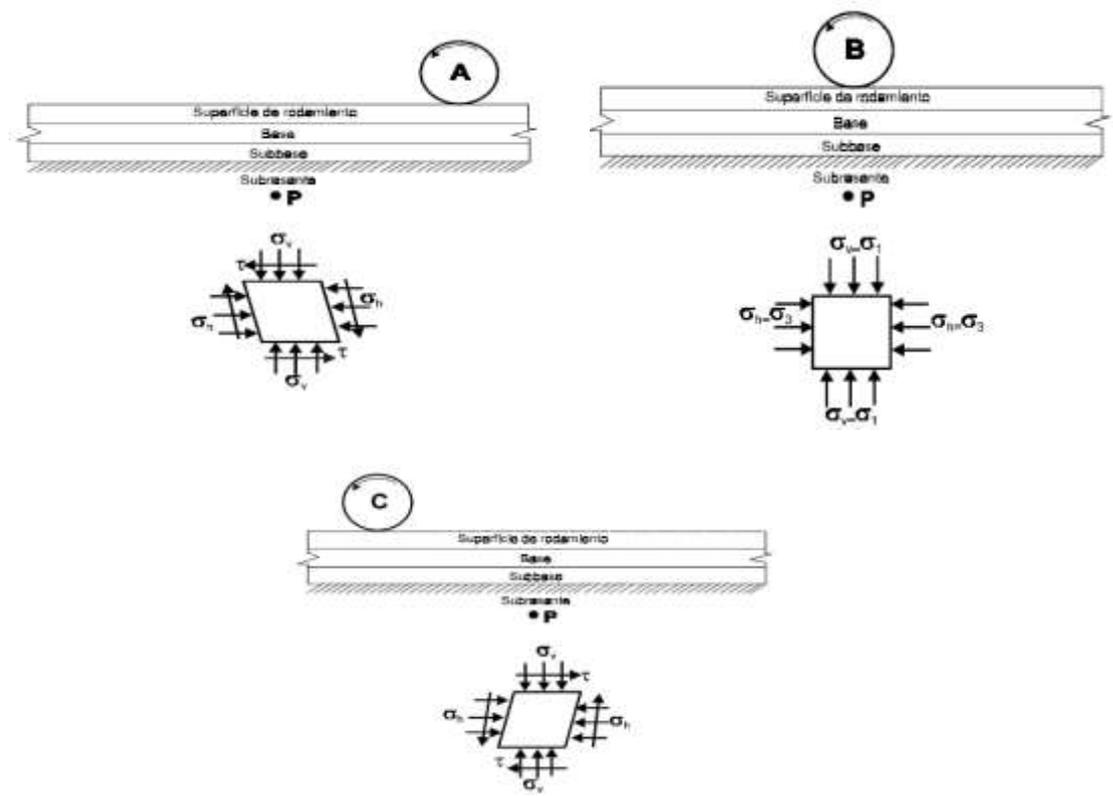
### **4.2.1 VIGA BENKELMAN (MODULO DE RESILIENCIA)**

Las deformaciones resiliente o elásticas son de recuperación instantánea y suelen denominarse plásticas a aquellas que permanecen en el pavimento después de cesar la causa deformadora. Bajo carga móvil la deformación permanente se va acumulando; debe hacerse notar el hecho de que en ciclos intermedios la deformación permanente para cada ciclo disminuye. Como se ha observado en los estudios llevados a cabo sobre módulo de resiliencia, este parámetro no es una propiedad constante del

suelo, sino que depende de muchos factores. Los principales son: número de aplicaciones del esfuerzo, tixotropía, magnitud del esfuerzo desviador, método de compactación y condiciones de compactación.

También es claro que la magnitud del módulo de resiliencia, para un valor de contenido de agua dado, aumenta con el peso volumétrico hasta cierto valor y después disminuye para grados de saturación elevados, en especial después del correspondiente a los óptimos de compactación.

Por otro lado, los factores que afectan el módulo de resiliencia de materiales granulares son: tipo de material, tamaño del espécimen, tipo de compactación, peso específico, granulometría, magnitud del esfuerzo aplicado, contenido de agua, etc.



### Estado de esfuerzos en la subrasante

Dada la forma tradicional de estructuración de los materiales que conforman el pavimento, la deformabilidad suele crecer hacia abajo. La deformabilidad interesa sobre todo a niveles profundos, pues es relativamente fácil que las capas superiores tengan niveles de deformación tolerables aun para los altos esfuerzos que en ellas actúan.

En pavimentos, las deformaciones interesan desde dos puntos de vista: por un lado, las deformaciones excesivas están asociadas a estados de falla y por otro lado porque es sabido que un pavimento deformado puede dejar de cumplir sus funciones, independientemente de que las deformaciones no hayan conducido a un colapso estructural propiamente dicho.

### CONCEPTO DE MODULO DE RESILIENCIA

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

$$Mr = \frac{(\sigma_1 - \sigma_3)}{\epsilon_{axial}} = \frac{\sigma_d}{\epsilon_{axial}}$$

Dónde:

$\sigma_1$  = esfuerzo principal mayor

$\sigma_3$  = esfuerzo principal menor

$\sigma_d$  = esfuerzo desviador

$\epsilon$  = deformación recuperable

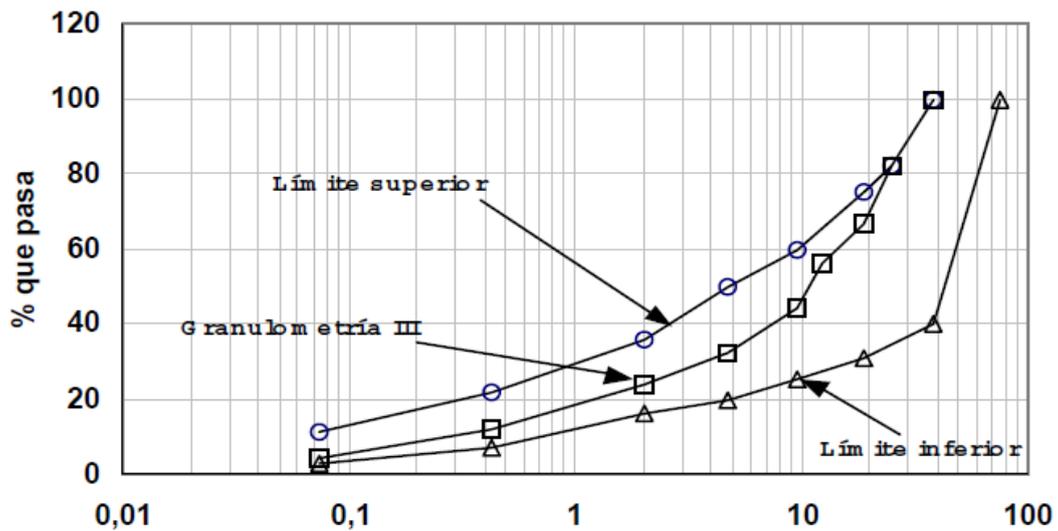
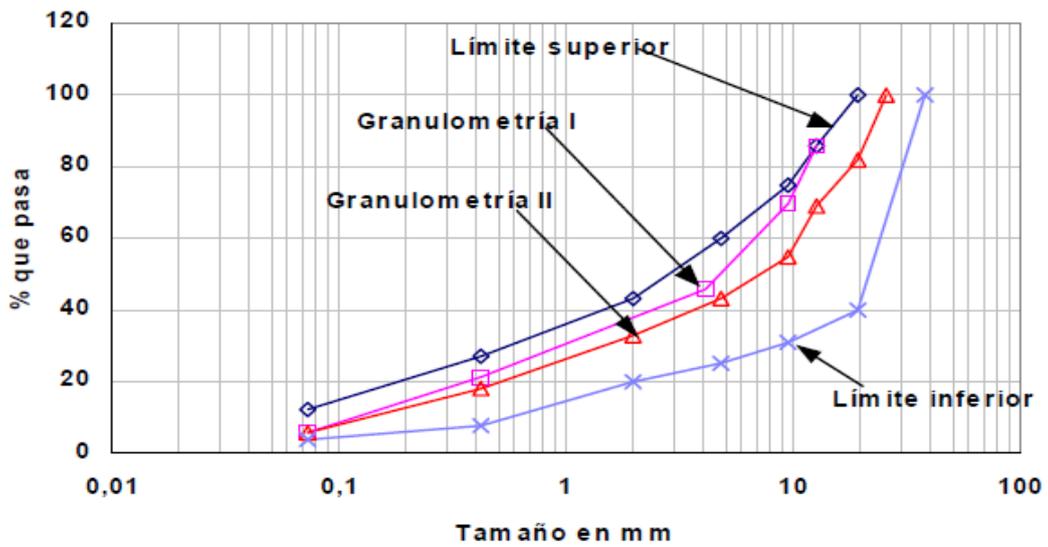
## **FACTORES QUE AFECTAN EL MODULO DE RESILIENCIA EN MATERIALES GRANULARES**

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

### **TIPO DE MATERIAL**

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

Hvhem llevo a cabo un estudio en el que utilizaron seis tipos de agregados los cuales consistieron de tres calizas, una arenisca, un granito y una riolita, estos materiales son los comúnmente usados en la construcción de bases y subbases de pavimentos de carreteras, en la figura 1 y 2 como se muestra:

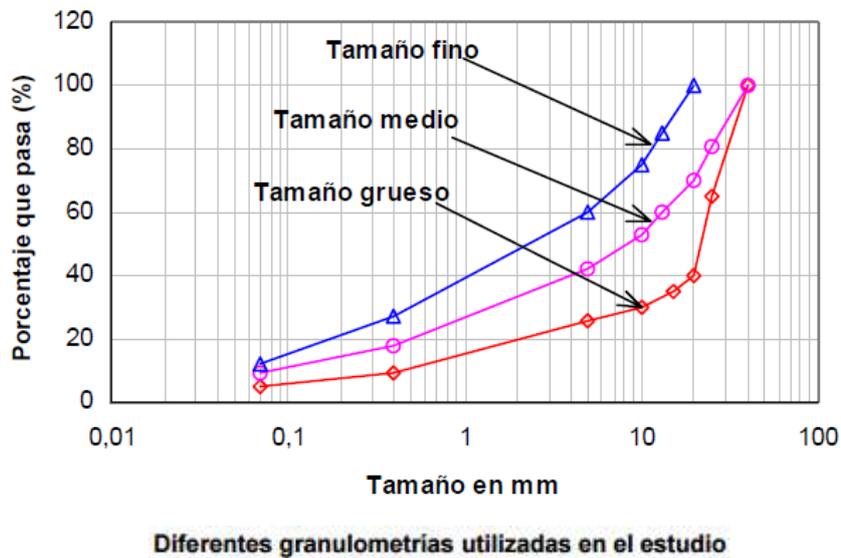


Material tipo B (Granulometria III)

## CONTENIDO DE AGUA

Hveem, reporta los resultados de un estudio realizado con dos materiales granulares que se utilizan comúnmente en la construcción de subbases y bases de pavimento, los cuales se trabajaron con tres granulometrías y tres

contenidos de agua diferentes, a fin de conocer la influencia de estas características en su comportamiento esfuerzo-deformación.



Como resultado de la experimentación se concluye que para las condiciones estudiadas (materiales de base con porcentajes de agua cercanos al óptimo de compactación), la base natural de banco, la cual no cumple con las especificaciones vigentes en lo referente a granulometría y equivalente de arena, es la que tiene mejor comportamiento resiliente, plástico y de resistencia estática al esfuerzo cortante.

## UTILIZACION DEL MODULO DE RESILIENCIA

Varias son las metodologías para diseño de pavimentos, tanto rígidos como flexibles que consideran al parámetro módulo de resiliencia como la base para

la caracterización del comportamiento de suelos y material granulares. Es por ello que la selección apropiada del módulo de resiliencia de un material se debe de realizar con sumo cuidado, teniendo en cuenta los factores que en el influyen.

En este capítulo se indican las condiciones requeridas para la determinación del módulo de resiliencia de acuerdo al método de diseño de la American Asociación of State Highway and Transportation Official (AASHTO) y también de acuerdo a los llamados métodos de diseño mecanicistas basados en cálculos elásticos de esfuerzos y deformaciones en la sección estructural de un pavimento.

## **METODOS MECANICISTAS**

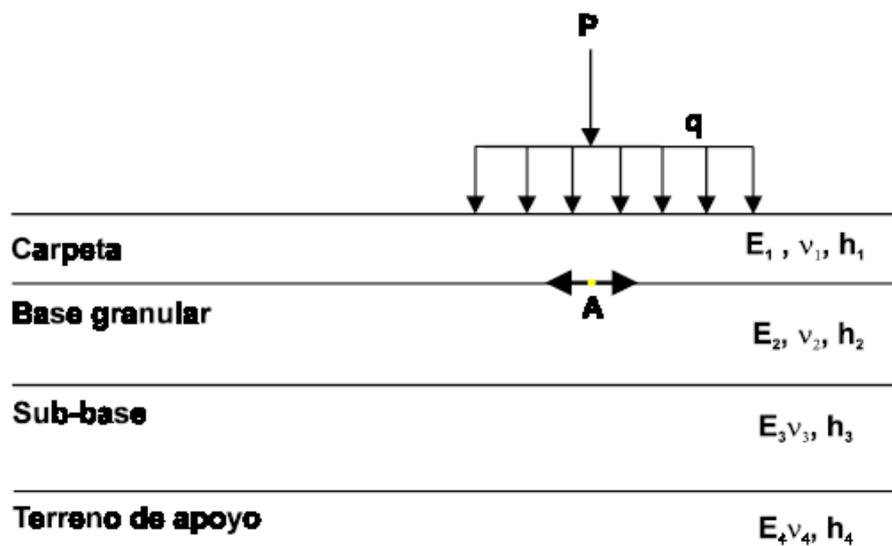
El diseño apropiado de los pavimentos depende en gran medida del entendimiento de la respuesta de los materiales ante cargas repetidas. Para caracterizar los materiales deben tomarse en cuenta los dos aspectos siguientes: los parámetros del material para usarlos al establecer los criterios de falla y las características esfuerzo- deformación de cada uno de los materiales utilizados en la sección estructural, para el cálculo de la respuesta física del sistema.

Los procedimientos mecanicistas están basados en la suposición de que un pavimento puede ser modelado como una estructura multicapa elástica o viscoelastica sobre una cimentación elástica o viscoelastica. Suponiendo que los pavimento puede ser modelado de esta manera. Es posible calcular los esfuerzos, deformaciones o deflexiones debidas al tránsito en cualquier punto del pavimento. Sim embargo se sabe que hay factores que no pueden ser modelados, por lo tanto es necesario calibrar los modelos con observaciones de campo.

En estos métodos, la caracterización de los materiales que conforman las capas de un pavimento se realiza tomando como propiedad básica al **MODULO DE RESILIENCIA** que es una medida de las propiedades elásticas de un suelo, pero tomando en consideración la existencia de características no

lineales en su comportamiento, fundamentalmente su dependencia con el nivel de esfuerzos.

Cada una de las capas caracterizada por las propiedades del material que la forman el **MODULO DE RESILIENCIA**, relación de Poisson y espesor de la capa. Por lo tanto, si se desea realizar un diseño del pavimento rigurosamente elástico, el modulo a utilizar para cada uno de los materiales que conforman las capas será precisamente el **MODULO DE RESILIENCIA**



## SECCION TIPICA DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE

### ESTIMACIÓN DEL VALOR DE MODULO DE RESILIENCIA

Considerando que la mayoría de las agencias, instituciones y empresas dedicadas al diseño de pavimento no cuentan con el equipo para realizar la prueba de módulo de resiliencia, se han desarrollado investigaciones pendientes a establecer correlaciones entre este y otras características como el valor relativo de soporte (VRS-CBR) y el valor de resistencia R.

Klomp ha reportado correlaciones entre el Valor Relativo de Soporte (VRS-CBR) y el módulo de resiliencia (usando pruebas de compactación dinámica). La correlación está dada por la siguiente relación:

$$Mr \text{ (psi)} = 1500 * VRS$$

Dichas correlaciones son las siguientes:

- |                                 |   |  |
|---------------------------------|---|--|
| Para $CBR < \acute{o} = 7$      | → | $Mr = 1,500 \text{ CBR (psi)}$ .....(α)                |
| Para $7 < CBR < \acute{o} = 20$ | → | $Mr = 3,000 \text{ CBR}^{0.65} \text{ (psi)}$ .....(β) |
| Para $CBR > 20$                 | → | $Mr = 4326 \ln CBR + 241 \text{ (psi)}$ .....(γ)       |

| Tipo de suelo AASHTO   | Descripción                  | SUCS    | $\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> ) | VRS %   | Valor K (MPa/m) | Módulo resiliente (MPa) |
|--|------------------------------|---------|---------------------------------|---------|-----------------|-------------------------|
| <b>Suelos de grano grueso</b>  |                              |         |                                 |         |                 |                         |
| A-1-a , bien graduado  | Grava                        | GW, GP  | 19.6-22                         | 60 - 80 | 81.44-122.16    | 70.37-140.74            |
| A-1-a , mal graduado   |                              |         | 18.9-20.4                       | 35 - 60 | 81.44-108.58    | 70.37-140.74            |
| A-1-b  | Arena gruesa                 | SW      | 17.3-20.4                       | 20 - 40 | 54.29-108.58    | 42.23-105.55            |
| A-3  | Arena fina                   | SP      | 16.5-18.9                       | 15 - 25 | 40.72-81.44     | 35.18-14.07             |
| <b>Suelos A-2 (materiales granulares con alto porcentaje de finos)</b> |                              |         |                                 |         |                 |                         |
| A-2-4 , gravosa  | Grava limosa                 | GM      | 20.422.8                        | 40 - 80 | 81.44-135.73    | 70.37-211.11            |
| A-2-5 , gravosa  | Grava areno limosa           |         |                                 |         |                 |                         |
| A-2-4 , arenosa  | Arena limosa                 | SM      | 18.9-21.2                       | 20 - 40 | 81.44-108.58    | 70.37-140.74            |
| A-2-5 , arenosa  | Arena limosa con grava       |         |                                 |         |                 |                         |
| A-2-6 gravosa  | Grava arcillosa              | GC      | 18.9-22.0                       | 20 - 40 | 54.29-122.16    | 56.29-140.74            |
| A-2-7 gravosa  | Grava arcillosa con arena    |         |                                 |         |                 |                         |
| A-2-6 arenosa  | Arena arcillosa              | SC      | 16.5-20.4                       | 10 - 20 | 40.72-95.00     | 35.18-105.55            |
| A-2-7 arenosa  | Arena arcillosa con grava    |         |                                 |         |                 |                         |
| <b>Suelos de grano fino *</b>  |                              |         |                                 |         |                 |                         |
| A-4  | Limo                         | ML , OL | 14.1-16.5                       | 4 - 8   | 6.79-44.79      | 14.07-42.22             |
|  | Grava-arena-limo             |         | 15.7-19.6                       | 5 - 15  | 10.86-59.72     | 28.14-56.29             |
| A-5  | Limo alta compresibilidad    | MH      | 12.6-15.7                       | 4-8     | 6.79-51.58      | 14.07-42.22             |
| A-6  | Arcilla plástica             | CL      | 15.7-19.6                       | 5-15    | 6.79-69.22      | 14.07-70.37             |
| A-7-5  | Arcilla baja compresibilidad | CL, OL  | 14.1-19.6                       | 4-15    | 6.79-58.36      | 14.07-70.37             |
| A-7-6  | Arcilla alta compresibilidad | CH, OH  | 12.6-17.3                       | 3-5     | 10.86-59.73     | 28.14-70.37             |

## CONCLUSIONES

1. El módulo de resiliencia se obtiene a partir de un ensayo triaxial en el que el esfuerzo de confinamiento se mantiene y el esfuerzo desviador se aplica cíclicamente. Este parámetro se define como el cociente del esfuerzo desviador aplicado y la magnitud de la deformación unitaria recuperable.
2. En suelos cohesivos, el módulo de resiliencia disminuye al aumentar el nivel de esfuerzo desviador y es, en general, poco sensible a la magnitud del esfuerzo de confinamiento. También depende de las condiciones de compactación, del número de ciclos aplicado.
3. En suelos granulares, el módulo de resiliencia aumenta con el nivel del esfuerzo aplicado. también influye la naturaleza de los agregados, el grado de solidez, forma de partícula, composición granulométrica, contenido de agua y peso volumétrico.

## **CAPITULO V**

### **CAPITULO V**

#### **PROYECTO DE REHABILITACION**

##### **5.1 INTRODUCCION**

El objetivo principal que quiero llegar con esta tesis o estudio, es establecer los fundamentos y criterios necesarios que permitan seleccionar y proyectar la solución adecuada de la rehabilitación de un pavimento, para ello nos evocamos a encontrar un procedimiento para la evaluación y análisis del estado de un pavimento y una gama de posibles soluciones de rehabilitación, entre las que elegimos en cada caso la más adecuada, atendiendo a consideraciones técnicas, económicas y ambientales, así como de mínima afección al tráfico durante la ejecución de las obras, especialmente en lo que se refiere a la seguridad de la circulación vehicular en Moquegua.

Según el estudio de evaluación, inspección visual que realice pude observar dos puntos importantes acerca de las características del pavimento tales como son

- Las vías que se realizó en el presente trabajo de investigación tienen un tráfico heterogéneo, pues por el circulan toda clase de vehículos, desde pequeños hasta vehículos de alto tonelaje.
- Por otro casi la totalidad de kilómetros de las vías, son tramos de vías que han sido construidas recientemente, pero que presentan un desgaste acelerado pronunciado, por lo que requieren soluciones de rehabilitación inmediata.

Por tal motivo, lo que pretendo con esta tesis es trata ambas situaciones, proponiendo, cuando ha sido posible, soluciones distintas en uno y en otro caso.

## **5.2 DISEÑO DE ALTERNATIVAS DE REHABILITACION**

Toda rehabilitación que se realice, contempla el saneo del pavimento en zonas de blandones. Pero no se considera, en principio, la demolición total del pavimento y su sustitución por otro nuevo, debido a que este pavimento

es demasiado joven, y para otros casos solo se deberá reservar para casos muy excepcionales.

La selección de la solución adecuada en cada tramo de comportamiento uniforme se debe basar en un estudio técnico-económico que analice y valore las distintas soluciones posibles. Dentro de este análisis, deberán combinarse conceptos como el de disponibilidad de materiales, facilidad de ejecución, durabilidad de los pavimentos, costos de ejecución, desvíos provisionales, etc.

En síntesis y a efectos de aplicación de las presentes recomendaciones que planteo, en el análisis de la solución habrá que considerar, entre otros los siguientes parámetros:

- ☒ Características del tramo (si es calzada única o doble. Etc.).
- ☒ Costo de la ejecución.
- ☒ Costo adicional ocasionado a los usuarios por la ejecución de las obras.

Vida útil prevista de la ejecución, es decir, tiempo que transcurrirá hasta que sea necesario realizar otra rehabilitación.

### **5.3 IMPORTANCIA DE UNA INSPECCION FRECUENTE**

Las tensiones que producen defectos menores están constantemente trabajando en todos los pavimentos. Tales tensiones pueden ser causadas por un cambio de temperatura o contenido de humedad por el tráfico, o por pequeños movimientos en el suelo subyacente o adyacente. Las fisuras, baches, depresiones y otros tipos de fallas son la evidencia visible del desgaste del pavimento.

Una detección temprana y reparación de los defectos menores es en sin lugar a dudas, el trabajo más importante realizado por los equipos de mantenimiento.

### **5.4 MEZCLAS ASFÁLTICAS Y MATERIALES**

El concreto asfáltico y otras mezclas de planta en frío producen bacheos de larga vida que desarrollan estabilidad rápidamente. Deben usarse siempre que sea práctico y económico.

Para rellenar fisuras pequeñas se usan grados livianos de asfalto diluido de curado rápido y medio, como también emulsiones asfálticas y lechadas de asfalto emulsionado.

## **5.5 CAUSA Y REPARACION DE DEFORMACIONES**

Las deformaciones del pavimento es el resultado de la debilidad o del movimiento del suelo de la subrasante. Puede o no estar acompañada de grietas, pero cualquier circunstancia, produce un riesgo para el tráfico. Las deformaciones se pueden presentar bajo distintas formas:

- a) Ahuellamiento.
- b) Corrugación.
- c) Desplazamientos.
- d) Depresiones.

Como cualquier otro defecto, el tipo de deformación tiene una causa y debe ser determinada antes de aplicar una solución. Las técnicas de reparación varían desde la nivelación de la superficie rellenando con nuevo material hasta la remoción completa del área afectada y reemplazo con nuevo material.

### **a) AHUELLAMIENTO**

El ahuellamiento, es la deformación de estrías o surcos, son depresiones canalizadas que se desarrollan en las huellas de las ruedas en los pavimentos asfálticos. El ahuellamiento puede resultar de la consolidación o movimiento lateral bajo el tránsito en una o más de las capas subyacentes, o por desplazamiento de la misma capa superficial.

### **b) CORRUGACIONES Y DESPLAZAMIENTOS**

Las corrugaciones u ondulaciones, son una forma de movimiento plástico tipificado por ondas a través de la superficie del pavimento

asfáltico. El desplazamiento es un movimiento plástico del que resultan combas localizadas en la superficie del pavimento.

#### **d) DEPRESIONES**

Las depresiones son áreas localizadas de tamaño limitado que pueden o no ser acompañadas por fisuras. El agua se junta en las depresiones, lo cual llega a ser no solamente una fuente de deterioro para el pavimento, sino también un peligro para los usuarios. Las depresiones son causadas por el tráfico más pesado de aquel para el cual fue diseñado el pavimento.

Las depresiones deben ser llenadas con mezclas asfálticas y compactadas para reconstruir el área hasta el mismo nivel que el pavimento circundante.

### **5.6 CAUSAS Y REPARACION DE LA DESINTEGRACION**

La desintegración es la rotura del pavimento en fragmento pequeño y suelto. Esto incluye el desprendimiento de las partículas del agregado. Si no se detiene en los primeros estados, la desintegración puede progresar hasta que el pavimento requiera una completa reconstrucción. Los pozos y desprendimientos son dos de los tipos más comunes de los primeros estados de desintegración.

#### **a) POZOS**

Los baches son pozos en el pavimento con forma de cuenco de varios tamaños resultantes de la desintegración localizada bajo la acción del tráfico. Generalmente están provocados por una debilidad en el pavimento, resultante de muy poco asfalto, una película de asfalto muy fina, exceso de finos, falta de finos y drenaje pobre.

#### **b) DESPRENDIMIENTOS**

El desprendimiento es la pérdida sucesiva de material superficial por la abrasión del clima y/o del tráfico. Usualmente el agregado fino se

desprende primero dejando marcas de pequeñas picaduras en la superficie del pavimento. A medida que continúa la erosión, las partículas mayores eventualmente se desprenden y el pavimento pronto tiene una apariencia áspera y mellada típica de la erosión superficial.

Las superficies secas y afectadas por el clima normalmente requieren un tratamiento superficial. Las medidas de emergencia incluyen un sellado aplicado sobre la superficie del camino. Los tratamientos superficiales incluyen lechadas asfálticas, riego de asfalto y arena, riego de asfalto y agregado, o un tratamiento superficial de mezcla en planta, dependiendo de la condición de la superficie y del tráfico.

## **5.7 CAUSA Y REPARACION DE SUPERFICIES RESBALADIZAS.**

### **a) EXCESO DE ASFALTO.**

El afloramiento o exudación es la presencia de exceso de asfalto o de una película de asfalto en superficie del pavimento. Las capas de pavimento con mezcla ricas de asfalto, riegos de sellado inadecuadamente contruidos, o un riego de imprimación o liga muy abundante pueden provocar exudación.

En muchos casos la exudación puede corregirse mediante repetidas aplicaciones de arena o piedras residuales del tamizado para absorber el asfalto en exceso.

### **b) AGREGADOS PULIDOS**

Las partículas de agregado en la superficie del pavimento pueden gastarse bajo la acción abrasiva del tráfico. Esto incluye a las gravas sin triturar naturalmente lisas y piedra partida, que se deterioran rápidamente bajo el tránsito. Los agregados pulidos son completamente resbaladizos cuando están húmedos.

## **5.8 MEJORAS PROYECTADAS PARA LOS TRAMOS ESTUDIADOS**

De todo el estudio realizado se pudo concluir que existen zonas en donde solo se requieren proyectos de rehabilitación preventiva debida a que el valor de la deflexión de cálculo es menor del que se requiere para hacer una rehabilitación estructural, al no alcanzar los umbrales de agotamiento. En estos casos es rentable solo realizar una acción que prolongue la vida útil del pavimento antes de que la aceleración de las gradaciones obligue a una rehabilitación estructural más profunda.

Los proyectos de rehabilitación preventivos consisten en el aumento ligero de mezclas asfálticas e incluso en tratamientos superficiales, por la capacidad de estos para impermeabilizar, lo que también supone un retraso de la degradación estructural generalizada.

La determinación predominante para establecer un proyecto de rehabilitación preventivo se deduce de estudios técnico-económicos en los que se tenga en cuenta la evolución previsible del estado del pavimento, de acuerdo con sus características (tipo, espesores, edad, estado, tráfico, clima, etc.) la prolongación de la vida útil que suponen distintas alternativas de actuación preventiva y/o correctiva, y el costo de dichas alternativas.

Es por ello que se concluye con el procesamiento se ha llegado a determinar la situación actual en la que se encuentran los pavimentos así como las subrasante, estando en la capacidad de sugerir que se realice un tratamiento superficial que consiste en el aumento de una pequeña capa de asfalto (Slurry Seal), con el fin de que la degradación superficial acelerada del pavimento siga incrementándose y después se tenga que realizar trabajos más complicados y costosos.

## **5.9 PROYECTO DE REHABILITACION PERMANENTE**

Los proyectos de rehabilitación denominadas permanente quedan fuera de la solución convencional de recocado, debido al elevado valor de la deflexión del cálculo. En estos casos, se analizan con detalle los motivos de esta anomalía para determinar la solución de rehabilitación más apropiada.

El estudio especial al que será sometido tendrá por objeto decidir entre la reconstrucción del pavimento total o parcial. Requerirá, en general, la realización de extracción de testigos de diamantina y calicatas, en las que se tomaran muestras de los materiales del pavimento y explanada existentes para su ensayo y evaluación en el laboratorio. De otro lado se anotaran los espesores de las capas, grado de compactación, humedad. Etc.

En toda la longitud de los tramos estudiados (evaluados) encontramos 3 vías que necesitan un proyecto de rehabilitación permanente, esto debido a que se presenta una superficie muy dañada (hueco), En las que se encuentran los comerciantes del mercado central, esta vía es utilizada por los comerciantes que aparte de no cuidar el pavimento, estos botan basura, agua con detergentes u otros agente perjudiciales para el pavimento, la otra vía se encuentran la presencia de 02 talleres automotrices de lavadero de carros que realizan sus actividades en la puerta de sus establecimientos. Estos talleres botan lubricantes, detergentes, etc. Que afectan en gran medida al asfalto.

#### **5.10 DESCRIPCION DE LOS TRABAJOS**

El municipio y/o la institución encargada del mantenimiento y rehabilitación de las vías, estará obligado a realizar todas las actividades de administración, mantenimiento preventivo, mantenimiento permanente, agrupados en la siguiente forma:

- Indicadores de pavimentos.
- Indicadores para las zonas laterales.
- Indicadores para el drenaje.
- Indicadores para la señalización y seguridad vial.
- Indicadores para las estructuras viales.

#### **5.11 ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO RUTINARIO**

- Se deberá tomar las medidas necesarias, para evitar la caída de material excedente que sitúa a un borde de la calzada.

- Se debe realizar la limpieza constante de los bordes del pavimento.
- Se debe hacer tomar conciencia a los pobladores, usuarios de las vías a fin de que ellos ayuden a preservar el pavimento (no colocando desmonte, basura que obstaculizan y a su vez deterioran el pavimento, del mismo modo el uso indebido de agentes que dañan el asfalto).
- Una vez terminado la instalación de agua y desagüe realizar un tratamiento especial a la zona en donde se realizó la zanja a fin de que no se presente esas molestas zanjas en el pavimento.

## **5.12 OBRAS DE MANTENIMIENTO PERIODICO**

Para el MANTENIMIENTO PERIODICO la ejecución de actividades programadas con una periodicidad superior a seis meses y que tienen como objeto principal actuar en el momento oportuno para la conservación del “patrimonio vial – conservación de vías”.

Se incluyen entre otras actividades las siguientes:

- Realizar un presupuesto por un determinado m<sup>3</sup> de carpeta asfáltica, según diseño que deberá efectuar para garantizar una vida útil del pavimento.
- La superficie del pavimento debe estar siempre con las marcas laterales y las líneas separadoras centrales (mantenimiento vial).
- Después de realizada cualquier obra sobre la calzada, se deben restituir las marcas el pavimento en un tiempo corto, esta labor se asumirá como parte del mantenimiento rutinario.

## **5.13 INDICADORES DE ESTADO**

En adición a los indicadores que se establecen para el mantenimiento rutinario se han establecido cinco (5) grupos de indicadores del estado de la vía, y uno (1) para valorar los servicios a los usuarios, así:

### **a) INDICADORES PARA EL PAVIMENTO**

Comprenden la conservación de la superficie de rodadura y su estructura, para brindar un estado óptimo de servicio al usuario, dado por condiciones técnicas, operativas y de comodidad.

| VARIABLE  | INDICADOR   | FORMULA DE MEDICION  | TOLERANCIA  |
|-----------|---|--|---|
| Limpieza  | Calzada siempre limpia y libre de obstáculos de derrames y productos lubricantes    | Inspección visual permanente   | No puede haber ningún elemento que constituya basura por más de 24 horas. Los obstáculos deben ser retirados en el menor tiempo posible |
| Rugosidad | Índice internacional de rugosidad al existente y al momento de la entrega de la vía | Medido con un equipo calibrado en el sitio, mediante velación topográfica  | Se exceptúan aquellos tramos que por fuerza mayor requieran rehabilitación o mejoramiento.  |
|           | Profundidad de la flecha máxima a la existente al momento de entrega de la vía      | Medida con regla graduada al milímetro, o con rugosímetro se harán mediciones mensuales en tramos de 100m por cada sector de 5km |   |

|                  |  |   |   |
|------------------|--|---|---|
| Baches           | Numero de baches en la calzada                               | Inspección visual   | En caso de presentarse deberán ser cubiertos de inmediato   |
| Fisuras abiertas | Deberán permanecer siempre selladas                          | Inspección visual   | Se debe de sellar todas las fisuras existentes.   |
| parches          | Porcentaje de la calzada con fisuras más parche 10% del área | Determinada para cada km de vía mediante inspección y medición manual | No debe haber huecos en la superficie del pavimento, a menos que requieran mantenimiento urgente. |

## b) INDICADORES PARA LAS ZONAS LATERALES

Se refieren a la conservación y mantenimiento de la zona que corresponde al derecho de vía, con el objetivo principal de presentar vías estables y agradables visualmente. Los indicadores obedecen a criterios técnicos y de mejoramiento ambiental.

| VARIABLE | INDICADOR | FORMA DE MEDICION | TOLERANCIA |
|----------|-----------|-------------------|------------|
|----------|-----------|-------------------|------------|

|                           |   |   |   |
|---------------------------|---|---|---|
| Bermas                    | Siempre impermeabilizadas que impidan filtraciones          | Inspección visual semanal   | Agrietamiento debidos a causas humanas o naturales, no imputables al deterioro de la berma, deberán ser impermeabilizadas en el corto tiempo posible. |
| Limpieza de bermas        | Siempre limpias y libres de obstáculos, tierra o basura     | Inspección visual diaria  | No puede haber ningún elemento que constituya basura.   |
| Baches o huecos en bermas | Numero de baches o huecos                                   | Inspección visual diaria  | En caso de presentarse deberá ser cubierto de inmediato   |
| Parches en bermas         | Porcentaje de la berma con fisuras más parche 10% del área. | Determinar por Km. De berma mediante inspección y medición manual | Se exceptúan aquellos tramos que por fuerza mayor requieran de mantenimiento o refuerzo urgente.  |
| Limpieza de vías          | Debe estar siempre limpia, libre de escombros o basura      | Inspección visual semanal   | Se debe educar a la población mediante charlas a fin de que tomen conciencia  |

### c) INDICADORES PARA LA SEÑALIZACION Y SEGURIDAD VIAL

Tienen como objetivo garantizar al usuario una vi acomoda y segura a través de información confiable y oportuna en los sitios de peligro o de prevención de accidentes mediante señales que regulen el tránsito y que prevengan e informen al usuario.

| VARIABLE               | INDICADOR  | FORMA DE MEDICION                 | TOLERANCIA   |
|------------------------|--|-----------------------------------|--|
| Señales verticales     | Señales siempre limpias y niveladas, con buena reflectibilidad | Inspección visual                 | No se deben colocar señales deterioradas y si existiesen se deben de cambiar |
| Bordillos              | Completos sin desportillamiento y limpio                       | Inspección visual                 | En caso de destrucción reconstruirlos en el más corto tiempo posible         |
| Tachas                 | Sin desgaste de abrasión por trafico                           | Reflectometro e inspección visual | Se aceptan en buen estado aquellas que brinden buena reflectividad nocturna  |
| Demarcación horizontal | Reflectividad clara y con un ancho mínimo de 12 cm             | Inspección visual                 | No se debe pintar en forma desordenada.                                      |

## **5.14 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES SOBRE EL ESTUDIO**

En fin esta tesis ha sido objeto de determinar cuál es el paso que se debe seguir para poder corregir a tiempo los deterioros del pavimento evaluado

### **5.14.1. CONCLUSIONES**

- Después de la inspección visual realizado a las calles de estudio (pavimentadas), se observó el desgaste pronunciado acelerado del pavimento a pesar de que este tiene un periodo de vía muy corto, se concluye esto debido a la falta de la estabilidad del asfalto.

- La **VIGA BENKELMAN**, es un equipo de fácil manejo para este tipo de vías ya que, es un método no destructivo el cual no perjudica al pavimento actual en comparación a los métodos tradicionales (destructivos).
- De la evaluación estructural por deflectometría se llegó a la conclusión que :
  - El 54% de las vías evaluadas son suelos con buena capacidad de soporte, y el 30% son suelos con regular capacidad de soporte.
  - El 60% de las vías evaluadas son pavimentos con comportamiento bueno y el 40% son pavimentos con comportamiento excelente.
  - Y el 100% de las vías evaluadas son pavimentos buenos sobre una subrasante buena.
  - De la evaluación realizada a las diferentes vías de estudio de la interconexión vial – Moquegua, se concluye que la alternativa de solución para este tipo de pavimentos es la de realizar proyectos de rehabilitación preventiva, la cual se presenta en este capítulo.
- La regularidad superficial de un pavimento es una característica muy importante dentro de la evaluación del estado superficial de una carretera, ya que afecta directamente a la comodidad y seguridad del usuario, así como los costos de operación.
- El buen estado de la infraestructura vial resulta vital para la eficiencia del transporte, el cual tiene una influencia preponderante en el estado general de la economía del país.
- En una construcción o reconstrucción en la capa superior de un pavimento y fundamentalmente en la terminación de la superficie de rodadura (rodadura-calzada), permitirá que los costos de operación sean mayores o menores. Lo anterior se generará desde el momento en que se ponga en operación el tramo, así como de los incrementos a lo largo de la vida útil del mismo.

- En nuestro país es necesario hacer obligatorio el uso del índice internacional de rugosidad para una mejor evaluación del estado superficial de los pavimentos. Conviene dejar de evaluar subjetivamente las vías con el índice de servicio actual.
- Es importante mencionar que existe la necesidad de verificación de los diferentes equipos que determinan la regularidad superficial en instituciones reconocidas para tal fin el MTC. Lo anterior con la finalidad de asegurar la obtención de buenos resultados confiables a la hora de analizar el perfil de una vía.
- No cabe la menor duda que aspectos como la homogeneidad de la mezcla a utilizar, tanto en su granulometría como en su temperatura, así como de revisar las partes de la pavimentadora y una adecuada compactación de las mezclas asfálticas, son determinantes para mejorar la regularidad superficial.
- Para mejorar la terminación superficial, es necesario tomar en cuenta también, las juntas transversales en el pavimento. Se pudo apreciar en los tramos analizados, que en este punto de las juntas transversales, es donde los índices de perfil son mayores.

También es importante la disposición de un equipo humano suficiente y bien preparado (rastrilleros), además que tengas un conocimiento sobre los aparatos que miden la regularidad superficial.

#### **5.14.2 RECOMENDACIONES**

- La recomendación más importante que se debe dar sobre este tema es que se debe realizar cuanto antes un tratamiento superficial que consiste en el aumento de una pequeña capa de pavimento (Slurry Seal) con los espesores propuestos para cada tramo o vía evaluada de 3cm a 6cm.
- El uso de la viga benkelman es recomendable su uso en pendientes que no excedan los 15°, ya que habría una variación en el peso del volquete.

- Se recomienda que se realice la limpieza de los bordes del pavimento así como de hacer tomar conciencia a los pobladores para que ayuden a preservar el pavimento, ya que ellos son los causantes de gran parte del deterioro de los pavimentos.
- Otros métodos no destructivos para la medida de la deflexión a parte de la viga benkelman, son los deflectografos lacroix, curviametros, pero los más utilizados en todo el mundo son los equipos denominados DEFLECTOMETROS DE IMPACTO conocidos por sus siglas como FWD (Falling Weigh Deflectometers) DYNAFLECT, deflectometro de viaje, el ROAD RATER, entre otros.
- El control de calidad utilizando deflectometria en las distintas capas del pavimento ha permitido incrementar el grado de confiabilidad de que el pavimento terminado cumplirá con las exigencias establecidas en la fase del proyecto, por lo cual se recomienda que cada capa (subrasante, subbase y base) deben de tener el control de calidad de la deflectometria.
  
- Las lecturas de deflectometria son muy sensibles al procedimiento de medición por lo cual debe tomarse mucho cuidado en seguirlo en forma cuidadosa y de contar con personal debidamente capacitado. El error en las lecturas puede llevarse a un juicio equivocado de la capacidad estructural del pavimento, distorsionando las conclusiones sobre el aporte real de la estructura.
- Para correlacionar la medición de las deflexiones con los resultados de ensayos de materiales se recomienda la ejecución de un tramo de calibración en donde se registren los resultados de densidad de campo, humedad natural, grado de compactación, CBR y deflectometria. Estos registros en número suficiente de

ensayos permitirán establecer relaciones que faciliten el control posterior, durante la ejecución de la obra.

## ANEXO I

# GUÍA PARA LA RECOPIACIÓN DE ANTECEDENTES DE LOS PAVIMENTOS

### **GUÍA PARA LA RECOPIACIÓN DE ANTECEDENTES DE LOS PAVIMENTOS**

Debido a la inexistencia de una metodología de recopilación de antecedentes es que sugiero (propongo) un listado de los principales aspectos a recabar para la elaboración de los antecedentes de los pavimentos, basándose en criterios tomados por la CONREVIAL.

#### **1. DATOS RELATIVOS A LA CONSTRUCCION ORIGINAL.**

- Fecha de construcción y abierta al tránsito.
- Información sobre la estructura del pavimento.
- Procedencia de los materiales.
- Exigencias indicadas en las especificaciones.

- Referencias y problemas en obra.

## **2. DATOS RELATIVOS A LAS REHABILITACIONES EJECUTADAS**

- Tipo de obra ejecutada.
- Fecha de ejecución.
- Espesor y tipo de capa ejecutada.
- Características de la mezcla.
- Referencias y problemas en obra.

## **3. DATOS RELATIVOS AL COMPORTAMIENTO AL PAVIMENTO**

- Problemas surgidos desde el término de obra hasta la actualidad.
- Tareas de conservación realizadas.
- Tareas de mantenimiento periódico.

## **4. ESTUDIOS Y PROYECTOS REALIZADOS**

- Denominación del estudio.
- Tipo de estudio.
- Descripción de las tareas contempladas en el estudio.
- Conclusiones y soluciones.

## ANEXO II

### FORMATOS UTILIZADOS PARA LA RECOPIACION DE DATOS DE CAMPO

## ANEXO III

# GUIA PARA EL ESTUDIO DE LAS DEFLEXIONES EN ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO ASFALTICO

## GUIA PARA EL ESTUDIO DE LAS DEFLEXIONES EN ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO ASFALTICO

### 1. METODOLOGIA PARA EL ESTUDIO DE LA REHABILITACION ESTRUCTURAL DE UN PAVIMENTO.

Planteada la necesidad de la rehabilitación estructural de un pavimento, y para la determinación de la solución más adecuada, en el caso más general se deberá realizar las siguientes etapas:

- Recojo de los datos sobre las características básicas del pavimento, así como de su entorno y cuantificación de las solicitaciones.

- Evaluación del pavimento.
- Establecimiento de un diagnóstico sobre su estado.
- Análisis de soluciones.
- Selección y diseño de la solución más apropiada.

Estas etapas podrán en algunos casos, según la naturaleza de los deterioros del pavimento y la técnica de rehabilitación que se pretenda utilizar.

Dada su finalidad, esta guía se ocupa principalmente a la etapa de evaluación del pavimento mediante el estudio de deflexiones, contando con el imprescindible auxilio de la inspección visual y otros datos complementarios de los que se disponga en el momento de realizar el proyecto de rehabilitación.

## **2. DATOS BÁSICOS DE PARTIDA.**

Para poder evaluar el estado de un pavimento, es muy importante recopilar previamente sus parámetros más significativos, así como los del entorno y de las solicitudes del tráfico. Los datos básicos, como pueden ser:

- Datos del pavimento existente.
- Características del terreno.

## **3. EVALUACIÓN DEL PAVIMENTO**

La evaluación del pavimento existente tendrá por objeto caracterizar su estado con la finalidad de establecer un diagnóstico que permita seleccionar y proyectar la solución de rehabilitación más adecuada en cada uno de los tramos homogéneos, de comportamiento sensiblemente uniforme, en que pueda dividirse la vía en estudio.

Para el estudio del estado del pavimento se dispondrá como elementos básicos de la evaluación del deflectograma y de la segmentación en tramos homogéneos de comportamiento uniforme.

### **3.1 INSPECCIÓN VISUAL**

La inspección visual es fundamental para la evaluación precisa del estado del pavimento. Independientemente de disponer de los datos de auscultación superficial de los pavimentos, cuando sea preciso abordar un proyecto de rehabilitación estructural, los datos disponibles se tendrán que complementar con una inspección visual detallada que deberá hacerse por técnicos especialistas.

Con la inspección visual se intentara fundamentalmente caracterizar el estado del pavimento. Al mismo tiempo, esta inspección ayudara a ramificar la vía objeto de estudio, y a interpretar los resultados de la auscultación, efectuada con la viga benkelman.

La inspección visual, las deflexiones y los otros parámetros de que se disponga, servirán para hacer una programación optima de los trabajos de campo, que no deberán ser más que los necesarios (lo que redundaría en un mayor costo económico y en un aumento de los plazos de estudio y redacción del proyecto), ni menos de lo conveniente, para poder evaluar correctamente el estado del pavimento y definir con suficiente precisión la tipología de las soluciones de rehabilitación.

En algún caso, la inspección visual puede ser determinante en la elección de la solución de rehabilitación más adecuada. También este tipo de reconocimiento cuidadoso juega un papel importante, aunque no exclusivo, en la determinación de la solución correcta en las zonas donde, por la magnitud de las deflexiones, se requiera un estudio especial o donde convenga un tratamiento singular y diferenciado del tramo en su conjunto.

### **3.2 AUSCULTACION ESTRUCTURAL**

La inspección visual realizada, deberá completarse con la auscultación mediante equipos que proporcionen información sobre la capacidad resistente del pavimento. Normalmente la deformación vertical o deflexión y a partir de ella, se evalúan sus características estructurales.

El uso de estos equipos obliga a adoptar unos parámetros de referencia (deflexión patrón y deflexión de cálculo). Del mismo modo será aconsejable, en algunos casos realizar sondeos, calicatas, toma de muestras y ensayos de laboratorio para completar los datos anteriores. Básicamente se deberá obtener información de carácter puntual, pero precisa, sobre:

- La naturaleza y espesor de las distintas capas del pavimento.
- Las características resistentes de las capas y adherencia entre ellas.
- Las características y estado de la explanada.
- El origen y extensión de los deterioros observados.

## **4. ESTUDIO DE DEFLEXIONES**

### **4.1 DEFLEXION**

A efectos de calcular los espesores de refuerzo de un pavimento, se considerara como deflexión la recuperación elástica de la superficie del pavimento, al retirarse un par de ruedas gemelas, y en las condiciones siguientes:

- Temperatura en la superficie del pavimento de 20°C.
- Valor mínimo del módulo de deformación de la explanada, dentro del campo de variación debida a los cambios de humedad en ella.

### **4.2 PROCEDIMIENTO DE MEDIDA**

Según el método de recuperación, la deflexión patrón normalizada es la que se obtiene con la viga benkelman.

#### **4.3 LIMITACIONES DE ENSAYO DE LA MEDIDA DE LA DEFLEXION**

En cualquier caso, para que la medida de la deflexión sea válida y aplicable a soluciones de rehabilitación estructural, los ensayos se realizarán siempre que la temperatura de la superficie del pavimento esté comprendida entre los límites siguientes:

- De 2°C a 30°C, si el pavimento tiene 10 cm o más de mezcla asfáltica.
- De 2°C a 40°C, si el pavimento tiene menos de 10 cm de mezcla asfáltica.

#### **4.4 ESTUDIOS COMPLEMENTARIOS**

Realizada la ramificación, esta deberá ser comprobada y verificada “in situ” por el ingeniero encargado del proyecto de rehabilitación.

Se estudiarán especialmente los casos en que exista discrepancia entre los valores de deflexión, el aspecto superficial del pavimento y su sección estructural, para conocer las razones de tal discrepancia, efectuando eventualmente trabajos complementarios de reconocimiento (nuevas medidas de deflexión, calcatas y ensayos complementarios, etc.).

#### **4.5 DEFLEXION CARACTERISTICA**

Cada tramo homogéneo establecido se estudiará por separado y en él se determinará un valor de la deflexión que se considerará representativo del estado del pavimento. Lo normal será emplear un valor de deflexión característica.

Cuando la solución de rehabilitación estructural que se adopte consista en un refuerzo por igual en todo lo ancho de la calzada, a efectos de cálculo del espesor necesario deberán tomarse las deflexiones del carril y la rodadura más desfavorable.

## **5. SELECCIÓN Y DISEÑO DE LA SOLUCION**

Las etapas que se han venido considerando para el estudio de la rehabilitación estructural del pavimento se completaran, tras el diagnóstico sobre su estado y sobre las causas de las degradaciones observadas, con el análisis de las distintas soluciones de rehabilitación posibles y con la selección y diseño de las más apropiadas en cada caso.

## ANEXO IV

# DOCUMENTOS DE ESTUDIO -INFORMACION DE LA TESIS

### 10.0 BIBLIOGRAFÍA

1. Sayers.M.W. Gillespie.T.D. y Queiroz A.V. 1986. The International Road Roughness Experiment World Bank Technical Paper Number.
2. American Concrete Pavement Association. The International Roughness Index (IRI): What is it? How is it Measured? What do you need to know about it? R&T Update Concrete Pavement Research & Technology (Ago 2002).
3. Sayers, MW, Karamihas, SM. The Little Book of Profiling: Basic Information about Measuring and Interpreting Road Profiles. University of Michigan Transportation Research Institute (1998).
4. Programa Nacional de Infraestructura 2007-2012 Pag. Web [www.infraestructura.gob.mx/](http://www.infraestructura.gob.mx/)
5. Ingeniería de Transito y Carreteras, Nicholas J. Garber/Lester A.Hoel, tercera edición, editorial Thomson.

6. Diseño de Pavimentos Flexibles (Primera y Segunda Parte), Manuel Zarate Aquino, segunda Edición.
7. Estructuración de vías terrestres. Olivera Bustamante Fernando Editorial Patria, segunda Edición. México.1996.
8. Manual for profile measurement: Operational field guidelinesSHRP P-378 National Research Council1994.
9. Sistema de evaluación de pavimentos versión 2.0, Juan Manuel Orozco y Orozco, Rodolfo Téllez Gutiérrez, Ricardo Solorio Murillo, Alfonso Pérez Salazar, María, Ariadna Sánchez LooSandra Torras OrtizPublicación Técnica No 245 2004.
10. “Estado de arte sobre IRI”, Andrés Costa Hernández, 2ºda Jornada Técnica de ASEFMA (Asociación Española de Fabricantes de Mezclas Asfálticas) Madrid, España 2006.
11. “Aspectos clave en el diseño y la puesta en obra de Mezclas bituminosas, Carlos Olavarría Jiménez, 3º Jornada Técnica de ASEFMA (Asociación Española de Fabricantes de Mezclas Asfálticas) Madrid, España 2006.
12. “Regularidad Superficial en carreteras de reciente construcción “Pedro Yarza Álvarez, Ramón Crespo del Rio, Aepo Consultores, Madrid España, 2007.
13. “Calidad ante la Rodadura” Ramón Crespo del Rio, Aepo Consultores, Jornada sobre la calidad en el Proyecto y la Construcción de Carreteras, Barcelona 1999.
14. Conservación de carreteras federales libres de peaje, Arturo Manuel Monforte Ocampo, Dirección general de Conservación de Carreteras, SCT, 2008.