

**EVALUACIÓN DEL PAVIMENTO DEL TRAMO
COMPRENDIDO ENTRE EL PR 127+140 – PR 116+340
DE LA VIA PEDREGAL - TÚQUERRES.**

**FABIO ALEJANDRO GUERRERO
MIGUEL VILLACRÉS**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
SAN JUAN DE PASTO
2001**

**EVALUACIÓN DEL PAVIMENTO DEL TRAMO
COMPRENDIDO ENTRE EL PR 127+140 – PR 116+340
DE LA VIA PEDREGAL - TÚQUERRES.**

**FABIO ALEJANDRO GUERRERO
MIGUEL VILLACRÉS**

**Trabajo de grado para optar al título de
Ingeniero Civil.**

**Director
GUILLERMO MUÑOZ RICAURTE
Ingeniero Civil
Especialista en Ingeniería de Vías Terrestres**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
SAN JUAN DE PASTO
2001**

DEDICATORIA

Dedico éste trabajo a Dios, a mis padres, a mis hermanos, a mi tía Gloria, mi abuelita Rosa y demás familiares que de una u otra forma me ayudaron a hacer realidad éste sueño.

FABIO ALEJANDRO GUERRERO

DEDICATORIA

Dedico éste trabajo a mis padres, hermanos, mi abuela Ema y demás familiares y personas que me colaboraron y brindaron su gran apoyo y colaboración durante el transcurso y fin de mi carrera.

MIGUEL A. VILLACRÉS M.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a:

Ingeniero Civil, especialista en Ingeniería de Vías Terrestres, GUILLERMO MUÑOZ RICAURTE, Director de Tesis.

Ingeniero Civil, GERARDO CRUZ. Administrador Vial.

Ingeniero Civil, JUAN CARLOS TRUJILLO. Jurado de Tesis.

Ingeniero Civil, LUIS CARLOS MARTINEZ. Jurado de Tesis.

Ingeniera Civil, DORIS MARTINEZ. Secretaria Facultad de Ingeniería UDENAR.

Geotecnólogo, HERNEY LASSO E. Jefe de laboratorio de suelos, Programa de Ingeniería Civil UDENAR.

A todas las personas que de una u otra forma colaboraron con el desarrollo de éste trabajo.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	
1. MARCO HISTÓRICO	3
2. DIAGNÓSTICO Y DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA EXISTENTE	5
3. PAVIMENTOS	8
3.1. DESCRIPCIÓN GENERAL	8
3.2. CONCEPTOS	9
3.3. CAPAS DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE	10
3.3.1. Sub-rasante	10
3.3.2. Sub-base	10
3.3.3. Base	10
3.3.4. Capa asfáltica	11
3.4. FUNCIONES DE LAS CAPAS DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE	12
3.4.1. Funciones de la sub-base	13
3.4.2. Funciones de la base	14
3.4.3. Funciones de la carpeta asfáltica	15
3.5. FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL DISEÑO Y CONPORTAMIENTO DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE	15
3.5.1. Localización de la obra	15

3.5.2. Características de los materiales de la explanación y de la capa sub-rasante	17
3.5.3. El Clima	18
3.5.4. El Tránsito	18
3.5.5. Factores Intrínsecos	20
4. EVALUACIÓN SUPERFICIAL O FUNCIONAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES	24
4.1. GENERALIDADES	24
4.2. CONCEPTO Y CLASIFICACIÓN DE DAÑOS	25
4.2.1. Deformaciones	25
4.2.2. Fisuras	28
4.2.3. Desprendimientos	32
4.2.4. Bacheo tapado y Bacheo destapado	34
4.2.5. Otros daños	34
4.3. COMBINACIÓN DE FALLAS	38
4.4. REQUISITOS BÁSICOS DE LA EVALUACIÓN DE FALLAS EN UN PAVIMENTO	39
4.5. UTILIDAD DE LA EVALUACIÓN DEL ESTADO SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO	40
5. EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS	43
5.1. DEFORMACIONES DEL PAVIMENTO	43
5.1.1. Deformaciones Permanentes	43
5.1.2. Deformaciones Transitorias o deflexiones	45

5.2. FASES DE LA VIDA DEL PAVIMENTO FLEXIBLE	46
5.2.1. Fase de consolidación	46
5.2.2. Fase elástica	46
5.2.3. Fatiga	47
5.3. Empleo de la Viga Benkelman de Doble Brazo en la Evaluación de Pavimentos Flexibles	47
5.3.1. Viga Benkelman de Doble Brazo	47
5.3.2. Equipo necesario para la evaluación	51
5.3.3. Descripción de la Viga Benkelman	52
5.3.3.1. Partes y dimensiones del equipo	53
5.3.3.2. Constante de la viga	53
5.3.3.3. Instalación de la viga	55
5.3.4. Procedimiento para el ensayo según la Norma E-795	56
5.3.5. Error en las medidas	60
5.3.6. Ventajas e inconvenientes de las deflexiones	60
5.3.7. Influencia de la temperatura en pavimentos flexibles	62
5.3.8. Cálculos	63
5.3.9. Presentación de resultados	68
6. EVALUACIÓN GEOTÉCNICA	70
6.1. PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LOS SUELOS	70
6.1.1. Contenido de humedad	70
6.1.2. Granulometría por tamizado mecánico	71
6.1.3. Límites de consistencia de un suelo	74

6.1.3.1. Límite Líquido	74
6.1.3.2. Límite Plástico	76
6.2. CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS	78
6.2.1. Clasificación de suelos Método AASHTO	78
6.2.2. Clasificación Unificada de Suelos (U.S.C)	80
7. VARIABLE TRÁNSITO	82
7.1. ASPECTOS RELACIONADOS CON EL TRÁNSITO QUE INTERVIENEN EN EL DISEÑO	82
7.2. DEFINICIONES	84
7.2.1. Vehículos comerciales	84
7.2.2. Vehículos livianos	84
7.2.3. Eje Simple o Sencillo	85
7.2.4. Eje Tandem o Doble	85
7.2.5. Eje Tridem o Triple	86
7.2.6. Volumen de Tránsito	86
7.2.7. Tránsito Promedio Diario	86
7.2.8. Tránsito Atraído	87
7.2.9. Tránsito Generado	87
7.2.10. Tránsito Existente	87
7.2.11. Tránsito Inducido	87
7.3. NOMENCLATURA	88
7.4. CARGA MÁXIMA LEGAL	89
8. REHABILITACIÓN DE PAVIMENTOS FLEXIBLES	90

8.1. GENERALIDADES	90
8.2. MÉTODOS PARA EL CÁLCULO DE REFUERZO	91
8.2.1. Métodos basados en asimilación de los dimensionamientos de pavimentos nuevos	91
8.2.2. Métodos Empíricos basados en las deflexiones	91
8.3. Rehabilitación de pavimentos flexibles por Métodos Racionales	92
8.3.1. Evaluación del pavimento existente	92
8.3.2. Tramificación en zonas homogéneas	92
8.3.3. Modelación del pavimento	92
9. ESTUDIO Y ANÁLISIS DEL TRAMO DE PAVIMENTO COMPRENDIDO ENTRE EL PR 127+140 – PR 116+640 DE LA VÍA PEDREGAL-TUQUERRES	94
9.1. EVALUACIÓN SUPERFICIAL O FUNCIONAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EXISTENTE	94
9.2. EVALUACIÓN ESTRUCTURAL	95
9.2.1. Evaluación deflectométrica	95
9.2.2. Exploración geotécnica preliminar	96
9.3. ANÁLISIS DE LA EVALUACIÓN DEFLECTOMÉTRICA	96
9.4. SECTORIZACIÓN	96
9.5. IDENTIFICACIÓN DE ABSCISAS REPRESENTATIVAS	99
9.6. EVALUACIÓN GEOTÉCNICA	100
9.6.1. Análisis y conclusiones de la evaluación geotécnica	100

9.6.1.1.	Perfiles estratigráficos	100
9.6.1.2.	Sub-rasante	101
9.6.1.3.	Capacidad de soporte de la Sub-rasante	101
9.6.1.4.	Análisis de afirmado, sub-base y base granular	103
9.7.	CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES CONSTITUTIVOS DE LAS CAPAS DEL PAVIMENTO A REFORZAR	106
9.7.1.	Módulo de Resiliencia de la Sub-rasante	106
9.7.2.	Módulos de Elasticidad de las capas granulares	106
9.7.3.	Módulos de Elasticidad de los Concretos Asfálticos	106
9.7.4.	Módulos de Poisson	107
10.	DISEÑO DE LAS ALTERNATIVAS DE REHABILITACIÓN DEL TRAMO DE PAVIMENTO COMPRENDIDO ENTRE EL PR127+140 AL PR 116+340 DE LA VÍA PEDREGAL-TUQUERRES	108
10.1.	MODELACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS INICIALES	108
10.2.	MODELACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS FINALES DE DISEÑO	113
10.3.	PROYECCIÓN Y CÁLCULO DEL TRÁNSITO DE DISEÑO	119
10.4.	CÁLCULO DE LOS PARÁMETROS ADMISIBLES	120
10.4.1.	Deformación Horizontal Admisible por Flexo-tracción	120
10.4.2.	Esfuerzo Vertical de Compresión Admisible sobre la Sub-rasante	120
10.5.	DISEÑO DE LA SOLUCIÓN DE REFUERZO UTILIZANDO EL MÉTODO RACIONAL (PROGRAMA DEPAV)	121

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	123
BIBLIOGRAFIA	128
ANEXOS	130

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Gradación “C” del Instituto del Asfalto.	12
Tabla 2. Factores que afectan el diseño y comportamiento de un pavimento flexible.	16
Tabla 3. Daños en los Pavimentos Flexibles.	41
Tabla 4. Causas posibles de los daños en Pavimentos Flexibles.	42
Tabla 5. Distancia del punto de ensayo hasta el borde del Pavimento.	57
Tabla 6. Coeficiente corrector por condiciones ambientales.	67
Tabla 7. Clasificación de suelos por el Método AASHTO.	79
Tabla 8. Sectorización de la vía.	97
Tabla 9. Abscisas representativas de los sectores homogéneos.	99
Tabla 10. Resultados de la prueba de C.B.R. de campo	101
Tabla 11. Datos de C.B.R. de la sub-rasante determinados por medio del Cono Dinámico de Penetración.	102
Tabla 12. Especificaciones Granulométricas para material de Sub-base.	104
Tabla 13. Especificaciones Granulométricas para material de base.	104
Tabla 14. Requisitos de los materiales para afirmados, sub-bases	105

granulares y bases granulares.

Tabla 15. Módulos de Poisson.	107
Tabla 16. Módulos equivalentes de las estructuras iniciales (sub-base + capa granular).Factores daño.	110
Tabla 17. Modelación Estructuras Iniciales	111-112
Tabla 18. Modelación Estructuras Finales de diseño.	117-118
Tabla 19. Factores Daño	119
Tabla 20. Cuadro resumen “Chequeo racional de la nueva estructura del pavimento” MÉTODO INPACO (UNICAUCA).	121
Tabla 21. Resumen Final Estructuras con refuerzo	122

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Diagrama de la Viga Benkelman	50
Figura 2. Diagrama Radio de Curvatura	69
Figura 3. Carta de Plasticidad de Casagrande	81
Figura 4. Incidencia de la velocidad en los esfuerzos	83
Figura 5. Eje Simple o Sencillo	85
Figura 6. Eje Tandem o Doble	85
Figura 7. Eje Tridem o Triple	86
Figura 8. Tipo de vehículos comerciales	88
Figura 9. Ejemplo cálculo del Módulo de Elasticidad Equivalente (Sub-base + capa granular sector 1)	109
Figura 10. Estructura modelizada sector 1 PR 116+340-PR 119+215	114
Figura 11. Estructura modelizada sector 2 PR 119+215-PR 120+965	114
Figura 12. Estructura modelizada sector 3 PR 120+965-PR 123+415	114
Figura 13. Estructura modelizada sector 4 PR 123+415-PR 124+440	114
Figura 14. Estructura modelizada sector 6 PR 125+040-PR 125+315	115
Figura 15. Estructura modelizada sector 7 PR 125+315-PR 125+740	115
Figura 16. Estructura modelizada sector 8 PR 125+740-PR 126+090	115
Figura 17. Estructura modelizada sector 9 PR 126+090-PR 126+590	115
Figura 18. Estructura modelizada sector 10 PR 126+590-PR127+140	116

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1. Carteras de campo.

ANEXO 2. Carteras de deflexiones calculadas.

ANEXO 3. Inventario de daños de un pavimento flexible.

ANEXO 4. Análisis estadístico de los datos suministrados por la Viga Benkelman.

ANEXO 5. Tránsito de diseño.

ANEXO 6. Modelación estructuras iniciales.

ANEXO 7. Modelación estructuras finales de diseño.

ANEXO 8. Evaluación geotécnica.

ANEXO 9. Diseño de la solución de refuerzo.

ANEXO 10. Fotografías.

GLOSARIO

ASFALTO: betún negro, sólido obtenido de la destilación natural del petróleo, material empleado para pavimentar.

BASTIDOR: armazón metálico de donde se apoya la parte móvil de la Viga Benkelman.

COEFICIENTE DE POISSON: relación entre la deformación horizontal y deformación vertical inducidas en el pavimento por acción de una carga.

DEFLECTÓMETRO: es un medidor que posee una escala graduada donde se pueden tomar las lecturas de deflexión y de radio de curvatura.

DEFLEXIÓN: deformación elástica vertical puntual, producida por una carga patrón de diseño.

MÓDULO RESILIENTE: módulo de elasticidad de la sub-rasante.

PAVIMENTO: Superestructura de una obra vial que hace posible el tránsito de los vehículos con comodidad, seguridad y economía previstas en un proyecto.

REFUERZO: capa de concreto asfáltico o hidráulico que se construye sobre un pavimento existente para mejorar su capacidad estructural y funcional.

VIGA BENKELMAN: Equipo que permite obtener lecturas de deflexión y radio de curvatura a través de un brazo suspendido de un bastidor.

RESUMEN EJECUTIVO

El diseño de pavimentos no debe limitarse a establecer unos espesores de acuerdo a una serie de variables que inciden en el, y que para el diseñador serán tanto más confiables, cuanto más se acerquen a las condiciones reales de comportamiento de la estructura.

En Colombia el estado actual del arte de los pavimentos lleva consigo fundamentos de origen empírico que deben ser verificados una vez estén construidas las estructuras que se hayan diseñado.

Con los actuales métodos racionales, se puede prever la deflexión que puede sufrir un pavimento de tipo flexible al estar sometido a la carga transmitida por un eje patrón de diseño. Este concepto se hace más relevante en los diseños para rehabilitación de pavimentos en donde se comienza a modelar una estructura de acuerdo a una serie de deflexiones medidas en el campo. La estructura se caracteriza de acuerdo a unos módulos dinámicos, coeficientes de poisson, características del suelo de sub-rasante (Módulo Resiliente) y con los espesores de cada una de las capas del pavimento, tales que en conjunto representen las condiciones estructurales del mismo.

Una vez definida la estructura existente y una serie de variables que inciden en el diseño, se puede establecer la solución de rehabilitación más adecuada, de la que igualmente se espera un comportamiento estructural que puede ser definido mediante una evaluación deflectométrica. Este comportamiento previsto en el diseño debe ser verificado a medida que se realiza los trabajos constructivos, mediante la medida de deflexiones con la viga Benkelman, para que el consultor pueda constatar que lo que realmente diseñó se ajuste a lo que quiere construir, y pueda garantizar con mayor veracidad la vida útil del pavimento proyectado. Igualmente servirá para comenzar a tener en el tiempo la estadística que muestra el comportamiento del pavimento, si se continua con un seguimiento programado de la evaluación estructural y detalles del pavimento.

Con base en lo anterior se ha elaborado un proyecto, cuyo principal fin es dar las posibles soluciones de rehabilitación y optimizar la estructura existente del sector comprendido entre el PR 116+340 al PR 127+140 de la vía Pedregal – Túquerres, mediante una evaluación previa y el posterior diseño de las obras de mejoramiento, de tal forma que la solución de rehabilitación se utilice ventajosamente en la estructura existente.

El proceso a seguir empieza con la realización de una inspección visual del estado actual del tramo de pavimento en estudio, efectuando con ésta una determinación de todos los deterioros y fallas observadas en la superficie de rodadura con la

posterior selección del carril más deteriorado en el cual se adelantarán los estudios pertinentes a la rehabilitación.

Se efectuó la división del tramo de estudio en sectores homogéneos, los cuales fueron definidos mediante el estudio deflectométrico, geotécnico e inspección visual.

Con el objetivo de facilitar y agilizar las labores de investigación y recopilación de datos de las siguientes etapas del proyecto se realizó un plan de trabajo que tiene el siguiente orden:

- Recopilación de información bibliográfica sobre la estructura actual.
- Aspectos teóricos sobre las características de los pavimentos flexibles como son historia, principios básicos y factores que afectan su comportamiento y diseño.
- Evaluación superficial de la capa de rodadura para la realización del inventario de fallas.
- Realización de una inspección y evaluación del sistema de drenaje.
- Realización del estudio deflectométrico a lo largo del tramo de vía en estudio para determinar la capacidad estructural del pavimento en análisis.

- Estudio geotécnico que consiste en un estudio de campo, realizándose apiques y sondeos sobre distintos sitios que fueron previamente elegidos con base al estudio deflectométrico, con el fin de realizar los ensayos de laboratorio necesarios sobre las muestras obtenidas en las diferentes capas constitutivas del pavimento.
- Finalmente, una vez recolectada toda la documentación necesaria de evaluación, mantenimiento y rehabilitación de pavimentos flexibles y definidas y analizadas todas las variables correspondientes se procede a la determinación de las alternativas de rehabilitación o mejoramiento de los sectores que así lo ameriten.

EXECUTIVE SUMMARY

The pavements design should not be limited to establish some thicknesses according to a series of variables that impact in it, and that for the designer will be so much more reliable, how much more are approached the real behavior conditions of the structure.

In Colombia the current state of the art of the pavements carries with itself bases of empirical origin that they should be verified once are built the structures that they may have designed.

With the current rational methods, it can be anticipated the deflection that it can suffer a pavement from flexible type to be submitted to the load transmitted by a shaft design standard. This concept is made more relevant in the designs for pavements rehabilitation in which is started to model a structure according to a series on deflections measures in the field. The structure is characterized according to some dynamical modules, coefficients of "poisson", characteristic of the soil of sub - level you (Module Resiliente) and with the thicknesses of each one of the caps of the pavement, such that by and large represent the structural conditions of the same.

Once it defined the existing structure and a series of variables that impact in the design, it can be established the solution of rehabilitation more adequate, of the one which equally is waited a structural behavior that it can be defined through a deflectometric evaluation. This behavior anticipated in the design must be verified while is accomplished the constructive projects, through the measure of deflections with the girder Benkelman, so that the consultant could verify that it actually designed is adjustment that he wants to build, and could guarantee with greater veracity the useful life of the projected pavement. Equally it will serve to begin to have in the time the statistics that shows the behavior of the pavement, if is continuous with a programmed follow-up of the structural evaluation and details of the pavement.

Based on the foregoing has been elaborated a project, whose principal target is to give the possible solutions of rehabilitation and to optimize the existing structure of the sector included between PR 116+340 to the PR 127+140 of the route Pedregal - Túquerres, through a previous evaluation and the subsequent design of the works of improvement, of such form that the solution of rehabilitation is used advantageously in the existing structure.

The process to follow begins with the accomplishment of a visual inspection of the current state of the pavement section in study, effecting with this a determination of all the deteriorations and defects observed in the tread surface with the

subsequent selection of the rail more deteriorated in the one which will be advanced the relevant studies to the rehabilitation.

It was effected the division of the study section in homogeneous sectors, which were defined through the deflectometric study, geotecnic and visual inspection.

With the objective of facilitating and facilitating labors of investigation and data summary of the following stages of the project was accomplished a work plan that has the following order:

- Bibliographical information Summary on the current structure.

- Theoretical aspects on the characteristics of the flexible pavements as are history, basic principles and factors that affect its behavior and design.

- Superficial evaluation of the tread cap for the accomplishment of the defects inventory.

- Accomplishment of an inspection and evaluation of the drainage system.

- Accomplishment of the deflectometric study to what is long of the route section in study to determine the structural capacity of the pavement in analysis.

- Geotecnic study that consists of a field study, being accomplished “apiques” and polls on different sites that they were previously elected with base to the deflectometric study, in order to accomplish the necessary laboratory trials on the samples obtained in the different constitutive caps of the pavement.

- Finally, once gathered all the necessary evaluation documentation, maintenance and flexible and defined pavements rehabilitation and analyzed all the corresponding variables is proceeded to the determination of the rehabilitation or improvement alternatives of the sectors that thus it ameriten.

INTRODUCCIÓN

La red vial pavimentada de cualquier país representa un elemento valioso en la integración de los pueblos y en el intercambio de la producción de las diferentes regiones, razón por la cual es indispensable un eficiente mantenimiento preventivo y correctivo para facilitar la adaptación a los elementos que la solicitan tales como los automóviles, buses y vehículos de carga.

Dentro de la red vial de nuestro país, se tienen una infinidad de estructuras de pavimentos, destacándose en un elevado porcentaje la utilización de pavimentos flexibles, sobre todo en la red nacional de carreteras, situación que amerita dentro de este tipo de pavimentos un estudio adecuado para su dimensionamiento, construcción y conservación, para justificar y garantizar las importantes inversiones que normalmente se realizan dentro del sector vial.

En la actualidad la vía en estudio es un eje vital de comunicación, comercio y turismo, ya que comunica el interior del país con la Costa Pacífica, actividades que de una u otra forma representan divisas regionales. Para que estas actividades se realicen normal y permanentemente, se hace necesario que esta carretera permanezca en las mejores condiciones posibles, evitando así los inconvenientes que trae un pavimento en mal estado.

Los pavimentos durante su vida de servicio no siempre se van a encontrar en condiciones excelentes, sin tener que realizar trabajos de mantenimiento con los cuales se prolongará la vida de servicio de la carretera buscándose así los máximos beneficios a partir de las inversiones realizadas con un claro sentido social.

Aplicando las especificaciones óptimas que debe tener un pavimento, al sector de estudio, este presenta un deterioro que es prematuro para el tiempo que lleva en servicio la vía después de ejecutados los trabajos de rehabilitación.

Por lo tanto el objetivo de este estudio es evaluar superficial y estructuralmente el sector en mención y con base a esto dar las posibles soluciones de rehabilitación y mejoramiento en los lugares que así lo requiera, proporcionando diseños, conclusiones y recomendaciones que se estime convenientes para las condiciones presentadas en el estudio realizado.

1. MARCO HISTÓRICO

El asfalto puede definirse como un material de color oscuro, que puede tener consistencia líquida, semi-sólida o sólida, compuesto principalmente por hidrocarburos casi en su totalidad. Proviene de yacimientos naturales o como un residuo de la refinación de determinados crudos de petróleo; sus propiedades aglutinantes, físicas y químicas los hacen aptos para un sin número de aplicaciones.

El asfalto es un material aglomerante resistente, muy adhesivo, altamente impermeable y duradero. Además, es altamente resistente a la mayor parte de los ácidos, álcalis y sales.

El asfalto está identificado como uno de los ligantes más antiguos empleados por el hombre, pues se tiene conocimiento de su uso como impermeabilizante, alrededor del año 3800 a. de c. (Mesopotamia). El asfalto que se utilizó en épocas próximas a la nuestra fue el asfalto natural, el cual se encuentra en la naturaleza, en forma de yacimientos que pueden explotarse sin dificultad y cuyo empleo no requiere de operaciones industriales de ningún tipo para su preparación.

La historia del asfalto data desde hace mucho tiempo pero entre 1870 y 1876 se construyeron los primeros pavimentos de lámina asfáltica en Newark (Nueva Jersey)

y en Washington. La construcción de carreteras como ciencia aparece hacia 1850 en Europa con métodos ideados por Tresaguet, Telford y Macadam para la construcción de caminos con una superficie regular de rodadura, sin embargo las actividades de investigación, mantenimiento, y rehabilitación comenzaron a partir de los años 1958 – 1960 en Estados Unidos; interpretando la vida del pavimento en dos ciclos, uno de diseño y otro de rehabilitación.

2. DIAGNÓSTICO Y DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA EXISTENTE

Debido a que un pavimento va fallando en forma gradual, progresiva y continua, es indispensable que su evaluación se haga en forma periódica y sistemática, para continuar con una base de datos histórica de los pavimentos recién construidos o rehabilitados y así prever su comportamiento a través de su vida de servicio.

No debe esperarse que el pavimento presente signos muy evidentes de deterioro para disponer la realización de un estudio, sino que este debe ser una tarea más de rutina y poder darnos las medidas preventivas y correctivas a tiempo.

En general el tramo de vía en estudio se caracteriza por presentar diversos tipos de fallas, unas más predominantes que otras, pero que de manera superficial se pueden apreciar las siguientes:

- Fisuras leves en bloque.
- Fisuras longitudinales y transversales en las huellas del tránsito.
- Corrimiento de la carpeta asfáltica en algunos puntos bien definidos.
- Hundimientos en sitios puntuales.

El sistema de drenaje es el adecuado contando con un gran número de alcantarillas con diámetros de 24" y 36" , box culvert, y cunetas a lo largo de toda la longitud del tramo excepto en algunos puntos en donde no existe, pero de manera general el sistema de drenaje se considera bueno, ya que las estructuras son capaces y suficientes para trabajar en las actuales condiciones de servicio.

Se presenta un sector comprendido entre las abscisas PR 124+440 AL PR 125 + 040 que debido al alto deterioro que presenta se puede caracterizar como un pavimento muy fatigado que en sus treinta años aproximadamente de servicio, no ha recibido ningún proceso de rehabilitación, con lo que se incrementaría su capacidad estructural y funcional. En la actualidad éste sector necesita una solución de reconstrucción; tema que no será tratado en éste trabajo de grado ya que el objetivo principal es el estudio de la rehabilitación y no de la reconstrucción de pavimentos. En éste sector se puede apreciar todo tipo de fallas entre las que se puede citar:

- Continuo y excesivo parcheo
- Grietas en bloque
- Piel de cocodrilo
- Ojos de pescado
- Desprendimientos de agregado
- Abultamientos
- Hundimientos

- Afloramiento de finos
- Desplazamiento de borde, entre otros.

Lo que respecta a obras de drenaje se puede observar una inexistencia generalizada de cunetas y un deficiente funcionamiento de las alcantarillas, debido a sus características estructurales y geométricas inadecuadas para las condiciones existentes de trabajo, aunque se les practique un adecuado y eficiente mantenimiento.

3. PAVIMENTOS

3.1. DESCRIPCIÓN GENERAL

La estructura y orden de los elementos que constituyen un pavimento hacen variar las características del mismo, pudiendo estar formado por una sola capa, o con mayor frecuencia por varias capas formadas por materiales que han sido sometidos a diversos procesos de selección, con lo que se busca obtener una estructura que brinde seguridad a los usuarios, sea funcional y económica tanto superficial como estructuralmente.

En la actualidad existen diversidad de secciones estructurales dejando al criterio del Ingeniero cual se acomode mejor a las condiciones existentes. Con fines prácticos se han dividido en dos grandes grupos, los pavimentos rígidos y los pavimentos flexibles pero la flexibilidad o no de estos es difícil de definir ya que no se puede determinar que tan flexible puede ser un pavimento rígido o que tan rígido puede ser un pavimento flexible. El hecho más importante en la diferenciación y definición se realiza en término de los materiales que lo constituyen y, como se estructuran los materiales y no por la forma de distribuir los esfuerzos y las deformaciones producidas por los vehículos sobre las capas inferiores.

3.2. CONCEPTOS

Entre algunas definiciones se tiene las siguientes:

- Estructura de una o más capas que se diseñan y construyen técnicamente con materiales apropiados sobre la sub-rasante de una vía, de manera que permita el rodamiento de los vehículos con rapidez, comodidad, seguridad y economía. (1)
- Un pavimento es un conjunto de capas de materiales seleccionados, comprendidas entre el nivel superior de la subrasante y la superficie de rodamiento. Cuyas principales funciones son las de proporcionar una superficie de rodamiento uniforme, de color y textura apropiados, resistente a la acción del tránsito, al clima y a otros agentes perjudiciales, así como transmitir en forma adecuada a la subrasante los esfuerzos producidos por las cargas impuestas por el tránsito. (2)
- El pavimento es la superestructura de una obra vial, que hace posible el tránsito expedito de los vehículos con la comodidad, seguridad y economía previstas en un proyecto. (3)
- Se considera un pavimento flexible aquel cuyo elemento fundamental resistente sea una carpeta de concreto asfáltico.

- Pavimento flexible, es el que tiene una base flexible, sobre la cual se ha construido una capa de rodamiento formada por una mezcla bituminosa o asfalto. (4)

3.3. CAPAS DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE

3.3.1. Subrasante. Es aquella parte de la corteza terrestre sobre la cual se apoya una obra vial y que va a ser afectada por la misma, llevará las secciones transversales y pendientes especificadas, y es la que soportará finalmente las cargas producidas por el tráfico. (1)

3.3.2. Sub-base. Capa comprendida entre la subrasante y la base, formando una capa de transición entre los materiales de la subrasante (finos) y los gruesos de la base, para así evitar la contaminación de la una con la otra además de transmitir los esfuerzos a la subrasante y absorber los cambios volumétricos producidos por ésta. Contribuye igualmente a reducir los costos de un pavimento de acuerdo a su espesor y propiedades que pueden ayudar a un óptimo drenaje.

3.3.3. La base. Se encuentra bajo la capa de rodadura y sobre la sub-base o en algunos casos directamente sobre la subrasante. Constituida por materiales pétreos seleccionados los cuales deben poseer una elevada resistencia a la deformación debido a su proximidad a la capa de rodadura. Posee materiales de mayor calidad que la Sub-base.

3.3.4. Capa asfáltica. Capa compuesta por materiales seleccionados, principalmente los pétreos y productos bituminosos, llegándose a utilizar aditivos, entre otros. Proporciona a los vehículos una superficie segura, de textura apropiada, uniforme e impermeable.

En algunos casos donde el espesor de la capa asfáltica sea considerable como resultado del diseño, para reducir costos se puede optar por una capa denominada base asfáltica, localizada en la parte inferior de la de rodadura, construyendo así dos capas.

La base asfáltica tiene como funciones impedir la reflexión de grietas del pavimento, mejorar la carpeta de rodadura, mejorar la capacidad de soporte además de disminuir los costos como ya se ha dicho. Para cumplir eficientemente estas funciones debe tener una granulometría “abierta” (recomendada la denominada gradación “C” del Instituto del Asfalto) con una variación uniforme de los tamaños más gruesos (1 1/2 pg) a los finos (pasa 200). Debe tener contenidos de asfalto del orden del 3%, en peso, sobre la mezcla total.

Tabla 1. Gradación “C” Del Instituto del Asfalto.

TAMIZ	PORCENTAJE QUE PASA
2 1/2 pg	100
1 1/2 pg	95 - 100
3/4 pg	60 - 80
No.4	25 - 45
No. 8	15 - 35
No. 50	3 -20
No. 200	0 - 5

3.4. FUNCIONES DE LAS CAPAS DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE

Un pavimento para cumplir adecuadamente sus funciones debe tener las siguientes características*:

- Ser resistente a la acción de cargas impuestas por el tránsito.
- Resistente al intemperismo.
- Textura apropiada para el rodamiento con buena fricción que evite el deslizamiento.
- Durable.
- Facilitar el drenaje del camino.

* MUÑOZ R, Guillermo, Pavimentos de Concreto Asfáltico. Editorial Universitaria. Universidad de Nariño, Segunda Edición, San Juan de Pasto, 2000. P.2

- Seguridad a los usuarios. (tránsito)
- Bajos costos.
- Paisajístico.
- Buena apreciación visual con un color adecuado para evitar reflejos y deslumbramiento.

3.4.1. Funciones de la Sub-base.

- Económica. 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 sean menor o igual que su propia resistencia, puede ser construida con materiales de alta calidad, sin embargo es preferible distribuir las capas más calificadas 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 económica. (1)
- Capa de transición. Impide la penetración de los materiales que constituyen la base con los de la subrasante y por otra parte actúa como filtro de la base impidiendo que los finos de la subrasante la contaminen menoscabando su calidad. (1)

- Disminución de deformaciones. Algunos cambios volumétricos de la capa subrasante generalmente asociados a cambios en su contenido de agua (expansiones), pueden absorberse con la capa de subbase impidiendo que dichas deformaciones se reflejen en la superficie de rodamiento. (1)
- Resistencia. La subbase debe soportar los esfuerzos transmitidos por la carga de los vehículos a través de las capas superiores y comunicarlos a un nivel adecuado a la subrasante. (1)
- Drenaje. Actuar como dren para desalojar el agua que se infiltre al pavimento.

3.4.2. Funciones de la base.

- Resistencia. Proporciona un elemento resistente que transmite a la subbase y a la subrasante los esfuerzos producidos por el tránsito en una intensidad apropiada. (1)
- Económica. Respecto a la carpeta asfáltica, la base tiene una función económica análoga a la que tiene la subbase con respecto a la base. (1)
- Drenaje. Drenar el agua que se introduzca a través de la carpeta o por las bermas.

3.4.3. Funciones de la carpeta asfáltica.

- Superficie de rodamiento. Proporcionar una superficie uniforme y estable al tránsito, con textura y color conveniente y además resistir los efectos abrasivos del tránsito. (1)
- Impermeabilidad. Hasta donde sea posible debe impedir el paso del agua al interior del pavimento.
- Resistencia. Dependiendo del tipo de carpeta asfáltica, esta deberá aportar resistencia a la estructura del pavimento especialmente si su espesor es superior a 3 pulgadas.

3.5. FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL DISEÑO Y COMPORTAMIENTO DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE

Existen diferentes tipos de factores que inciden en el diseño, comportamiento y construcción final de un pavimento flexible como se indica a continuación (Tabla 2).

A continuación se describe brevemente cada uno de estos aspectos:

3.5.1. Localización de la obra.

Entre los que se tiene:

- Secciones en Corte o Relleno. El pavimento está afectado por las condiciones de drenaje existentes ya sea en corte o terraplén, prestándose principal atención a sitios donde se presente intersección de un corte y un terraplén debido a que el flujo de agua puede introducirse al terraplén ocasionando asentamientos o deslizamientos.

Tabla 2. Factores que afectan el diseño y comportamiento De un pavimento flexible.*

Localización de la obra. - Secciones en corte o relleno. - Posición del nivel freático. - Deslizamientos y problemas afines.
Características de los materiales de la explanación y de la capa subrasante.
El Clima Lluvias Cambios de temperatura Otros (humedad y presión atmosférica, vientos, nubosidad, etc.
El Tránsito - Peso de los vehículos. - Disposición de las llantas. - Presión y área de contacto de las llantas. - Número de aplicaciones de carga. - Velocidad. - Impacto. - Mezcla del tránsito.
Factores intrínsecos. - Resistencia estructural. - Deformabilidad. - Durabilidad. - Costo. - Conservación. - Comodidad.

* SANCHEZ SABOGAL, Fernando. Pavimentos: Fundamentos Teóricos Guías para el diseño. Bogotá, Universidad la Gran Colombia 1984, Tomo 1

- Posición del nivel freático. Factor muy importante para un pavimento ya que dependiendo de su proximidad a la superficie, la subrasante será más húmeda o menos húmeda trayendo como consecuencia una disminución de su resistencia. El nivel freático se controla fácilmente, con la construcción de sistema de drenaje los cuales captan, condensan y alejan del camino el agua que puede causar problemas.
- Deslizamientos y problemas afines. Son muy frecuentes a lo largo de la vida útil de un pavimento por lo que se debe evitar construir sobre terrenos inestables o taludes de cortes muy escarpados.

3.5.2. Características de los materiales de la explanación y de la capa subrasante.

No obstante que la explanación se encuentra a una distancia gradual de las cargas móviles que transitan sobre el pavimento, su comportamiento como estructura deja sentir su influencia en él. (5)

Por muy buena que se encuentre la estructura de un pavimento, si la estructura inicial de apoyo no posee las características adecuadas se presentarán en un futuro cercano consecuencias muy difíciles de corregir. Por lo tanto en un comienzo se deberán efectuar estudios rigurosos y así prever los posibles problemas con los que se enfrentará al igual que sus respectivas soluciones.

3.5.3. El clima. Es el conjunto de las condiciones atmosféricas de una región geográfica determinadas por los valores medios de temperatura , humedad, presión, régimen de lluvias, vientos y nubosidad. (5)

De los factores que más afectan en nuestro medio el diseño, construcción y mantenimiento de los pavimentos, son las lluvias y las variaciones de temperatura. Las primeras, ya sea por su acción directa o por la elevación que provocan en el nivel freático, puesto que la variación en el contenido de agua afecta notoriamente la resistencia de un suelo, así como su compresibilidad y cambios volumétricos. El régimen de lluvias afecta también el programa de construcción del pavimento, puesto que hay operaciones como el movimiento de tierras y la colocación de capas asfálticas que solo pueden realizarse correctamente durante periodos más o menos secos.

El efecto de los cambios de temperatura es menos conocido, pero se puede afirmar que debido a una alta susceptibilidad térmica del asfalto, es de esperar que el aumento de temperatura produzca una disminución en el módulo de elasticidad de las capas asfálticas, las cuales sufrirán deformaciones molestas para los usuarios si la estabilidad de las mezclas asfálticas no es adecuada para las mayores temperaturas de servicio que se esperan.

3.5.4 . El tránsito. Se define como el conjunto de vehículos que circulan por una obra vial, los cuales producen la mayor parte de los esfuerzos a que va a estar sujeta la estructura de la misma.

- Disposición de las llantas. Los vehículos presentan tres arreglos típicos en sus llantas: Eje simple, Eje tándem y Eje tridem. Estos sistemas de disposición de las llantas son muy importantes en el diseño de un pavimento, por cuanto bajo un punto de el se generan esfuerzos y deformaciones no solo por la acción de la carga actuante en dicho punto, sino también por la frecuencia de su aplicación.
- Presión y área de contacto de las llantas. Generalmente se considera que la presión de inflado de una llanta es igual a la presión de contacto de ésta con la superficie de rodamiento.

El área de contacto se puede obtener con la siguiente fórmula:

$$\text{Área de contacto} = \frac{\text{carga total de la llanta}}{\text{Presión de inflado}}$$

- Número de aplicaciones de la carga. Afecta el diseño de un pavimento ya que entre mayores aplicaciones se produzcan, mayor será el espesor de capa requerido.
- Velocidad. Puesto que las cargas actuantes sobre un pavimento se encuentran por lo general en movimiento las llantas de los vehículos producen efectos de roce y succión que tienden a desgastar la superficie de rodamiento.

Los esfuerzos verticales sobre el pavimento disminuyen con el incremento de la velocidad.

- Impacto. Este fenómeno se presenta en sitios donde los pavimentos de carreteras se unen con puentes u otras estructuras, así mismo cuando hay cambios bruscos de pendiente, o en las juntas transversales de los pavimentos rígidos.
- Mezcla del tránsito. La enorme variedad de vehículos que en la actualidad transitan por las carreteras, hace que sea un tanto complicada la determinación del efecto destructivo de cada tipo de vehículo.

Para mitigar esta influencia se han adoptado ejes, ruedas y vehículos de diseño, y aplicar factores de equivalencia, teórica o empíricamente determinados, para convertir las aplicaciones de todas las cargas actuantes a repeticiones equivalentes de dicha carga patrón de diseño.

3.5.5. Factores Intrínsecos. Además de los factores anteriormente nombrados, existen otros factores ligados a la esencia misma del pavimento, los cuales afectan su diseño, construcción y comportamiento; estos factores son:

- Resistencia estructural. Para cumplir con su función fundamental de resistencia, un pavimento debe cumplir con determinados requerimientos y es de vital importancia la elección de materiales que soportan las cargas impuestas, con el fin de que el comportamiento del pavimento como estructura sea satisfactorio en todos sus componentes y durante todo su periodo de diseño.
- Deformabilidad. En algunos aspectos importantes el problema de la deformabilidad de los pavimentos tiene un planteamiento opuesto al de la resistencia. La deformabilidad crece hacia la parte inferior de las capas de la estructura, interesando así en los niveles más profundos, pues es relativamente fácil que las capas superiores tengan niveles de deformación tolerables aún para los altos esfuerzos que en ellas actúan. (3)

El problema de la deformabilidad en el caso de los pavimentos flexibles es particularmente importante ya que estos deben diseñarse a modo que las deformaciones que sufre un pavimento flexible debido a las cargas de los vehículos permanezcan dentro de los límites tolerables. Las deformaciones de un pavimento pueden ser de dos tipos: elásticas o recuperables y plásticas o permanentes. Las primeras pueden cuantificarse en el campo mediante pruebas de placa, uso de algunos aparatos dinámicos, sónicos o eléctricos diseñados para tal efecto, o con el empleo de la viga Benkelman que es el aditamento más popular en nuestro medio. Las segundas (plásticas), los

métodos de diseño de laboratorio (C.B.R. Marshall, etc), tratan de prevenir en lo posible a los materiales del pavimento contra estas deformaciones.

Este estudio se realizó con la viga Benkelman, proceso que será descrito en capítulos posteriores.

- Durabilidad. La determinación de cuál debe ser el periodo de diseño de un pavimento, depende de una compleja serie de factores económicos y sociales. En una obra vial con escaso tránsito, la duración del pavimento puede ser mucho menor que la de una vía principal, de tal forma que la serie de reconstrucciones que entonces se requieran no superen el costo inicial del pavimento. Por el contrario en obras de muy alto tránsito y gran importancia económica se requerirán pavimentos muy duraderos a fin de no tener que recurrir a costosas interrupciones de un tránsito importante.

Una vez fijado el criterio que proporcione la duración deseada en el pavimento, se presenta el problema de tomar las medidas de carácter práctico para lograr dicho propósito, teniendo en cuenta que todos los factores mencionados influyen de una u otra manera sobre la duración del pavimento, siendo algunos de ellos de difícil cuantificación.

Por lo tanto la función de comportamiento de un pavimento con respecto a la durabilidad, se fija en base a normas casi totalmente empíricas y a apreciaciones de orden personal de los proyectistas. (5)

- Costo. Un pavimento deberá poseer óptimas características de estabilidad y resistencia, a un costo justo además de generar beneficios a la comunidad, tales como: disminución en el consumo de combustible, atenuación en el deterioro vehicular, facilidad en el transporte de carga y pasajeros entre otros. Por lo tanto se deberá hacer un estudio profundo e intenso de todas las alternativas posibles, respecto al tipo de pavimento que deba construirse analizando costos y beneficios.
- Conservación. El proyectista deberá tomar en cuenta adecuadamente, durante la etapa de estudio, los factores climáticos, la intensidad del tránsito, el futuro comportamiento de las explanaciones, las condiciones de drenaje superficial y subterráneo, así como la posible degradación que puedan sufrir los materiales del pavimento por la acción repetida de las cargas del tránsito, con el fin de tomar las previsiones necesarias conducentes a hacer que la conservación sea una tarea lo más razonable posible. (5)

Los descuidos de diseño y construcción se reflejan en una conservación costosa y aún en la necesidad de reconstrucciones, muchas veces prematuras.

El ingeniero de conservación, con base en esto, someterá el proyecto a mantenimiento sistemático luego de la construcción, o de lo contrario la vida del pavimento se reducirá en forma no prevista. (5)

4. EVALUACIÓN SUPERFICIAL O FUNCIONAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

4.1 . GENERALIDADES

La evaluación de un pavimento existente tiene como finalidad determinar su estado actual. Los métodos de evaluación varían ampliamente, desde el juicio individual de un técnico o usuario, en forma totalmente subjetiva, hasta el uso de equipos sofisticados. Los dos criterios sirven el mismo propósito aunque los resultados de ambos no deben esperarse que sean exactamente iguales. De ahí la necesidad de estandarizar las formas para describir la situación de un pavimento. (6)

Las dos categorías mejor aceptadas en la actualidad para el tema de evaluación de pavimentos son: la evaluación funcional y la evaluación estructural. (6)

En la evaluación funcional se indica básicamente cómo se comporta el pavimento desde el punto de vista de su superficie de rodamiento, la cual interesa al usuario de la vía. Este estudio incluye una inspección de la calzada, en la que se dará información de las características geométricas de la vía (longitud, velocidad de proyecto, radio de curvatura mínimo, pendiente longitudinal máxima, ancho de

calzada, ancho de bermas, etc.), inventario de daños (tipo, nivel de deterioro y localización). (6)

4.2. CONCEPTO Y CLASIFICACIÓN DE LOS DAÑOS*

Se denomina daño a todo tipo de deterioro que se presenta en la estructura del pavimento que afecte o pueda llegar a afectar la correcta circulación de los vehículos. (6)

El Instituto Nacional de Vías (INVIAS), ha clasificado los daños en 5 categorías principales, las cuales se pueden presentar en un pavimento flexible. Estas son:

4.2.1. Deformaciones. Son variaciones de los perfiles de los pavimentos con flecha apreciable a simple vista, del orden de 4 cm o más. Pertenecen a esta categoría los siguientes daños:

1) Asentamientos longitudinales simples y dobles.

- Descripción. Son depresiones longitudinales continuas a lo largo de las huellas del tránsito, con ó sin levantamiento de las áreas adyacentes.

* SANCHEZ SABOGAL, Fernando. Pavimentos: Materiales para la construcción, Evaluación de Pavimentos en servicio, diseño de obras de mejoramiento. Bogotá, Universidad la Gran Colombia. Segunda Edición. 1985. Tomo 2.

- Causas posibles de falla. Cargas del tránsito muy pesadas para las cuales el espesor total del pavimento es insuficiente. Pobre calidad y saturación del suelo de subrasante. Falta de estabilidad de las capas del pavimento.
- Criterio general de reparación. En la zona de mayor deterioro, remover el pavimento y reconstruir las partes afectadas.

Colocar una sobrecapa de refuerzo previa nivelación de la superficie del pavimento existente. Si la subrasante está saturada, colocar dispositivos de drenaje y subdrenaje.

2) Asentamientos transversales.

- Descripción. Depresiones del pavimento perpendicularmente al eje de la vía.
- Causas posibles de falla. Deficiente compactación en terraplenes de acceso a obras de arte, en transiciones corte-terraplén o en zanjas excavadas por compañías de servicios públicos. Deficiencias de compactación de alguna capa del pavimento en una franja determinada. Saturación de la subrasante.
- Criterio general de reparación. Levantar el pavimento en la zona afectada hasta la capa deficientemente compactada, densificarla adecuadamente y reconstruir el pavimento [...].

3) Media luna y depresiones.

- Descripción. Hundimiento en los bordes de la banca, generalmente de la forma circular o parecida a ella.
- Causas posibles de falla. Falta de estabilidad en los taludes del terraplén. Contaminación y/o heterogeneidad de la capa del pavimento. Densidad local insuficiente. Falta de alguna tubería de subdrenaje o subterránea.
- Criterio general de reparación. Ejecución de un parche reemplazando los materiales inadecuados.

4) Abultamientos longitudinales.

- Descripción. Ondulaciones o protuberancias de la superficie del pavimento.
- Causas posibles de falla. Baja estabilidad de la capa asfáltica, la cual ha sido sometida a cargas pesadas. Si se trata de una mezcla en vía, posible falta de curado de la mezcla. Zonas de frenado o estacionamiento sometidas a esfuerzos tangenciales por el tránsito. Deslizamiento de la carpeta sobre la base debido a un riego de liga excesivo o a la falta de éste.
- Criterio general de reparación. Remoción de la capa afectada, recompactación de la base, y colocación de una nueva carpeta. Si las ondulaciones no son

considerables pueden removerse utilizando una máquina fresadora, colocando posteriormente una capa sellante de adecuada estabilidad.

5) Desplazamiento de borde.

- Descripción. Corrimientos o distorsiones de la capa asfáltica en los bordes del pavimento por efectos de sobrepeso.
- Causas posibles de falla. Falta de adherencia de la capa de rodadura. Falta de contención por las bermas. Tránsito pesado y contaminación de las capas granulares. Baja estabilidad de la capa de rodadura. Absorción de agua por suelos expansivos.
- Criterio general de reparación. Reconstrucción de las zonas del pavimento dañadas (bacheo) y reconstrucción de las bermas.

4.2.2. Fisuras. Son fracturas visibles en la superficie de la capa de rodadura, pertenecen a esta categoría los siguientes daños:

1) Fisuras longitudinales.

- Descripción. Fisuras paralelas al eje del pavimento, en general cerca al borde y a las huellas del tránsito.

- Causas posibles de falla. Asentamiento del suelo de soporte del área agrietada. Cambios diferenciales de humedad en los suelos de subrasante. Deficiencias en drenaje superficial. Circulación de vehículos pesados muy cerca del borde del pavimento. Falta de sobrecancho en la base. Bermas muy angostas en zona de terraplén con taludes inestables. Fatiga del pavimento.
- Criterio general de reparación. Si el problema principal es el agua, colocar dispositivos de drenaje. Las grietas deben sellarse con asfalto líquido y arena o con una lechada asfáltica. Si se han producido asentamientos en el borde, recuperar el nivel con una capa asfáltica o reconstruir la parte afectada. Si el terraplén es muy angosto ampliarlo.

2) Fisuras transversales.

- Descripción. Fisuras perpendiculares al eje del pavimento.
- Causas posibles de falla. Juntas de trabajo deficientes. Asentamientos en el contacto corte-terraplén. Espesor insuficiente de pavimento.
- Criterio general de reparación. Sellamiento de grietas. Si hay insuficiencia de espesor colocar sobrecapa.

3) Fisuras de junta.

- Descripción. Fisuras longitudinales en la unión de 2 franjas de capa de rodadura en concreto asfáltico.
- Causas posibles de falla. Deficiente junta de trabajo. Falta de liga entre las 2 franjas de concreto asfáltico.
- Criterio general de reparación. Sellado de las grietas con asfalto líquido.

4) Fisuras parabólicas o Lengüetas.

- Descripción. Fisuras parabólicas en la capa de rodadura generalmente en el sentido de viaje de los vehículos.
- Causas posibles de falla. Adherencia inadecuada entre la capa de rodadura y la base. Tránsito pesado y muy lento en zonas en que se producen altos valores de esfuerzos cortantes.
- Criterio general de reparación. Si las grietas son muy pequeñas, sellarlas con un producto asfáltico. Si son pronunciadas, remover la capa superficial hasta el punto en que hay buena liga entre las 2 capas y luego hacer un parcheo con mezcla asfáltica.

5) Fisuras en bloque.

- Descripción. Fisuras que forman polígonos de bordes regulares, con ángulos por lo general rectos.
- Causas posibles de falla. Generalmente cambios volumétricos de mezcla asfáltica de agregados fino con alto contenido de asfalto de baja penetración. Endurecimiento y contracción de la capa asfáltica por falta de tránsito. Mezcla con bajo contenido de asfalto.
- Criterio general de reparación. Sellar grietas con un producto adecuado y colocar un tratamiento superficial o un sello general con lechada asfáltica.

6) Fisura piel de cocodrilo.

- Descripción. Fisuras interconectadas formando polígonos de tamaño variable, semejando a una malla o piel de cocodrilo.
- Causas posibles de falla. Cumplimiento de la vida útil del pavimento. Pavimentos estables sobre subrasantes elásticas. Tránsito muy pesado para el espesor de pavimento existente.

- Criterio general de reparación. Colocación de una sobrecarpeta para prolongar la vida del pavimento. Si se advierten deficiencias de drenaje instalar dispositivos adecuados. Remover el material húmedo y reemplazarlo por uno adecuado (bacheo).

7) Fisuras media luna.

- Descripción. Fisuras que se presentan en forma parabólica en los extremos de la banca.
- Causas posibles de falla. Falta de estabilidad de los taludes del terraplén. Densidad local insuficiente.
- Criterio general de reparación. Remoción de la parte afectada, recompactación de la base y colocación de una nueva carpeta (bacheo).

4.2.3. Desprendimientos. Son pérdidas de material que afectan pequeñas áreas del pavimento. Pertenecen a esta categoría los siguientes daños:

1) Descascaramiento.

- Descripción. Pérdida de fragmentos de la capa asfáltica sin afectar las siguientes capas del pavimento (este término no se utiliza para tratamientos superficiales).

- Causas posibles de falla. Deficiencia en el riego de liga o imprimación. Capa de rodadura permeable y poco compactada o de espesor insuficiente o contruidos en tiempo húmedo o muy frío.
- Criterio general de reparación. Colocación de un tratamiento superficial de protección.

2) Ojo de Pescado.

- Descripción. Cavidades en forma redondeada con bordes bien marcados que resultan del desprendimiento del material de las capas superiores.
- Causas posibles de falla. Debilidad local del pavimento por escasez y/o endurecimiento del asfalto, o por ser muy delgada la capa asfáltica. Generalmente es el resultado de la evolución de otros defectos que se traducen en la desintegración con remoción de material, por el paso de los vehículos sobre zonas débiles.
- Criterio general de reparación. hacer bacheo en el área afectada. Una solución menor consiste en limpiar el hueco y rellenarlo con mezcla asfáltica.

4.2.4. Bacheo tapado y Bacheo destapado.

- Descripción. Reparación limitada de una zona dañada de la superficie de rodadura que afecta a esta o más capas, aún cuando objetivamente no es un daño, se debe anotar por ubicarse en la zona de un daño anterior y por el alto riesgo de daño futuro que presenta.
- Causas posibles de falla. Es debido a la corrección de muchos de los deterioros convencionales presentados anteriormente.
- Criterio general de reparación. Escarificación del pavimento en el área fallada y la excavación y remoción de los materiales inadecuados en toda la profundidad en que se encuentre la excavación; debe tener bordes verticales y bien definidos, la excavación debe rellenarse con materiales apropiados, adecuadamente compactados hasta alcanzar el nivel de la rasante existente.

4.2.5. Otros daños.

1) Pérdida de Película de ligante.

- Descripción. Superficie del pavimento en la que los agregados han perdido su cubierta asfáltica.

- Causas posibles de falla. Deficiente adherencia del ligante con los agregados pétreos. Cantidad insuficiente de asfalto en la mezcla. Acción del agua y del tránsito intenso.
- Criterio general de reparación. Colocación de un sello con agregado pétreo de buena adherencia con el ligante asfáltico.

2) Pérdida de agregado.

- Descripción. En la superficie del pavimento se observa que el agregado ha sido desplazado por acción del tránsito, este daño se presenta principalmente en los tratamientos superficiales.
- Causas posibles de falla. Esta falla ocurre generalmente en tratamientos superficiales puestos al servicio del tránsito antes del tiempo oportuno o ejecutados antes del tiempo oportuno o ejecutados en tiempos muy fríos o húmedos. Utilización de agregados de baja adherencia con el asfalto o escasa dosificación de este último.
- Criterio general de reparación. Si el área afectada es pequeña ejecutar un parche. Si es grande cubrirla con un nuevo tratamiento dosificando convenientemente el asfalto para evitar afloramiento.

3) Cabezas duras.

- Descripción. Partículas minerales de tamaño variable que sobresalen de la superficie de la capa de rodadura.
- Causas posibles de falla. Deficiencia en la gradación de los agregados y/o heterogeneidad en su dureza y pobre adherencia de ellos con el asfalto. Empleo de agregados de baja resistencia de pulimento.
- Criterio general de reparación. Si el problema no es muy pronunciado, no es necesario ninguna medida correctiva. Si la magnitud del problema es importante, colocar un sello con agregados de adecuada resistencia al pulimento.

4) Surcos.

- Descripción. Bandas longitudinales que se presentan a lo largo de la vía por distribución transversal defectuosa del ligante bituminoso o del agregado en los tratamientos superficiales.

5) Pulimento del agregado grueso.

- Descripción. Es un excesivo desgaste superficial de los agregados de la capa de rodadura, proporcionando una superficie lisa.

6) Afloramiento de ligante o exudación:

- Descripción. Áreas en las que hay aparición de exceso de ligante bituminoso en la superficie del pavimento.
- Causas posibles de falla. Exceso de asfalto en la mezcla. Pocos vacíos en la mezcla. Exceso de imprimación o riego de liga.
- Criterio general de reparación. Si la falla abarca gran área, colocar una sobrecapa de protección adecuadamente dosificada. En pequeñas áreas, remover el material del área afectada y reemplazarlo por uno adecuadamente dosificado. Otra solución consiste en aplicar y compactar agregado caliente (5 o 6 Kg/m²) que “seque” los excesos de asfalto.

7) Afloramiento de llenante.

- Descripción. Ascenso de finos a través de la carpeta asfáltica y descenso de agregado grueso.
- Causas posibles de falla. Exceso de finos en la mezcla asfáltica. Altas temperaturas de servicio y colocación de la mezcla muy caliente.

- Criterio general de reparación. Si la superficie no es resbaladiza no es necesario tomar ninguna medida, en caso contrario cubrirla con un tratamiento superficial.

8) Afloramiento de agua.

- Descripción. Presencia de agua en la superficie de la calzada, proveniente de las capas inferiores.
- Causas posibles de falla. Fuente de agua bajo la calzada. Drenaje interno deficiente. Capa superficial permeable.
- Criterio general de reparación. Captación de las aguas subterráneas mediante dispositivos adecuados de subdrenaje.

4.3. COMBINACIÓN DE FALLAS

Cuando una determinada falla alcanza cierta magnitud, evoluciona hacia otro tipo de falla mayor, lo que indudablemente dificulta la interpretación. Así, por ejemplo, en los pavimentos flexibles es posible que un asentamiento no corregido permita la formación de fisuras de pequeña magnitud, las cuales se interconectan con el tiempo, formando un sistema tipo piel de cocodrilo, el cual permite el ingreso de agua dentro de la estructura, debilitando sus capas y propiciando la desintegración del pavimento o al menos parte de él.

4.4. REQUISITOS BÁSICOS DE LA EVALUACIÓN DE FALLAS EN UN PAVIMENTO*

La evaluación del estado superficial de un pavimento debe cumplir 3 requisitos principales:

Ser objetiva, es decir, que la descripción de las fallas sea independiente del operario que realice el inventario.

Ser continua en el espacio. Salvo casos extraordinarios, un pavimento no falla totalmente de un instante a otro, pero en cambio, las variaciones en los suelos de fundación, materiales y procedimientos de construcción, condiciones de drenaje, pueden producir cambios importantes en el estado del pavimento entre puntos muy cercanos.

Ser periódica. Los pavimentos por lo general no fallan de un instante a otro, es preciso evaluarlo sistemáticamente con el fin de analizar el progreso de sus fallas, y poder así programar las labores de mantenimiento y mejoramiento en un instante oportuno.

* SANCHEZ SABOGAL, Fernando. Pavimentos: Materiales para la construcción, evaluación de pavimentos en servicio, diseño de obras de mejoramiento. Bogotá, Universidad la Gran Colombia, Segunda edición, 1985. Tomo 2. P.202.

4.5. UTILIDAD DE LA EVALUACIÓN DEL ESTADO SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO*

La evaluación de las fallas superficiales, junto con el conocimiento de las propiedades geotécnicas de los materiales que componen la estructura del pavimento y el estudio del comportamiento de éste ante la acción de las cargas móviles del tránsito, constituyen los elementos de juicio en base a los cuales el ingeniero de mantenimiento puede sectorizar la vía a su cargo en tramos homogéneos desde el punto de vista de su comportamiento general, con vista al diseño y programación de las obras de conservación y mejoramiento que permita prolongar la vida de la estructura al menor costo posible.

* SANCHEZ SABOGAL, Fernando. Pavimentos: Materiales para la construcción, Evaluación de Pavimentos en servicio, diseño de obras de mejoramiento. Bogotá, Universidad la Gran Colombia. Segunda Edición 1985 Tomo 2. P.206.

Tabla 3. Daños en los pavimentos flexibles.*

DAÑOS EN LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES	ESTRUCTURALES	Asociados a la fatiga de las capas asfálticas.	fth : Fisura transversal en la huella. flh : Fisura longitudinal en la huella. PC : Piel de cocodrilo. BL : Bloques. O : Ojo de pescado.
		Asociados a la deformación del perfil por deformaciones plásticas acumuladas.	AT : Asentamiento transversal. AL : Asentamiento longitudinal. H : Depresión (Hundimiento)
		Asociados a la inestabilidad de la banca.	fML : Fisura en media luna. ML : Media luna. fl : Fisura longitudinal. ft : Fisura transversal.
	SUPERFICIALES	Asociados a deficiencias en el diseño o fabricación de la capa asfáltica.	EX : Exudación. FP : Fisura parabólica. DB : Desplazamiento de borde. SU : Surcos. PL : Pérdida de ligante. PA : Pérdida de agregado. (O) : Descascaramiento. O : Ojo de pescado. FJ : Fisura de junta. BU : Abultamiento.
		Asociados a la calidad de los materiales y su afinidad.	PA : Pérdida de agregado. PL : Pérdida de ligante. (O) : Descascaramiento. O : Ojo de pescado. PU : Pulimento. CD : Cabezas duras.

* MUÑOZ R, Guillermo, Diseño y Rehabilitación de Pavimentos Flexibles, Métodos Racionales. Editorias Universitaria. Universidad de Nariño, Primera Edición, San Juan de Pasto, 1998. P.48

Tabla 4. Causas posibles de los daños en pavimentos flexibles.

CLASIFICACION		CAUSAS POSIBLES
DEFORMACIONES		Baja resistencia de la subrasante. Falta de compactación Alto contenido de agua. Repetición de cargas muy pesadas.
FISURAS		Tránsito pesado e intenso. Debilidad de la fundación. Presencia de agua. Debilidad de mezcla asfáltica por rigidez de la mezcla, asfalto envejecido, exceso de finos. Cambios volumétricos por expansión y contracción. Defectos de construcción. (zanjas, terraplenes, etc.)
DESPRENDIMIENTOS		Escases y/o endurecimiento del asfalto en la capa de rodadura. Falta de adherencia asfalto-agregado. Ataques con solventes. Presencia de sobretamaños. Deficiencias en riegos asfálticos y distribución de agregados en tratamientos.
OTROS DAÑOS	Pérdida de ligante	Falta de adherencia asfalto-agregado.
	Pérdida de agregado.	Dosificación deficiente de asfalto.
	Cabezas duras.	Deficiencias en la gradación de los agregado y/o heterogeidad en su dureza.
	Surcos.	Dosificación deficiente de asfalto y/o de los agregados.
	Pulimento	Deficiente calidad de los agregados.
	Exudación.	Exceso de asfalto, falta de agregados, insuficiencia de vacíos en la mezcla.
Afloramiento de agua.	Falta de drenaje.	
Afloramiento de llenate.	Excesos de finos en la mezcla.	

* MUÑOZ R, Guillermo, Diseño y Rehabilitación de Pavimentos Flexibles, Métodos Racionales. Editorias Universitaria. Universidad de Nariño, Primera Edición, San Juan de Pasto, 1998. P.48

5. EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS

5.1. DEFORMACIONES DEL PAVIMENTO

Todos los pavimentos a pesar de estar bien diseñados y contruidos sufren pequeñas deformaciones causadas principalmente por acción de cargas de los vehículos. Estas deformaciones pueden clasificarse como permanentes y transitorias; estas últimas a la vez se pueden clasificar en elásticas y viscoelásticas. (8)

5.1.1. Deformaciones permanentes. Las deformaciones de éste tipo más comunes en pavimentos son: consolidación, deformación plástica y expansión.

- Consolidación. La consolidación de capas de pavimentos o subrasantes causadas por el tránsito después de la construcción, es debido al desalojo de aire y principalmente, del agua que se halle en la masa de suelo, lo que producen carriles en las huellas de la rueda. Este tipo de deformaciones permanentes, pero no progresivas generalmente no causa grietas, pero produce hendiduras desagradables.

La consolidación causada por el tráfico puede reducirse a un mínimo con una compactación adecuada de las capas de pavimento y la subrasante, asegurándose así la estabilidad del pavimento.

- Deformación plástica. Esta es también causada por el tráfico y produce deformaciones permanentes del pavimento similares a la consolidación. La deformación producida por consolidación causa una reducción en el volumen de las capas del pavimento o de la subrasante. Sin embargo la deformación plástica causa solo un cambio de forma sin variación en el volumen. Mientras la consolidación disminuye y tiende hacia la estabilización, el flujo plástico progresa con la acción de las cargas de los vehículos, constituyendo la causa principal de las fallas en los pavimentos. En deformación plástica, la capa deformada disminuye en espesor en las áreas de las huellas de las ruedas e incrementa en espesor en las áreas que las rodea, debido a esfuerzos horizontales de consideración en la masa del suelo, produciendo desplazamientos laterales del material del terreno de fundación.

La deformación plástica solo ocurre cuando una de las capas falla debido a una carga mayor que su capacidad de soporte, para eso es necesario que las diferentes capas de un pavimento, sean resistentes y tengan, además, un espesor conveniente que les permita absorber la mayor parte de los esfuerzos transmitidos por las cargas de los vehículos.

- **Expansión.** Además de la consolidación y la deformación plástica, el pavimento puede sufrir otras deformaciones causadas por el cambio de volumen en el material de la subrasante debido a la variaciones de la humedad. Así, un incremento de volumen del suelo expandido producido por absorción de agua, causa deformaciones en el pavimento. Este incremento de volumen generalmente produce un decrecimiento de la capacidad de soporte de la subrasante lo cual debilita la resistencia del suelo al esfuerzo cortante, causando ruptura de la subrasante.

5.1.2. **Deformaciones transitorias o deflexiones.** La deformación transitoria es aquella que desaparece cuando la carga que la produce es removida. En la deformación viscoelástica, existe un cierto lapso de tiempo entre la remoción de la carga y la completa recuperación de la deformación, en la deformación elástica la recuperación ocurre inmediatamente después de quitar la carga. La deflexión de pavimentos pueden ajustarse a este último grupo. Ellas pueden definirse como deformaciones elásticas verticales puntuales, que ocurren en los pavimentos debido al paso de una carga.

Analizando los resultados de las deformaciones elásticas o deflexiones de un pavimento da como resultado que las deflexiones excesivas causan fallas que destruyen la estructura del pavimento.

Existen deformaciones máximas permisibles para diferentes tipos de pavimentos, sobre los cuales aparecen grietas debido a la fatiga.

5.2. FASES DE VIDA DEL PAVIMENTO FLEXIBLE

El comportamiento de pavimentos que están bien diseñados y no presentan rotura plástica en la subrasante o en cualquier capa de la estructura, se dividen en las siguientes fases:

5.2.1. Fase de consolidación. Durante la fase inicial de la vida del pavimento las diferentes capas de la estructura sufren alguna consolidación debido a la acción de las cargas transmitida por los vehículos. Esta fase es relativamente corta y la magnitud de consolidación depende de la compactación recibida por las diferentes capas durante la construcción del pavimento. Aparecen hendiduras o huellas pero no hay rupturas.

5.2.2. Fase elástica. Tan pronto pasa la fase de consolidación durante la cual cada carga produce una deformación permanente (consolidación), la cual tiende a estabilizarse, a parte de una deformación elástica (deflexión), la estructura entra a la segunda fase durante la cual ocurre un comportamiento elástico genuino. Cada carga produce una deflexión (deflexión transitoria) que se recupera después del paso de dicha carga.

La vida del pavimento depende principalmente de lo larga que sea esta segunda fase, porque ella está muy relacionada con la presencia de deflexiones de pavimentos en servicio. Se ha demostrado que pavimentos con baja deflexión tienen vidas largas y viceversa.

5.2.3. Fatiga. Corresponde a la fase final, las deformaciones elásticas causadas por las cargas producen esfuerzos de tensión sobre la superficie que después de un tiempo falla debido a la fatiga.

5.3. EMPLEO DE LA VIGA BENKELMAN DE DOBLE BRAZO EN LA EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

5.3.1. Viga Benkelman de doble brazo. La Viga Benkelman de doble brazo, es un equipo sencillo pero de gran utilidad cuando se trata de recuperar un pavimento flexible; presenta gran facilidad de manipulación y trabajo, esto debido a que los materiales utilizados son livianos y resistentes.

Este equipo tiene como finalidad entregar lecturas deflectométricas, datos que posteriormente serán analizados para obtener conclusiones de dos situaciones en especial:

- Realizar lecturas en un tramo o vía para posteriormente, mediante el análisis de dichas medidas determinar si es necesario o no aplicar un proceso de rehabilitación de dicho tramo.*

* BETANCOURTH Edgar y RAMIREZ Alvaro. Diseño y construcción de la Viga Benkelman de doble brazo, tesis de grado, Universidad de Nariño, San Juan de Pasto 1999.

- Hacer la comparación con mediciones anteriores a la rehabilitación de la vía y determinar si el refuerzo colocado, tiene un comportamiento adecuado en función de las especificaciones de deflexiones máximas admisibles.*

La viga Benkelman (figura 1), fue diseñada por el ingeniero norteamericano A.C. Benkelman, del cual toma su nombre. Este es un equipo sencillo que permite obtener lecturas a través de una palanca o brazo suspendido de un bastidor, el cual transmite la deflexión elástica recuperada que sufre el pavimento a un dial o deflectómetro bajo la acción de la carga cuasi estática ejercida sobre el pavimento por un camión . (5)

El inicio de estas mediciones, se remonta hacia el año de 1952 y fueron de gran utilidad en la evaluación de tramos experimentales realizados por la WASHO (1952-1954) y la AASHTO (1958-1960). Posteriormente el uso de la viga se generalizó en casi todos los países. (6)

Debido a que la resistencia de la estructura total del pavimento no depende exclusivamente de la medición de la deflexión, sino que también depende de la lectura del radio de curvatura porque con este dato podemos dar un criterio más aproximado para juzgar la capacidad estructural en servicio, ya que con él se determina la deformación por tracción en las capas asfálticas; razón por la cual,

* BETANCOURTH, Edgar y RAMIREZ Alvaro. Diseño y Construcción de la Viga Benkelman de doble brazo, tesis de grado, Universidad de Nariño, San Juan de Pasto 1999.

investigadores y expertos en vías sugieren que la deflexión debe ser complementada con lecturas de radio de curvatura. (6)

Para llevar a cabo el criterio anterior y en vista de la necesidad de medir el radio de curvatura, se perfeccionó la Viga Benkelman adicionándole un segundo brazo separado 25 cm del punto máximo de deflexión y paralelo al brazo original, tomando el nombre de VIGA DENKELMAN DE DOBLE BRAZO.

El conocimiento de las deflexiones elásticas que sufren los pavimentos flexibles bajo la acción de las cargas es de gran utilidad en el diseño, por cuanto los pavimentos pueden ser concebidos como estructuras con cierta capacidad para absorber como energía elástica potencial el trabajo de deformación impuesto por cada carga circulante y dicha energía hace que, una vez retirada la carga, se produzca una recuperación elástica de la deformación impuesta. Es obvio que si dicha capacidad se excede más allá del valor límite que determina las deformaciones recuperables por elasticidad, se desarrollan deformaciones permanentes, las cuales, al acumularse modifican sustancialmente los perfiles de la calzada produciéndose su falla. Es también posible que, aunque dicha capacidad no sea excedida, las deformaciones elásticas sean tan altas que produzcan con el tiempo la fatiga de las capas asfálticas, lo cual se detecta por el desarrollo de fisuras de tipo piel de cocodrilo, las cuales evolucionan hacia daños mayores, si no se toma oportunamente las medidas correctivas apropiadas. (6)

El valor de la deflexión que sufre un pavimento bajo la acción de una carga cualquiera depende no solo de la magnitud de ésta sino también de la relación esfuerzo deformación característica de todos y cada uno de los materiales constitutivos de la estructura del pavimento y el suelo de subrasante para los espesores de capas y condiciones de temperatura y humedad prevalecientes en el instante de aplicación de la carga.

5.3.2. Equipo necesario para la evaluación.

- Viga Benkelman de doble brazo con sus correspondientes diales. (laboratorio UDENAR).
- Volqueta o camión (en este caso volqueta), de dos ejes con una carga en el eje trasero igual a 8200 Kg (límite legal de carga en Colombia), distribuida por igual en cada una de sus ruedas duales. Este peso fue determinado en la báscula de Bodegas Aladino de Ipiales.

Las llantas deberán ser de 10*20*12 lonas, infladas a una presión de 80 PSI, la cual debe mantenerse constante durante el ensayo. La carga se sugiere debe ser de bloques de concreto u otros materiales como triturado, que mantengan sus condiciones de humedad constante con las variaciones climáticas. Se debe tener en cuenta que la carga se debe proteger con una lona o carpa. (en el estudio la carga empleada fue rajón)

- Termómetro de 0°C – 100°C con divisiones cada grado.
- Cincel, martillo, escobilla y aceite de 2 tiempos o hidráulico.
- Cinta métrica, pintura y brocha.
- Cronómetro.
- Cartera para anotaciones, chaleco reflectivo y banderines guía para el tránsito.

5.3.3. Descripción de la viga Benkelman. La viga Benkelman consta de una parte fija y una móvil. La parte fija o estructura portante, está soportada por dos apoyos que descansan sobre la superficie del pavimento en el momento de las mediciones; la parte móvil que esta constituida por los dos brazos de medida se une a la parte fija por medio de un perno o pivote que hace las veces de un eje de giro.

Los extremos de los brazos, con los que se realizan las mediciones, hacen contacto con la superficie del pavimento en el sitio elegido para medir la deflexión y el radio de curvatura; mientras que los otros extremos hacen contacto con los dos deflectómetros o comparadores de carátula que se encuentran instalados sobre la estructura fija de la viga. (9)

5.3.3.1. Partes y dimensiones del equipo. La viga Benkelman de doble brazo consta de las siguientes partes con sus respectivas dimensiones fundamentales.

- Longitud del primer brazo:

Desde el pivote al punto de ensayo: 2.126 mts.

Desde el pivote al punto de apoyo del vástago de su dial: 0.531 mt.

- Longitud del segundo brazo, desde el pivote al punto de ensayo: 1.876 mt.

- Longitud del segundo brazo, desde el pivote al punto de apoyo del Vástago de su dial registrador: 0.469 mts.

- Longitud del cuerpo o parte fija:

Largo : 1.215 mts.

ancho : 0.101 mts.

- Distancia entre apoyos: 1.165 mts.

- Altura desde el piso a la parte fija: 0.14 mts.

- Dos diales o deflectómetros con divisiones de 0.01 mm. y recorrido de 10 mm.

(9)

5.3.3.2. Constante de la viga (K_v). Debido a que en la prueba de campo solo se obtienen lecturas de deformaciones es necesario afectar el valor de cada lectura por una constante propia de cada equipo para obtener el valor medido de cada deformación en el punto de ensayo; dicha constante K_v es un factor que está en función de la longitud desde el punto de apoyo del brazo, tanto para deflexión (D_1) como para el radio de curvatura (R_1), hasta el eje de su respectivo pivote y la

longitud desde el eje del pivote hasta su correspondiente dial, para deflexión (D2) o para radio de curvatura (R2); se debe tener en cuenta que esta constante deber ser de igual valor en cada uno de los brazos de la viga. En forma general se tiene que:

$$Kv = Kv1 = Kv2$$

$$Kv1 = \frac{D1}{D2}$$

$$Kv2 = \frac{R1}{R2}$$

$$Kv = \frac{D1}{D2} = \frac{R1}{R2}$$

En forma particular para el equipo utilizado se tiene que: (9)

- Para deflexiones:

$$Kv1 = \frac{D1}{D2} = \frac{2126 \text{ mm}}{531 \text{ mm}}$$

$$Kv1 = 4$$

- Para radios de curvatura:

$$Kv2 = \frac{R1}{R2} = \frac{1876 \text{ mm}}{469 \text{ mm}}$$

$$Kv2 = 4$$

5.3.3.3. Instalación de la viga: Para instalar la viga Benkelman se recomienda el siguiente procedimiento como el más adecuado:

- 1) Colocación del apoyo trasero. El apoyo trasero es el tornillo de mayor longitud terminado en punta, este se debe roscar en el soporte ubicado en la parte trasera del cuerpo principal de la viga hasta cuando su punta haga contacto con el piso, permitiendo que la viga tenga una estabilidad adecuada.
- 2) Colocación de los dispositivos de seguridad de los deflectómetros. Estos dispositivos son los tornillos de menor longitud, los cuales se deben roscar en los soportes ubicados en la parte delantera cerca de la manija. La función de estos tornillos es la de fijar o liberar los compartimentos de los brazos evitando que las agujas de los deflectómetros se desplacen bruscamente.
- 3) Colocación de los brazos. Son dos brazos de aluminio que se deben introducir en cada uno de los compartimentos rectangulares y fijarlos a estos ajustando sus correspondientes tornillos, los compartimentos se encuentran ubicados en el extremos del cuerpo principal de la viga y soportados en el pivote; su función es la de transmitir desde el extremo del brazo, el cual debe estar en contacto con la superficie del pavimento, la deflexión y el radio de curvatura producida por una carga a su respectivo deflectómetro.
- 4) Colocación de los deflectómetros. Son dos comparadores, los cuales se deben manejar con mucho cuidado; estos se colocan en los soportes rectangulares

ubicados cerca de los dispositivos de seguridad, una vez colocados en los respectivos orificios se fijan roscando el tornillo lateral del soporte con una llave bristol. Su función es entregar lecturas que posteriormente se convierten a medidas deflectométricas al multiplicar cada lectura por la constante de la viga, que para el equipo empleado para este estudio tiene un valor de 4.

5.3.4. Procedimiento para el ensayo según la norma E-795.

- 1) Efectuar un recorrido del tramo de la vía con el fin de elegir el carril más deteriorado. Si tanto el carril derecho como el izquierdo presentan igual grado de deterioro se realizarán mediciones en los dos carriles, realizando una cartera independiente para cada caso, pues estos se deben analizar individualmente, ya que pertenecen a poblaciones de datos diferentes.
- 2) El tramo de pavimento a ser ensayado deberá marcarse previamente con líneas transversales a la vía. Las marcas deben localizarse en los sitios elegidos, generalmente cada 25 mts. y deben referenciarse con el abscisado de la vía.
- 3) Antes de iniciar el ensayo y con el fin de medir la temperatura del pavimento, se hace un orificio cuyas dimensiones serán de 4 cms de profundidad y 2 cm de radio aproximadamente. Se recomienda situar el orificio entre el borde del carril y el punto de ensayo a 50 cm. Del mismo, en el sentido de avance del vehículo.

- 4) Se llena con aceite no menos de 10 minutos antes de iniciar el ensayo; cuando se considere que el aceite ha alcanzado el equilibrio térmico, se introduce el termómetro durante 2 minutos y luego de transcurrido este tiempo e inmediatamente después de extraerlo del orificio, se anota la temperatura. Se debe tomar la temperatura del pavimento cada 250 mts. así como el espesor (Hi) de carpeta. El rango de temperatura para la realización del ensayo o toma de medidas de deflexión estará entre 5 °C como límite inferior y 40 °C como límite superior.
- 5) Sobre la línea demarcada con anticipación, se localiza un punto de ensayo que debe quedar ubicado entre las llantas duales externas correspondientes al eje trasero; este punto de ensayo debe ubicarse a una distancia prefijada del borde del carril (tabla 5.).

Tabla 5. Distancia del punto de ensayo hasta el borde del pavimento.

ANCHO DEL CARRIL (m)	DISTANCIA DESDE EL BORDE DEL PAVIMENTO AL PUNTO DE ENSAYO (m)
2.7	0.45
3	0.6
3.3	0.75
3.6 ó más	0.9

- 6) Para la exacta ubicación de la rueda dual externa del vehículo en medio del punto de ensayo seleccionado, se deberá colocar en la parte trasera del camión una guía vertical en correspondencia con el eje de carga; desplazando suavemente el camión, se hace coincidir la guía vertical con la línea transversal demarcada.
- 7) Se coloca la viga sobre el pavimento, detrás del camión y perpendicularmente al eje de carga, de tal forma que el extremo de prueba del primer brazo quede sobre el punto de ensayo seleccionado y la viga no roce contra las llantas del eje trasero dual.
- 8) Se aflojan los seguros de los brazos y se ajusta la base de la viga por medio del tornillo trasero de manera que los dos brazos de medición queden en contacto con el vástago de los deflectómetros.
- 9) Se ajustan los diales de modo que sus vástagos tengan un recorrido libre comprendido entre 4 y 6 mm. Se giran los discos móviles de los

deflectómetros hasta que las agujas marquen cero (0). Se giran los discos, si es necesario, y se repite la operación hasta obtener una lectura igual a cero (0).

- 10) Se hace avanzar lentamente el vehículo de carga hacia adelante, hasta una distancia aproximadamente de 4 mts, referenciándolos a partir del punto de ensayo.
- 11) Se coloca en marcha el cronómetro cuando el vehículo se ha detenido a la distancia indicada y se hacen lecturas en los deflectómetros cada 60 segundos; se registran las lecturas finales cuando la rata de recuperación sea igual o menor a 0.025 mm/min.
- 12) Esta lectura obtenida debe multiplicarse por la constante de la viga para así determinar la deflexión real del pavimento.
- 13) Se ajustan los dispositivos de seguridad tanto de los diales como de los brazos de la viga, y se levanta.
- 14) Se repite el procedimiento en los siguientes puntos elegidos para el ensayo. Generalmente las medidas se hacen cada 25 mts. sobre la huella externa trasera y cada 100 mts. sobre las dos (externa e interna), de manera que estas sean representativas de las condiciones generales del pavimento.

15) A la medición deflectométrica se debe anexar datos tales como:

- Estado del pavimento.
- Temperatura ambiente.
- Topografía.
- Sección de la calzada.
- Evaluación del drenaje

Los cuales también deben referenciarse con el abscisado del tramo o vía a rehabilitar.

5.3.5. Error en las medidas. Durante la ejecución del ensayo para obtener las medidas de deflexión y radio de curvatura con la viga Benkelman se puede presentar una serie de factores que pueden evitarse por cuanto son causa de error en la toma de mediciones.

Entre los más frecuentes se pueden mencionar las siguientes:

- Apoyo incorrecto de la parte fija o estructura de la viga sobre el pavimento.
- Contacto a destiempo entre los brazos de medida y la parte fija de la viga.
- Defectuoso ajuste del mecanismo de prolongación del deflectómetro.
- Apoyo inadecuado de los brazos de medida que hacen contacto con el pavimento.

- Arranque brusco del vehículo de carga.
- Rozamiento de las llantas con la parte móvil de la viga al desplazarse el vehículo de carga.

5.3.6. Ventajas e inconvenientes de las deflexiones.

Entre las ventajas pueden destacarse:

- La deflexión en la mayoría de los casos es proporcional a la carga, lo que permite comparar los resultados obtenidos con las distintas cargas utilizadas en los diferentes países. (6)
- La deflexión cuando sobrepasa ciertos límites, es síntoma de una debilidad estructural del pavimento. (6)
- Existen equipos de gran rendimiento que efectúan numerosas medidas que proporcionan una indicación muy valiosa de la homogeneidad, heterogeneidad y zonas singulares del pavimento a lo largo de un tramo. (6)
- Se trata de unas medidas no destructivas y muy sencillas. (6)

Entre los inconvenientes pueden destacarse:

- Las deflexiones no previenen todos los defectos, pueden encontrarse pavimentos con deflexiones bajas dañados estructuralmente o con grandes deformaciones permanentes. (6)
- La deflexión puede variar según el método operativo, el tipo de pavimento, la velocidad de aplicación de la carga, el grado de humedad de la subrasante y la temperatura. (6)
- La deflexión no varía siempre de un modo progresivo con la fatiga del pavimento, por lo que no puede advertir a tiempo sobre la necesidad de intervención. (6)

5.3.7. Influencia de la temperatura en pavimentos flexibles. La rigidez de la superficie bituminosa varía grandemente con la temperatura. Cuando la temperatura disminuye el bitumen llega a ser más viscoso y se endurece superficialmente, incrementando así la capacidad de distribución de cargas del pavimento y disminuyendo el valor de deflexión. (8)

Además de la variación en la rigidez con la temperatura, la superficie es presionada entre las llantas de las ruedas dobles durante la aplicación de la carga, y sufre una cierta deformación que también es influenciada por la temperatura y está compuesta por dos partes: Un tipo de deformación viscoelástica transitoria

que vuelve a la normal después de retirarse el peso y una deformación plástica permanente. (8)

Estas deformaciones se reflejan necesariamente en la magnitud de las deformaciones medidas con la viga Benkelman, lo que hace necesario el establecimiento de una expresión que tenga en cuenta tales variaciones, como manera única de hacer comparables las deflexiones obtenidas bajo diferentes condiciones de temperatura.

La evidencia del efecto de la temperatura sobre la magnitud de las deflexiones llevó a idear y proponer una expresión por medio de la cual se efectúa la conversión de la temperatura medida a cualquier época del año; a una temperatura de referencia de 20 grados centígrados por ser la adoptada por la mayor parte de investigadores del mundo.

5.3.8. Cálculos.

- Agrupamiento de datos. El análisis e interpretación de las deflexiones y radios de curvatura correspondientes a la evaluación estructural del tramo de vía en estudio se deberán agrupar en sectores. Esta sectorización se hace con base a las siguientes características:

- 1) Uniformidad en las medidas de deflexión, y radios de curvatura prevaleciendo las primeras. (7)

- 2) Cambios topográficos que puedan afectar las condiciones de drenaje. (7)
- 3) Cambios en los tipos de subrasante y estructura del pavimento. (7)
- 4) Variaciones de tránsito en cuanto a frecuencia y magnitud de cargas. (7)
- 5) Variación en condiciones climáticas. (7)

Cada sector de pavimento se divide a su vez en secciones de 500 mts. de longitud aproximada, obteniéndose en cada sección una muestra estadística de cuando menos diez lecturas de deflexión.

- Cálculo de la deflexión promedio de cada sección (D). A los (n) valores que constituyen cada muestra se les determina el valor promedio (D) mediante la expresión:

$$D = \frac{\sum d_i}{n}$$

Antes de proceder al cálculo de esta deflexión, se puede, a criterio descartar los valores de deflexiones que muestren desviaciones muy grandes con estructura del pavimento, (fallas de drenaje, deficiente compactación, plasticidad, etc.), los cuales deben de corregirse antes de colocar cualquier refuerzo asfáltico. (10)

- Cálculo de la deflexión característica de cada sección (Dc). La deflexión característica de la sección es igual a la deflexión promedio más una vez la desviación estándar. (s)

$$S = \frac{\sqrt{(D - d)^2}}{\sqrt{(n - 1)}}$$

$$DC = D + S$$

Este valor de la deflexión característica se considera representativo del 85% de la longitud de la sección.

- Cálculo del coeficiente de variación (v). El coeficiente de variación es igual a la relación entre la desviación estándar y la deflexión promedio, por 100.

$$V = \frac{S}{D} * 100$$

El coeficiente de variación permite evaluar la variabilidad de la estructura del pavimento y se puede afirmar que valores de este parámetros superiores al 50% indican una gran dispersión, lo que implica heterogeneidad en la estructura del pavimento.

- Corrección de la deflexión por temperatura. Las deflexiones características de las secciones deben referirse a una temperatura de 20 °C. El efecto de la temperatura sobre la deflexión posee gran importancia, por lo que se recomienda aplicar algún factor de corrección a las deflexiones obtenidas.

Por lo cual se recomienda utilizar la siguiente fórmula de corrección:

$$D(20^{\circ}\text{C}) = C_t * D_c, \quad \text{De donde } C_t \text{ será: (6)}$$

$$C_t = \frac{1}{1 - k * h_i * (20 - t)}$$

Donde: $k : 8 * 10^4 \text{ cm}^{-1}/^{\circ}\text{C}$

h_i : Espesor actual de la carpeta asfáltica.

t : Temperatura en grados centígrados del pavimento.

En pavimentos sin mezclas bituminosas, la temperatura no influye en las deflexiones y por tanto valen las mediadas hechas sin aplicar ninguna corrección lo mismo puede decirse cuando el espesor de la carpeta el pequeño inferior a 10 cm. (6)

- Determinación de la deflexión característica del sector (D'_c).
Encontradas las deflexiones características de todas las secciones, y corregidas por efecto de temperatura si es el caso, se procede a calcular la deflexión característica del sector (D'_c) por medio de la siguiente expresión .(10)

$$\Sigma D_c(20^{\circ}\text{C})$$

$$D'c = \frac{\text{-----}}{n}$$

Siendo “n” el número de secciones que componen el sector.

- Corrección por condiciones ambientales. Siempre que sea posible, los ensayos de deflexión se realizarán en la época de máxima humedad de la subrasante, que es función de la climatología de la zona. En caso contrario a las medidas obtenidas hay que afectarlas por un coeficiente corrector Ch, el cual se selecciona de acuerdo a la tabla 6, los cuales están en función del tipo de sub-rasante, drenaje y época de medida. La aplicación de estos valores es bastante imprecisa y queda siempre un margen a la interpretación personal.

(6)

Tabla 6. Valores para corrección por condiciones ambientales.

NATURALEZA DEL SUELO DE SUBRASANTE	COEFICIENTE DE CORRELACIÓN		
	PERIODO LLUVIAS	PERIODO INTERMEDIO	PERIODO SECO
Suelos arenosos y permeables	1.0	1.0 - 1.0	1.1 - 1.3
Suelos arcillosos e impermeables	1.0	1.3 - 1.5	1.5 - 1.8

- Cálculo del radio de curvatura. El grado de curvatura es un importante complemento a la evaluación realizada mediante deflexiones, por cuanto determina la magnitud de la deformación lineal por tracción que sufren las capas asfálticas al flexionar bajo cargas. (7)

La medida más sencilla del radio de curvatura es la propuesta por el Ingeniero Celestino Ruiz, que consiste en acompañar la medida normal de deflexión bajo las ruedas del eje cargado, con otra deflexión registrada a 25 cm. Atrás del contacto del primer apoyo con la superficie del pavimento. Las 2 deflexiones se obtienen usando la Viga Benkelman doble.

De acuerdo con esto si se miden las deflexiones bajo la carga y a 25 cm. De ella con la Viga Benkelman doble, el radio de curvatura quedará definido por la expresión:

$$R_c = \frac{6250}{2*(D'_{0} - D'_{25})}$$

El diagrama de radio de curvatura se presenta en la figura 2.

5.3.9. Presentación de resultados. Las deflexiones se representan en un plano a una escala adecuada, cuyas coordenadas son: Eje X = abscisado del tramo de carretera, Eje Y = deflexiones reales en cada abscisa. La unión de puntos sucesivos de deflexiones individuales producen una línea quebrada cuyo desarrollo facilita la evaluación del tramo ensayado. De la misma forma se representa el perfil de los radios de curvatura con las coordenadas Eje X = abscisado del tramo de carretera y Eje Y = valores de radios de curvatura. (10)

La unión de las deflexiones medidas en la rueda interior por líneas a trazos permite comprobar su variación con respecto a las deflexiones medidas en la rueda exterior.

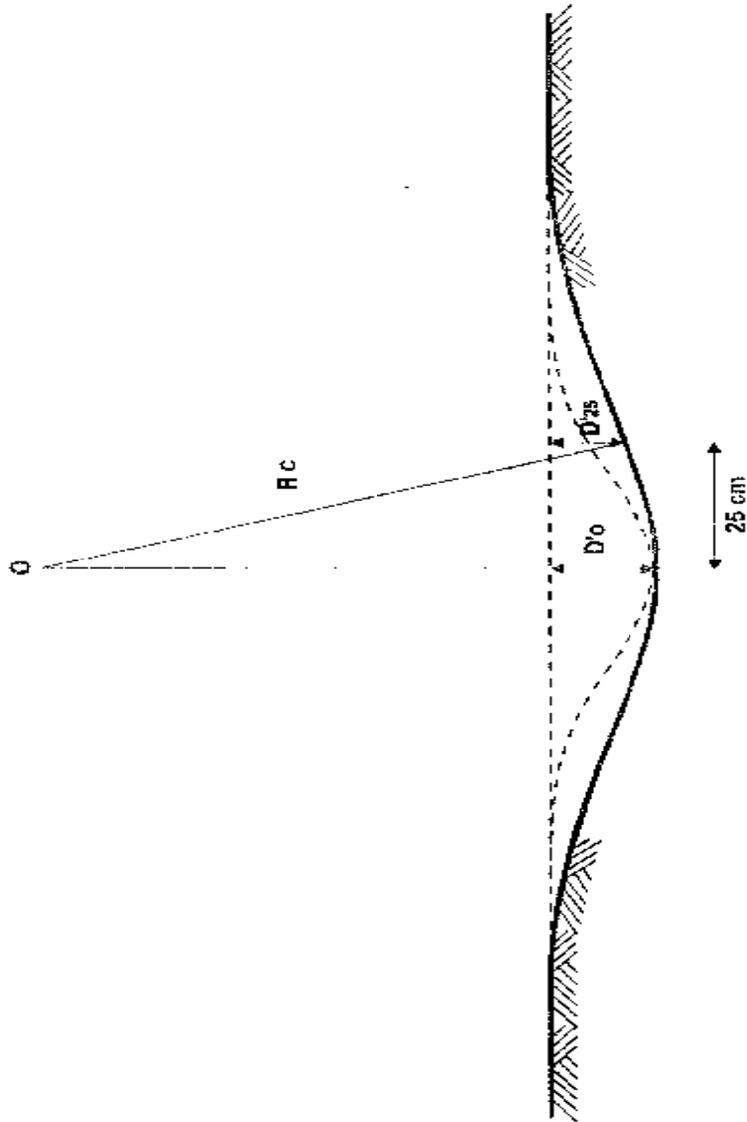


Figura 2. Diagrama de radio de curvatura.

6. EVALUACION GEOTÉCNICA.

Esta evaluación, se realiza mediante un estudio de campo, el cual comprende apiques, sondeos y ensayos de laboratorio, que permiten caracterizar los materiales. Los sondeos son pequeñas perforaciones cuya sección aproximada es de 0.35 mts * 0.35 mts y hasta una profundidad aproximada de 1 metro bajo el nivel de la subrasante (dependiendo del material de la misma), nos permiten identificar espesores de las capas de la estructura del pavimento, identificación de la subrasante (Límites de Atterberg y humedad natural), capacidad portante de la subrasante (haciendo uso del penetrómetro dinámico de cono PDC). Los apiques son de una sección mayor de 0.70 mts. por 2 mts. aproximadamente y con ellos también se determinan las características mencionadas en los sondeos. (6)

6.1. PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE LOS SUELOS

Estas propiedades permiten describir los suelos en forma adecuada, pues la caracterización de los materiales es la base primordial del estudio.

6.1.1. Contenido de Humedad. Es la suma de las aguas libre, capilar e higroscópica contenidas en la masa de suelo. (4)

- Equipo. Recipientes para humedad (aluminio), Barreno manual, Bolsas plásticas (muestras alteradas), Parafina, papel aluminio (Inalterada), Cinta métrica, Pala, pica, Balanza, horno.

- Procedimiento. Se construye un apique de más o menos 3 mts. de profundidad. Tomar muestras para contenido de humedad por cada 50 cm de perforación y donde se produzcan cambios visuales del estrato del suelo. Colocar las muestras obtenidas en los recipientes, inmediatamente después de obtener la muestra de tal manera que se minimice la pérdida de humedad. En el laboratorio, pesar los recipientes que contienen suelo húmedo y colocar las muestras en el horno para secar con una temperatura aproximada de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ durante un tiempo de 12 a 18 horas o hasta que no se registre variación en el peso. En seguida, pesar las muestras de suelo seco con recipiente; estos datos nos proporcionan la humedad que contienen las muestras.
- Cálculos. Se calcula el porcentaje de humedad en cada muestra utilizando la siguiente fórmula:

$$W \% = \frac{\text{Peso del agua contenida en la muestra}}{\text{Peso seco de la muestra}} * 100 = \frac{W_w}{W_s} * 100$$

6.1.2. Granulometría por tamizado mecánico. Con éste ensayo, de acuerdo al porcentaje de su peso, permite determinar el tamaño de las partículas que ésta muestra contiene, y además determinar los porcentajes de piedra, grava, arena, limo y arcilla.

- Equipo. Juego de tamices; números: 4, 10, 30, 40, 100, 200., Agitador eléctrico automático, Balanza con aproximación de 0.1 gramos, Recipientes adecuados (aluminio), Horno eléctrico.

- Procedimiento. Se toma la muestra traída del apique y se la reduce por cuarteo, secando en el horno. Seguidamente, se pesa en la balanza (precisión 0.1 gr), llamando a éste dato Peso Seco antes de lavar. Se procede a lavar la muestra utilizando el tamiz 200 de la siguiente forma:
 - Se restriega la muestra en el recipiente, añadiéndole agua.
 - Vaciamos el agua sobre el tamiz con material suspendido en él.
 - Lo detenido se recoge y se devuelve al recipiente original.
 - Se continua éste proceso hasta cuando el agua que pasa del tamiz mantenga su transparencia.

Luego se seca al horno y se pesa utilizando el mismo recipiente, a éste dato lo llamamos Peso Seco después de lavar. A continuación se arma una serie de tamices que varíen desde los diámetros mayores arriba hasta los diámetros inferiores abajo así:

1. Tamiz No. 4
2. Tamiz No. 10

3. Tamiz No. 30
4. Tamiz No. 40
5. Tamiz No. 100
6. Tamiz No. 200

Se deposita esta muestra en el tamiz superior (tamiz No. 4) y se la lleva a la máquina agitadora, en la cual se le provoca un tamizado mecánico por un tiempo de aproximadamente 10 minutos.

Colocamos las muestras obtenidas en cada uno de los tamices en recipientes, pesando cada uno de ellos. Se suma estos pesos y se compara el total con el peso total obtenido en el residuo del material procedente del secado al horno con el cual se comenzó. También se debe obtener el peso del pasante por el tamiz 200.

- Cálculos.

$$\% \text{Retención} = \frac{W_{\text{retenido}}}{W_{\text{antes de lavar}}} * 100$$

$$W_{\text{pasante malla No.200}} = \frac{\text{Peso seco antes de lavar}}{\sum \text{de peso hasta tamiz No.200}}$$

6.1.3. Límites de consistencia de un suelo. La consistencia de un suelo fino puede variar aumentando o disminuyendo la humedad encontrando así su plasticidad y clasificación.

- El Límite Plástico, se define arbitrariamente como el contenido de humedad del suelo al cual un cilindro se rompe o resquebraja, cuando se enrolla a un diámetro aproximado de 3 mm.
- El Límite Líquido, es el contenido de humedad por debajo del cual el suelo se comporta como un material plástico. A este nivel de contenido de humedad, el suelo está en el vértice de cambiar su comportamiento al de un fluido viscoso.

6.1.3.1. Límite Líquido

- Equipo.

Aparato de Límite Líquido: Cazuela de Casagrande, Herramienta para hacer la ranura, Dosificador de agua, Cápsula de porcelana y espátula, Vaselina o silicona.

- Procedimiento.

Para el Límite Líquido, se debe pulverizar una cantidad suficiente de suelo secado al aire, utilizar el pasante del tamiz No. 40; y el resto desecharlo pues no es representativo; si es necesario se debe asegurar, mediante el uso de un mortero, la destrucción de todos los grumos presentes.

Calibrar la altura de la caída de la cazuela que se va a utilizar sea de 1 cm. para esto utilizamos la cabeza en forma de dado del ranurador patrón.

Colocar la muestra de suelo en un recipiente de porcelana, añadir una pequeña cantidad de agua y mezclar cuidadosamente hasta obtener un color uniforme y apariencia cremosa. Se debe continuar añadiendo pequeñas cantidades adicionales de agua y mezclando cada vez hasta obtener una muestra homogénea. Cuando se encuentre el suelo en un punto de consistencia (pegajosidad) tal que se pueda estimar (o simplemente hacer un ensayo de prueba) que tomará al rededor de 50 golpes para cerrar una longitud de 12.7 mm. la ranura, remover 20 gr de esta muestra adecuadamente mezclada del plato en el que se está trabajando para determinar posteriormente el límite plástico. Luego se debe añadir un poco más de agua de manera que la consistencia resultante permita un número de golpes para la falla en un rango de 30 a 40.

Colocar dentro de la cazuela de bronce una pequeña cantidad de muestra de suelo, luego se empareja la superficie de la pasta de suelo con una espátula, y mediante la herramienta ranuradora, cortar una ranura clara, recta, perpendicular a la cazuela que separe la masa de suelo en dos partes. Después se hace el conteo de golpes.

Tomar la muestra para medir contenido de humedad y colocarla en un recipiente para humedad cuyo peso debió determinarse con anterioridad, y asegurarse que esta muestra corresponda a la zona donde se cerro la ranura. Remover los restos

del suelo de la cazuela y volverlos al recipiente donde se había preparado la muestra. Lavar y limpiar perfectamente la cazuela.

Añadir una pequeña cantidad de agua al recipiente de porcelana de preparación del suelo y mezclar cuidadosamente hasta obtener una coloración homogénea y consistencia para obtener un número de golpes aproximado ente 25 y 30. Repetir los últimos dos pasos.

Repetir la secuencia para dos ensayos adicionales con un número de golpes entre 20 y 25 y entre 15 y 20, respectivamente , para un total de cuatro determinaciones en el ensayo.

Pesar las cuatro muestras de humedad obtenidas en los diferentes ensayos, remover las tapas y colocar los recipientes en el horno a 110 °C para que se sequen.

6.1.3.2. Límite Plástico.

- Equipo.

Recipientes para el contenido de humedad, placa de vidrio, cápsula de vidrio y varilla de 3 mm. de sección.

- Procedimiento.

Para el Límite plástico, dividir en varios pedazos o pequeñas porciones de muestra del suelo que se había separado con anterioridad.

Enrollar el suelo con la mano extendida sobre una placa de vidrio, con presión suficiente para moldearlo en cilindros de diámetro uniforme. Cuando el diámetro del cilindro de suelo llegue a 3 mm se debe romper en pequeños pedazos, y con ellos moldear nuevamente unas bolas o masas que a su vez vuelvan a enrollarse. Este proceso se debe hacer alternativamente hasta cuando el cilindro de suelo se rompa por presión al enrollado y no permita que se enrolle nuevamente.

Si el cilindro se desmorona a un diámetro superior a 3 mm, esta condición es satisfactoria para definir el límite plástico si el cilindro se había enrollado con anterioridad hasta más o menos 3 mm. La falla del cilindro se puede definir de la siguiente forma:

- a. Simplemente por separación en pequeños pedazos.
- b. Por desprendimiento de escamas de forma tubular.
- c. Pedacitos sólidos en forma de barril de 6 a 8 mm de largo.

Esta secuencia debe repetirse el número de veces que se requiera para producir suficientes pedazos de cilindro que permitan llenar un recipiente de humedad.

Pesar el recipiente cubierto, remover su tapa y colocado dentro del horno. Recoger al siguiente día los pesos de las muestras secas, para poder calcular los contenidos de humedad correspondientes.

6.2. CLASIFICACION DE LOS SUELOS

Las curvas granulométricas que se elaboran en el laboratorio proporcionan un criterio de clasificación; se define granulometría como la división de un suelo en diferentes fracciones, seleccionadas por el tamaño de sus partículas, componentes que se hace por cribado o por vía húmeda.

Para evitar el carácter subjetivo que puede obtenerse de la identificación, la ingeniería ha recurrido a sistemas normalizados, los cuales permiten ubicar los suelos en grupos cuyos patrones generales de comportamiento están definidos, con base en su granulometría y en sus características de plasticidad.

6.2.1. Clasificación de suelos Método AASHTO. La clasificación AASHTO (American Association of State Highway and Transportation) para carreteras se presenta en la tabla 7. en ella, los suelos se dividen en dos grandes grupos: Los suelos granulares son aquellos que tienen 35% o menos del material fino que pasa el tamiz No. 200 estos suelos forman los grupos A-1, A-2 y A-3. Los suelos limo arcillosos y arcillosos que contienen más del 35% del material fino que pasa el tamiz No 200, estos suelos constituyen los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7. Para

cada suelo, además se determina su granulometría simplificada, se determina su límite líquido y límite plástico, deduciendo de ellos su índice de plasticidad.

Tabla 7. Clasificación de suelos por el Método AASHTO

CLASIFICACIÓN GENERAL	MATERIALES GRANULARES (35% o menos pasa el tamiz 0.074 mm)							MATERIALES LIMOARCILLOSOS (Más de 35% pasa el tamiz 0.074)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
GRUPO DE CLASIFICACIÓN	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5 A-7-6
Análisis por tamizado %pase 200 mm (No. 10) 0425 mm (No. 40) 0074 mm (No. 200)	50 máx.	—	—	—	—	—	—				
	30 máx.	50 máx.	51 máx.	—	—	—	—				
	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.				
Características de fracción pasa el tamiz 0425 mm (No. 40) Límite líquido Índice plástico	— 6 máx.	—	—	40 máx. NP	41 mín. 10 máx.	40 máx. 10 máx.	41 mín. 11 máx.	40 máx. 11 máx.	41 mín. 10 máx.	40 máx. 11 máx.	41 mín. 11 máx.
Materiales constitutivos	Fragmentos de piedra, grava y arena		Arena fina	Gravas y arenas limosas o arcillosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Comportamiento como subrasante	EXCELENTE A BUENO							REGULAR A POBRE			

Como parámetro complementario para identificación del material se establece su índice de grupo, usando la siguiente ecuación que diferencia los suelos de un mismo grupo:

$$I.G = 0.2a + 0.005ac + 0.01bd \quad , \quad \text{donde:}$$

a: Porcentaje que pasa el tamiz No.200, comprendido entre el 35% como mínimo y el 75% como máximo, se representará únicamente por un número entero y variará de 0 a 40.

b: Porcentaje que pasa el tamiz No. 200, comprendido entre el 15% como mínimo y el 55% como máximo, se representará por un número entero que variará de 0 a 40.

c: Parte del Límite Líquido comprendida entre el 40% como mínimo y el 60% como máximo, se representará como un número entero que variará de 0 a 20.

d: Indica la porción del valor del índice de plasticidad comprendida entre el 10 % como mínimo y el 30% como máximo, se representará como un número entero que variará de 0 a 20.

6.2.2. Clasificación Unificada de Suelos (U.S.C). identifica los suelos y los agrupa de acuerdo con su comportamiento como material de construcción y sus propiedades granulométricas y de plasticidad. Se divide en 2 grandes grupos: Los suelos gruesos granulares con más del 50% queda retenido en el tamiz No. 200 y los suelos de granulometría fina en los cuales más del 50% pasa el tamiz No. 200.

Dentro del grupo granular se distinguen las gravas si más de la mitad de la fracción gruesa queda retenida en el tamiz No 4. y arenas si ocurre lo contrario. Este método denota los suelos mediante los siguientes símbolos, las combinaciones permiten su clasificación.

G: Grava o suelo gravoso.

S: Arena o suelo arenoso.

M: Limo inorgánico o arena fina.

C: Arcilla.

W: Bien gradado.

P: Mal gradado.

L: Bajo límite líquido.

H: Alto límite líquido.

O: Arcilla Orgánica.

Pt: Turba o Suelo orgánico.

En los suelos de granulometría fina se distinguen los limos arcillosos y las arcillas mediante la carta de plasticidad que se muestra en la figura 3.

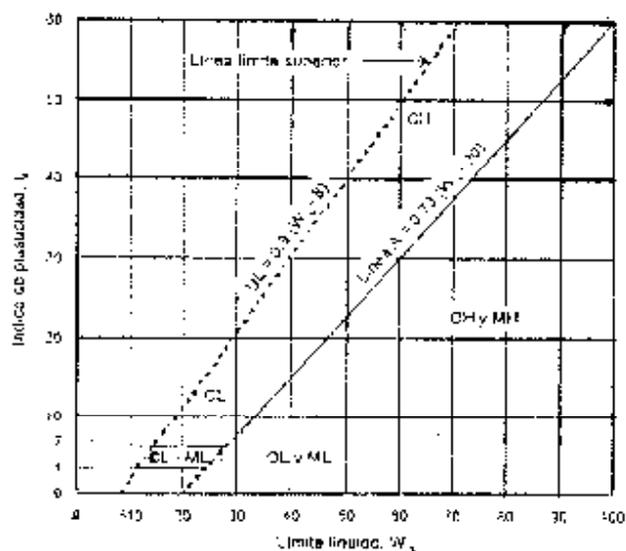


Figura 3. Carta de Plasticidad de Casagrande.

7. VARIABLE TRÁNSITO

Se define como el conjunto de vehículos que circulan por una obra vial, los cuales producen la mayor parte de los esfuerzos a que va a estar sujeta la estructura de la misma. (1)

La estructura de un pavimento se encuentra sometida a las cargas móviles del tránsito; para el diseño es necesario tener en cuenta dentro de esta variable aspectos determinantes, tales como: características de los vehículos, su cantidad, peso y distribución transversal del tránsito en la superficie del pavimento, además y aunque frecuentemente no se les concede importancia, la velocidad y el impacto sobre algunas zonas del pavimento, son factores que merecen alguna consideración.

7.1 ASPECTOS RELACIONADOS CON EL TRÁNSITO QUE INTERVIENEN EN EL DISEÑO.

- **Peso y número de vehículos.** Aspecto determinante en el diseño de un pavimento; el peso produce en la estructura esfuerzos y deformaciones instantáneas y el número de vehículos, por el efecto que produce la repetición de las cargas, induce “fatiga” en el pavimento rígido y genera deformaciones permanentes en el pavimento flexible. (11)

- Velocidad de los vehículos. Los vehículos en movimiento producen cierto desgaste en la superficie del pavimento debido a efectos de roce y succión. Se ha comprobado que a medida que se aumenta la velocidad se crea un vacío que libera parte del peso del vehículo disminuyendo los esfuerzos y deformaciones a que está sometida la estructura. La figura 4. ilustra dicho efecto, con base en los resultados obtenidos en el experimento vial de la AASHTO. (11)

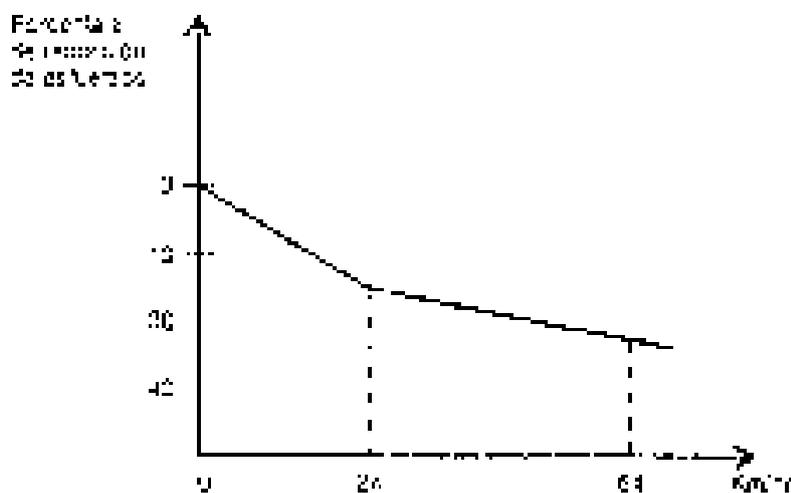


figura 4. Incidencia de la velocidad en los esfuerzos.

- Impacto. Este aspecto es más relevante en los pavimentos rígidos dada la presencia de discontinuidades en las losas (juntas) incrementando el efecto de las cargas hasta en un 50% con el consecuente deterioro del pavimento. Un adecuado diseño y construcción de las juntas minimizan este efecto.
- Distribución transversal del tránsito. El pavimento se diseña para el carril derecho que es el más desfavorable, ya que los vehículos comerciales en alto porcentaje transitan por él. En los pavimentos de carreteras, las ruedas exteriores de los vehículos circulan a una distancia del borde del pavimento que oscila entre 0.6 y 0.9 m. del borde, de acuerdo con el ancho total de la vía.

7.2. DEFINICIONES

7.2.1. Vehículos Comerciales. Son aquellos de más de 5 toneladas de capacidad. En este grupo se tienen entre otros, los camiones, furgones, buses, tractocamiones, remolques, etc. (1)

7.2.2. Vehículos livianos. Vehículos automotores cuyo peso total, incluida la carga, es menor que 5 toneladas. En este grupo se encuentran los automóviles, camperos, camionetas, etc. Desde el punto de vista del diseño de pavimentos, solo tienen interés los vehículos pesados, es decir aquellos cuyo peso excede las 5 toneladas. (1)

7.2.3. Eje simple o sencillo. Ensamble de dos o cuatro llantas unidas entre sí por una línea de rotación; puede ser de llanta sencilla cuando en cada uno de sus extremos posee una sola llanta ó de llanta doble en caso de conectar pares de llantas (figura 5.).

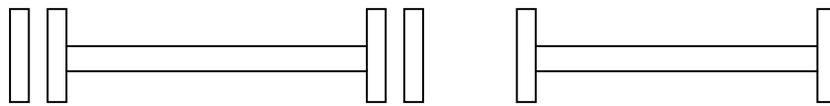


Figura 5. Ejes Sencillos.

7.2.4. Eje tándem o doble. Eje conformado por dos líneas de rotación que están articuladas por un dispositivo común que incluye un sistema efectivo de compensación para las cargas transmitidas a cada una de ellas; el eje tándem más común consta de ocho llantas.

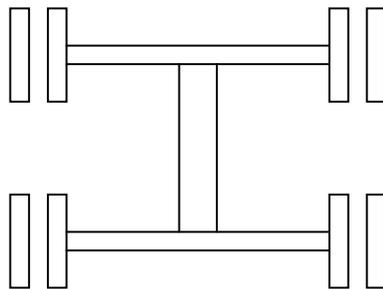


Figura 6. Eje Tandem o Doble.

7.2.5. Eje triple. Eje conformado por tres líneas de rotación articuladas con un dispositivo de función similar a la descrita para el caso del eje tándem.

El eje triple puede ser de llanta sencilla cuando el ensamble consta de seis llantas o de llanta doble cuando consta de doce llantas (el más común).

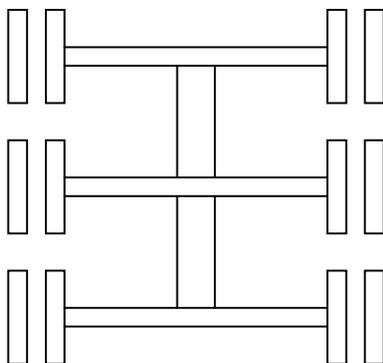


Figura 7. Eje Tridem o Triple.

7.2.6. Volumen de tránsito. Número total de vehículos que circulan por una sección de la vía en un periodo de tiempo determinado. Para los propósitos de diseño es importante cuantificar el volumen de tránsito discriminando los tipos de vehículos que utilizan el pavimento (vehículos livianos y comerciales).

7.2.7. Tránsito Promedio Diario TPD. El tránsito promedio diario (TPD) es la relación entre el volumen de tránsito y el número de días del periodo durante el cual se determina dicho volumen:

De acuerdo con lo anterior, se puede determinar el TPD para diferentes periodos:

$$\text{TPD} = \frac{\text{Volumen de tránsito}}{\text{No. de días del periodo.}}$$

Donde:

TPDD: Si el periodo es un día.

TPDS: Si el periodo es una semana.

TPDM: Si el periodo es mensual.

TPDA: Si el periodo es anual.

7.2.8. Tránsito atraído. Es aquel volumen de tránsito que, sin cambiar ni su origen ni su destino, puede ocupar la futura vía pavimentada, debido a las nuevas condiciones de seguridad y comodidad.

7.2.9. Tránsito generado. Es aquel volumen de tránsito que circulará por la vía como consecuencia del desarrollo económico y social de la zona de influencia.

7.2.10. Tránsito existente. Es el volumen de tránsito que posee la vía antes de ser pavimentada.

7.2.11. Tránsito inducido. Es la suma del tránsito atraído y del tránsito generado.

7.3. NOMENCLATURA

Los vehículos comerciales se determinan de acuerdo con el número de líneas de rotación del vehículo, de acuerdo a la figura 8.

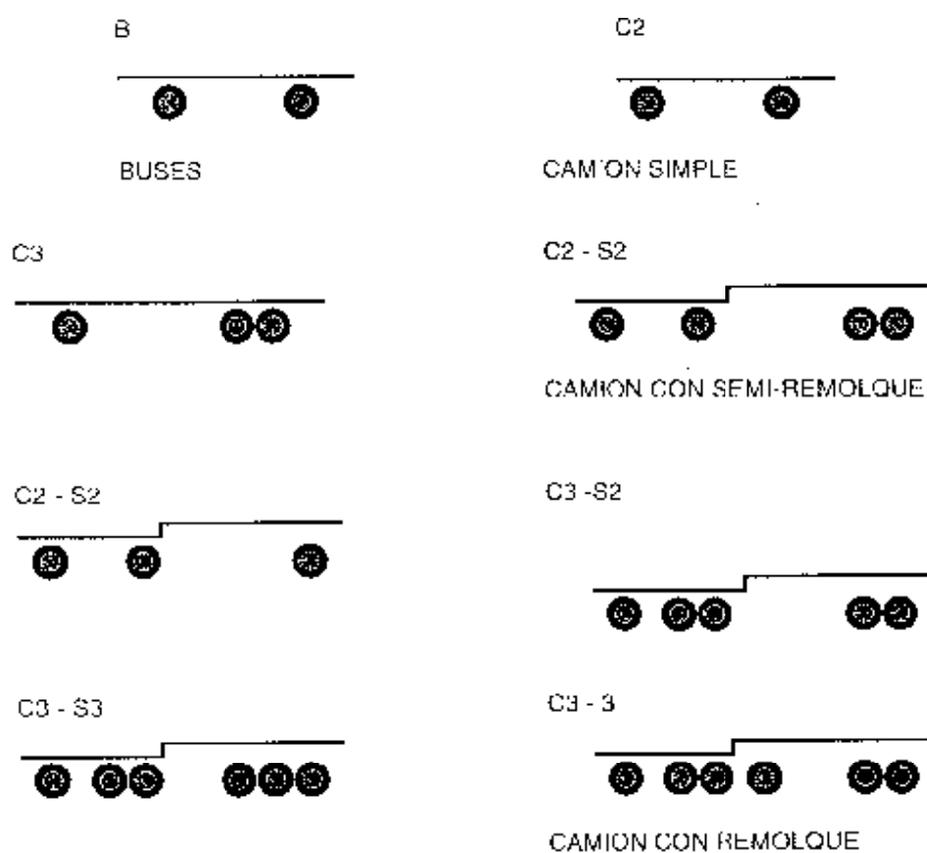


FIGURA 8. Tipo de vehículos comerciales.

7.4. CARGA MÁXIMA LEGAL

Los pesos máximos según resolución 13791 de 1988 del Ministerio de Transporte, que se autoriza para los vehículos que circulan por las carreteras del país son: (1)

- Eje simple de llanta doble, 11 ton.
- Eje tandem de llanta doble, 22 ton.
- Eje triple de llanta doble, 24 ton.

8. REHABILITACION DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

8.1. GENERALIDADES

La necesidad de rehabilitar un pavimento se plantea normalmente por estimar que se ha agotado o está a punto de agotarse su vida útil o bien por considerarse que los gastos de conservación son excesivos y rebasan los normales para el tipo de pavimento de que se trata. En casos menos frecuentes, puede ocurrir que se prevea un crecimiento brusco del tráfico de modo que el pavimento, aún sin presentar síntomas de agotamiento, resulte insuficiente para soportar el nuevo tráfico. (6)

El concepto de rehabilitación permite definir el “ciclo de vida” en función del tiempo o del tránsito. Con este criterio no solo se incluye la rehabilitación como una variable de diseño, sino que se reconoce además que los pavimentos no se construyen para que permanezcan en condiciones excelentes durante su vida completa, sin tener que realizar trabajos adicionales, sino que la mayoría de los diseños involucran dos o más períodos de comportamiento en los cuales: el pavimento se construye a un nivel de calidad o servicio inicial, se deteriora hasta alcanzar niveles inaceptables a cierta época de su vida, se rehabilita a un nivel aceptable, con el fin de que continúe sirviendo al tránsito, es decir, existen varios

ciclos en los cuales el pavimento es analizado. El primero de estos ciclos corresponde al “ciclo de diseño” y los siguientes a los “ciclos de rehabilitación”. (6)

8.2. MÉTODOS PARA EL CÁLCULO DE REFUERZOS

Se pueden clasificar en tres categorías principales:

8.2.1. Métodos basados en asimilación de los dimensionamientos de pavimentos nuevos. Reúne los métodos en que se asimila cada capa del pavimento, según su estado, a un espesor ficticio equivalente y se determina el refuerzo necesario por diferencia con el dimensionamiento de un pavimento nuevo, teniendo en cuenta la capacidad portante de la subrasante y el tráfico previsible en el período del proyecto. (6)

8.2.2. Métodos empíricos basados en las deflexiones. Existen numerosos métodos distintos, pero todos ellos parten de la hipótesis de que hay una relación directa entre el comportamiento de un pavimento y su deflexión. El espesor de refuerzo se calcula de modo que éste se reduzca a un nivel aceptable, determinado empíricamente de acuerdo con el número de aplicaciones de carga equivalente al tráfico previsto. (6)

Unos métodos emplean ábacos establecidos empíricamente; otros se presentan en forma de catálogo de estructuras capaces de resolver el problema de acuerdo con el tráfico previsible y las deflexiones obtenidas. (6)

8.3. REHABILITACIÓN DE PAVIMENTOS FLEXIBLES POR MÉTODOS RACIONALES

Para la restauración de un pavimento a su nivel de servicio inicial, o sea para que preste a los usuarios un servicio satisfactorio durante el ciclo de rehabilitación, es necesario realizar las siguientes actividades, las cuales están asociadas al diseño de la rehabilitación. (6)

8.3.1. Evaluación del pavimento existente. Comprende:

- Evaluación superficial o funcional del pavimento.
- Evaluación estructural del pavimento.
- Evaluación del sistema de drenaje y sub-drenaje. (6)

8.3.2. Tramificación de zonas homogéneas. Es necesario hacer una evaluación global del pavimento, la cual consiste en agrupar la información de los estudios de evaluación superficial, evaluación estructural y evaluación del sistema de drenaje y sub-drenaje, esto con el fin de interrelacionar los resultados obtenidos y facilitar el fraccionamiento del tramo en secciones homogéneas (mínimo 200 m), en cuanto a daños, regularidad superficial, deflexiones y estructura del pavimento. (6)

8.3.3. Modelación del pavimento. Después de identificar las zonas homogéneas con la ayuda de un programa de computador, se busca para cada zona una estructura tal, que presente un valor de deflexión y radio de curvatura calculados

con la teoría elástica semejantes a la deflexión característica y radio de curvatura asociado medidos en el pavimento con la viga Benkelman. (6)

$$D_c = \bar{D} + mS$$

Donde: \bar{D} : Deflexión promedio de la zona homogénea

D_c : Deflexión característica.

S : Desviación estándar.

m : De acuerdo a:

m	% de confianza
0.0	50
0.62	75
1.0	85
1.28	90
1.65	95
2.0	97
2.33	99

En Colombia se toma $m=1$ o sea, que el 85% de los datos quedan por debajo del valor de la deflexión característica (D_c).

**9. ESTUDIO Y ANÁLISIS ESTRUCTURAL DEL TRAMO DE PAVIMENTO
COMPRENDIDO ENTRE EL PR 127+140 - PR 116+340 DE
LA VÍA PEDREGAL - TUQUERRES**

**9.1. EVALUACIÓN SUPERFICIAL O FUNCIONAL DEL PAVIMENTO
FLEXIBLE EXISTENTE**

En la evaluación funcional se indica básicamente como se comporta el pavimento desde el punto de vista de su superficie de rodadura la cual interesa al usuario de la vía (6), así la información recolectada servirá para clasificar y cuantificar los diferentes daños de la superficie de la calzada y poder aplicar las diferentes metodologías de mantenimiento, reparación y recuperación del pavimento.

Según el anexo 3. sobre inventario de daños se observa en la calzada del pavimento en estudio diferentes tipos de daños que en forma general se pueden clasificar como fisuras en bloque en las huellas del tránsito, corrimientos de carpeta en algunos puntos bien definidos como hundimientos de la calzada en forma localizada. El sistema de drenaje consta de un nutrido número de obras de arte como son alcantarillas, box culvertes, disipadores de Energía, pontones y cunetas casi en su totalidad a lo largo de la vía.

Existe un sector comprendido entre las abscisas PR 124+440 al PR 125+040, que por su elevado estado de deterioro se puede concluir que ha terminado su vida útil y que requiere una pronta solución de reconstrucción para mejorar su capacidad estructural y elevar el nivel de servicio para el que debe estar diseñada esta vía (tema no desarrollado en éste trabajo de grado). En este sector se presentan diferentes tipos de daños con grandes porcentajes de áreas deterioradas, predominando grietas piel de cocodrilo, deformaciones, hundimientos, desprendimiento de agregados y ligante, ojos de pescado y un sinnúmero de parcheos de diversas dimensiones.

El sistema de drenaje en el anterior sector, es deficiente ya que no cuenta con cunetas y las pocas alcantarillas que existen ya no son aptas para las condiciones Imperantes de la vía.

9.2. EVALUACIÓN ESTRUCTURAL

La evaluación estructural tiene como finalidad, determinar la Estructura del pavimento existente, como también conocer su comportamiento bajo la acción de una carga. Las actividades principales a realizar son: (6)

9.2.1. Evaluación deflectométrica. Dicha evaluación se realizó con la viga Benkelman doble, con la que cuenta el laboratorio de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Nariño, la cual cuenta con las especificaciones ya expuestas en el capítulo 5 numeral 5.3.3.1.

9.2.2. Exploración geotécnica preliminar.

9.3. ANÁLISIS DE LA EVALUACIÓN DEFLECTOMÉTRICA

Los datos deflectométricos del carril en estudio (carril derecho en sentido Pedregal – Túquerres), se procesaron en el programa “DEFLEX”, con el cual se obtiene el perfil de deflexiones y radios de curvatura y así mismo los resultados estadísticos, determinándose el rango de valores, valor promedio, desviación estandar, y cálculo de la deflexión características de cada sector con un nivel de confianza del 85%. Estos valores se pueden apreciar en el anexo 4.

En el anexo 1 se presentan las carteras de campo con las lecturas tomadas con la Viga Benkelman a lo largo de todo el tramo de vía. En el anexo 2. se presentan las carteras de deflexiones calculadas, en las cuales las deflexiones son expresadas en 1/100 mm y los radios de curvatura en metros.

9.4. SECTORIZACIÓN

Con el fin de definir los sectores homogéneos del tramo de vía se agrupó la información de la evaluación deflectométrica, evaluación funcional o superficial, y evaluación del sistema de drenaje, se interrelacionaron los resultados obtenidos y con la anterior información, el tramo es dividido en sectores los cuales presenta valores homogéneos de deflexión (las deflexiones son el parámetro más representativo para la selección de los sectores homogéneos). En los sectores en donde predominaban medidas altas se descartaron los valores bajos y visceversa

para el análisis estadístico. En las zonas donde la magnitud de las deflexiones es alta, se requiere un estudio especial para la corrección de fallas localizadas. En la tabla 8. se indican los diferentes sectores en que fue dividido el tramo acompañados de su deflexión característica y su radio de curvatura asociado.

Tabla 8. Sectorización de la vía.

SECTOR	ABSCISAS	DEFLEXIÓN CARACTERISTICA	RADIO DE CURVATURA ASOCIADO
1	PR 116+340 PR 119+215	106	71
2	PR 119+215 PR 120+965	130	41.1
3	PR 120+965 PR 123+415	88	111.6
4	PR 123+415 PR 124+440	113	65.1
5	PR 124+440 PR 125+040	122	52.1
6	PR 125+040 PR 125+315	116	86.8
7	PR 125+315 PR 125+740	84	86.8
8	PR 125+740 PR 126+090	149	65.1
9	PR 126+090 PR 126+590	75	78.1
10	PR 126+590 PR 127+140	120	65.1

(Se recuerda que para todos los casos de análisis los datos del sector 5 no se tendrá en cuenta)

De acuerdo con la tabla 8, se puede concluir que los sectores que ameritan obras de mejoramiento (refuerzo), son los siguientes:

- Sector 1.
- Sector 2.
- Sector 4.
- Sector 6.
- Sector 8.
- Sector 10.

Los cuales presentan valores altos de deflexión (mayores a 100/100 mm) y radios de curvatura bajos (menores a 80 mts.), lo que nos indica debilidad estructural del pavimento.

El sector 5 debido a su estado de deterioro se clasifica como un pavimento fatigado que ha cumplido su vida útil de servicio, el cual requiere un tratamiento más profundo, como puede ser la reconstrucción total de dicho sector, aplicando otras metodologías de rehabilitación diferentes a la colocación de un refuerzo (sector no desarrollado en éste trabajo de grado).

Los sectores restantes (3, 7 y 9), de acuerdo a la evaluación realizada indica que el pavimento se encuentra en buenas condiciones de trabajo, por lo cual no requieren obras de mejoramiento, sino un mantenimiento periódico y oportuno.

9.5. IDENTIFICACIÓN DE LAS ABSCISAS REPRESENTATIVAS DE CADA UNO DE LOS SECTORES

Después de identificar los sectores homogéneos, en la cartera de deflexiones y radios de curvatura, se busca para cada uno de los sectores una deflexión semejante a su deflexión característica, lo cual permite la identificación de la abscisa representativa del sector homogéneo, es decir el sitio donde se hará una evaluación geotécnica de acuerdo a las deflexiones características de cada uno de los sectores en que se divide el tramo.

Las abscisas representativas seleccionadas para la realización de la evaluación geotécnica son las indicadas en la tabla 9.

Tabla 9. Abscisas representativas de los sectores homogéneos.

SECTOR	ABSCISA REPRESENTATIVA
1	PR 117+140
2	PR 119+415
3	PR 123+190
4	PR 123+540
5	PR 124+665
6	PR 125+090
7	PR 125+515
8	PR 125+790
9	PR 126+315
10	PR 126+840

9.6. EVALUACIÓN GEOTÉCNICA

Los objetivos de la evaluación son: definir los espesores de las capas del pavimento, determinar las características de los materiales que actualmente conforman la estructura de este pavimento, hallar el valor del CBR “in-situ” de la subrasante. Los pasos a seguir en esta evaluación son:

- Trabajo de campo y toma de muestras
- Trabajos de laboratorio.
- Análisis y conclusiones de la Evaluación Geotécnica.

9.6.1. Análisis y conclusiones de la Evaluación Geotécnica.

9.6.1.1. Perfiles Estratigráficos. La estratigrafía a lo largo del tramo de vía se puede describir de la siguiente forma: se tiene un espesor de capa de rodadura que oscila entre 4-6 cm. construida con una MDC-2, con tamaño máximo de agregado de $\frac{3}{4}$ de pulgada. La siguiente capa que es una base asfáltica construida con una MDC-1 con tamaño máximo de agregado de 1 pulgada, tiene un espesor constante de 5 cm, las 2 siguientes capas de base y sub-base granular tienen un espesor de 10 cm. y posterior a estas hay una capa que corresponde a la estructura granular del pavimento existente antes de realizar los trabajos de rehabilitación la cual tiene espesores que oscilan entre 28 – 78 cm. La estratigrafía se puede apreciar en el anexo 8.

9.6.1.2.Sub-rasante. El suelo de sub-rasante está constituido en su parte inicial desde el PR 127 + 140 hasta el PR 124 + 665 aproximadamente por arenas arcillosas, producto de la meteorización de los aglomerados y tobas volcánicas. Posterior al PR 124 + 665 se identifican arenas limosas y arcillosas (SM – SC) y arcillas volcánicas (CL) con tamaño de partículas finas.

9.6.1.3.Capacidad de soporte de la sub-rasante. El estudio se realizó por medio de la prueba de CBR de campo y los resultados obtenidos son los consignados en la tabla 10.

Tabla 10. Resultados de la prueba de C.B.R. de campo.

RESULTADOS DE LA PRUEBA DE CBR DE CAMPO			
ABSCISA	PROF. (m)	CBR (%)	CAPA
PR 127+250	0.20	13.0	SUB-BASE
PR123+250	0.25	38.0	SUB-BASE
PR 122+250	0.50	7.8	SUBRASANTE
PR 121+250	0.30	47.0	AFIRMADO
PR 120+250	0.05	15.0	BASE
PR 118+250	0.40	10.0	SUBRASANTE
PR 117+250	0.20	104.0	SUB-BASE
PR 116+250	0.45	15.0	SUBRASANTE
PR 115+250	0.05	51.0	BASE

Los anteriores valores se correlacionaron con los datos de CBR de la subrasante obtenidos con el Penetrómetro Dinámico de Cono. (tabla 11). En los dos casos y como resultado de las muchas variaciones en los valores obtenidos, como imprecisiones que pueden cometerse al efectuar los ensayos y asegurando un valor representativo del tramo para el diseño de refuerzo, el percentíl a seleccionar para el valor del CBR fue del 100 %, y se tomó el menor valor obtenido para todo el tramo que fue de 7.8%, este valor de C.B.R. se adoptó como el de diseño para este estudio, extraído del “Informe técnico económico de las alternativas para el nuevo diseño estructural del pavimento del sector Pedregal – Túquerres”.

Tabla 11. Datos de C.B.R. de la sub-rasante obtenidos por medio del Cono Dinámico de Penetración.

DATOS DE CBR DE LA SUBRASANTE OBTENIDOS POR CORRELACIÓN DIRECTA CON LOS VALORES DEL CONO DINÁMICO DE PENETRACIÓN		
ABSCISAS	PROFUNDIDAD (cm)	CBR SUBRASANTE
PR 127+750		
PR 126+750		
PR 125+750	48.0-106.0	47
PR 124+750	16.5-78.6	151
PR 123+750	56.0-107.8	36
PR 122+750	41.0-86.5	269
PR 121+750	67.0-125.6	17
PR 120+750	34.5-71.7	174
PR 119+750	45.9-126.8	12
PR 118+150	31.6-113.1	50
PR 117+150	28.5-110.7	10
PR 116+750	33.1-113.3	17
PR 115+750		

9.7. CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES CONSTITUTIVOS DE LAS CAPAS DEL PAVIMENTO A REFORZAR

9.7.1. Módulo de Resiliencia de la Sub-rasante. El Módulo de Resiliencia de la Sub-rasante, se calculó con la fórmula propuesta por la Shell, según la cual:

$$MR = 100 * CBR$$

Donde MR es el módulo resiliente en Kg/cm² y el CBR está dado en %.

9.7.2. Módulo de Elasticidad de las Capas Granulares. Los módulos de elasticidad de las capas granulares se calcularon con la fórmula:

$$E_{\text{capa granular}} = 0.206 * h^{0.45} * E_{\text{capa inferior}}$$

Donde: E : Módulo de Elasticidad en Kg/cm²

h : Espesor de la capa granular en mm.

9.7.3. Módulos de Elasticidad de los Concretos Asfálticos. Los módulos de elasticidad de los concretos asfálticos para la modelación, se tomaron los sugeridos por ingenieros que estuvieron relacionados con el proyecto inicial de rehabilitación de la vía, quienes tienen larga experiencia en el campo de la Ingeniería de Pavimentos. Los valores recomendados son:

- Ecapa de rodadura=12000 Kg/cm²
- Ebase asfáltica= 10000 kg/cm²

9.7.4. Módulos de Poisson. Se tomaron de acuerdo a la tabla 15.

Tabla 15. Módulos de Poisson.

MATERIAL	μ
Mezcla asfáltica	0.35
Concreto	0.15
Material granular no tratado	
Tipo base	0.4
Tipo sub-base	0.45
Material granular tratado con cemento	0.15
Material fino tratado con cemento	0.25
Materiales estabilizados con cal	0.2
Arena suelta	0.3
Arena densa	0.35
Suelos finos	0.4
Arcillas blandas saturadas	0.45

10. DISEÑO DE LAS ALTERNATIVAS DE REHABILITACIÓN DEL TRAMO DE PAVIMENTO COMPRENDIDO ENTRE EL PR 127+140 AL PR 116+340 DE LA VÍA PEDREGAL-TUQUERRES

10.1. MODELACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS INICIALES

Una vez definidas las variables que afectan el comportamiento estructural y funcional del pavimento, se procedió a modelar las estructuras iniciales mediante el programa DEPAV (ver anexo 6.), el cual requiere como parámetros de entrada:

- Espesor de cada capa en cm.
- Módulos dinámicos de cada capa en Kg/cm^2 .
- Relación de Poisson para cada capa.

Como se puede apreciar en la estratigrafía (ver anexo 8.), la estructura del pavimento existente, consta de seis capas, que al adicionarles la capa de refuerzo ascenderían a siete, las cuales no pueden ser procesadas en el programa DEPAV ya que este admite únicamente estructuras de pavimento que tengan hasta seis capas, por lo cual se decidió tomar la sub-base y la capa granular de la estructura antigua como una sola, obteniéndose un módulo de elasticidad equivalente para estas dos capas, como se puede observar en el ejemplo de la figura 9. que corresponde al sector 1. Los resultados para las otras estructuras iniciales de los

demás sectores se encuentran consignados en la tabla 16. para las cuales se siguió el mismo proceso del ejemplo de la figura 9.

ESPESOR	CAPA		
6	CAPA DE RODADURA	E = 12000 Kg/cm ² μ = 0.35	
5	BASE ASFÁLTICA	E = 10000 Kg/cm ² μ = 0.35	
10	BASE GRANULAR	E = 5383 Kg/cm ² μ = 0.40	
10	SUB-BASE GRANULAR	E = 5040 Kg/cm ² μ = 0.40	E _{EQUIVALENTE} =3290 kg/cm ² μ = 0.45
71	CAPA GRANULAR	E = 3080 Kg/cm ² μ = 0.45	
	SUBRASANTE	MR=780 Kg/cm ² μ = 0.50	

$$E_{EQUIVALENTE} = E_1 \left(h_1 + h_2 \cdot \sqrt[3]{\frac{E_2}{E_1}} \right) / \sum_{i=1}^{n-1} h_i$$

$$E_{EQUIVALENTE} = 5040 \left(0.10 + 0.71 \cdot \sqrt[3]{\frac{3080}{5040}} \right) / (0.10 + 0.71)$$

$$E_{EQUIVALENTE} = 3290 \text{ Kg / cm}^2$$

Figura 9. Ejemplo de Cálculo del Módulo de Elasticidad Equivalente. (Sub-base + Capa granular) Sector 1.*

* DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA-Geosistemas Pavco. Manual de diseño, Editora Impresos Comerciales LTDA. Segunda Edición. Bogotá D.C. 2001. P.119.

Tabla 16. Módulos Equivalentes Estructuras Iniciales. (Sub-base + Capa granular)

SECTOR	E equivalente kg/cm²
1	3290
2	3250
3	2327
4	2627
6	3344
7	2594
8	2643
9	3415
10	2688

SECTOR HOMOGÉNEO				ESTRUCTURA EXISTENTE				PARAMETROS MEDIDOS EN EL CAMPO		PARAMETROS CALCULADOS	
No.	ABSCISAS	LONGITUD (mts)	ABSCISA REPRESENTAT.	CAPA	ESPESOR (cm)	MÓDULO (Kg/cm ²)	u (M. Poisson)	DEFLEXIÓN 1/100 mm	R.CURVATURA ASOCIADO (m)	DEFLEXIÓN 1/100mm	R.CURVATURA (m)
1	PR 116 +340 PR 119+215	2875	PR 117+140	CAPA DE RODADURA	6	12000	0.35	106	71	30.01	182.5
				BASE ASFÁLTICA	5	10000	0.35				
				BASE GRANULAR	10	5383	0.4				
				CAPA GRANULAR EQUIVALENTE	81	3290	0.45				
				SUB-RASANTE		780	0.5				
2	PR 119+215 PR 120+965	1750	PR 119+415	CAPA DE RODADURA	4	12000	0.35	130	41.1	31.37	161.51
				BASE ASFÁLTICA	5	10000	0.35				
				BASE GRANULAR	10	5318	0.4				
				CAPA GRANULAR EQUIVALENTE	79	3250	0.45				
				SUB-RASANTE		780	0.5				
3	PR 120+965 PR 123+415	2450	PR 123+190	CAPA DE RODADURA	4	12000	0.35	88	111.6	44.85	123.33
				BASE ASFÁLTICA	5	10000	0.35				
				BASE GRANULAR	10	3807	0.4				
				CAPA GRANULAR EQUIVALENTE	38	2327	0.45				
				SUB-RASANTE		780	0.5				
4	PR 123+415 PR 124+440	1025	PR 123+540	CAPA DE RODADURA	4	12000	0.35	113	65.1	38.6	136.88
				BASE ASFÁLTICA	5	10000	0.35				
				BASE GRANULAR	10	4298	0.4				
				CAPA GRANULAR EQUIVALENTE	56	2627	0.45				
				SUB-RASANTE		780	0.5				
5	PR 124+440 PR 125+040	600	PR 124+665	CAPA DE RODADURA	2	1400	0.35	122	52.1	33.45	317.77
				BASE GRANULAR	14	9899	0.4				
				SUB-BASE GRANULAR	20	5200	0.45				
				MEJORAM SUB-RASANTE	38	2327	0.45				
				SUB-RASANTE		780	0.5				

MODELACION ESTRUCTURAS INICIALES (CONTINUACION)

SECTOR HOMOGÉNEO				ESTRUCTURA EXISTENTE				PARAMETROS MEDIDOS EN EL CAMPO		PARAMETROS CALCULADOS	
No.	ABSCISAS	LONGITUD (mts)	ABSCISA REPRESENTAT.	CAPA	ESPESOR (cm)	MÓDULO (Kg/cm ²)	u (M. Poisson)	DEFLEXIÓN 1/100 mm	R.CURVATURA ASOCIADO (m)	DEFLEXIÓN 1/100mm	R.CURVATURA (m)
6	PR 125+040 PR 125+315	275	PR 125+090	CAPA DE RODADURA	6	12000	0.35	116	86.8	29.45	184.54
				BASE ASFÁLTICA	5	10000	0.35				
				BASE GRANULAR	10	5472	0.4				
				CAPA GRANULAR EQUIVALENTE	84	3344	0.45				
				SUB-RASANTE		780	0.5				
7	PR 125+315 PR 125+740	425	PR 125+515	CAPA DE RODADURA	4	12000	0.35	84	86.8	40.33	134.77
				BASE ASFÁLTICA	5	10000	0.35				
				BASE GRANULAR	10	4244	0.4				
				CAPA GRANULAR EQUIVALENTE	48	2594	0.45				
				SUB-RASANTE		780	0.5				
8	PR 125+740 PR 126+090	350	PR 125+790	CAPA DE RODADURA	4	12000	0.35	149	65.1	39.55	136.84
				BASE ASFÁLTICA	5	10000	0.35				
				BASE GRANULAR	10	4325	0.4				
				CAPA GRANULAR EQUIVALENTE	50	2643	0.45				
				SUB-RASANTE		780	0.5				
9	PR 126+090 PR 126+590	500	PR 126+315	CAPA DE RODADURA	4	12000	0.35	75	78.1	29.61	167.52
				BASE ASFÁLTICA	5	10000	0.35				
				BASE GRANULAR	10	5588	0.4				
				CAPA GRANULAR EQUIVALENTE	88	3415	0.45				
				SUB-RASANTE		780	0.5				
10	PR 126+590 PR 127+140	550	PR 126+840	CAPA DE RODADURA	4	12000	0.35	120	65.1	38.83	138.74
				BASE ASFÁLTICA	5	10000	0.35				
				BASE GRANULAR	10	4398	0.4				
				CAPA GRANULAR EQUIVALENTE	52	2688	0.45				
				SUB-RASANTE		780	0.5				

Tabla 17. Modelación Estructuras Iniciales.

Se definieron unas estructuras iniciales de acuerdo con los parámetros definidos mediante fórmulas empíricas (según numeral 9.7), con lo que se obtuvo unas deflexiones características y radios de curvatura, que no fueron los realmente medidos en el campo. Estos valores se resumen en la tabla 17.

10.2. MODELACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS FINALES DE DISEÑO

Debido a lo anterior se comenzó a modelar las estructuras, cambiando de preferencia los módulos de elasticidad de las diferentes capas del pavimento, sin modificar los espesores de las capas (porque son datos tomados del apique), hasta encontrar aquellas cuya deflexión característica fuera igual o por lo menos muy próxima a la medida en el campo. Este parámetro fue más influyente para la modelación que el radio de curvatura siendo imposible que se cumplieran los dos a cabalidad.

Las estructuras encontradas de tal forma que su deflexión fuese igual a la deflexión característica hallada en el campo, se definen con sus respectivos módulos y relaciones de poisson en las figuras 10 a 18, y su modelación se aprecia en el anexo 7. realizada con ayuda del programa DEPAV. Estas estructuras son la base para determinar el espesor de diseño de la capa de refuerzo.

En la tabla 18. se resume la modelación de las estructuras finales de diseño.

Capa de Rodadura existente $E_5 = 7500 \text{ Kg/cm}^2$, $\mu_5 = 0.35$ $h_5 = 6 \text{ cm.}$
Base asfáltica $E_4 = 4500 \text{ Kg/cm}^2$, $\mu_4 = 0.35$ $h_4 = 5 \text{ cm.}$
Base granular $E_3 = 850 \text{ Kg/cm}^2$, $\mu_3 = 0.40$ $h_3 = 10 \text{ cm.}$
Capa granular equivalente $E_2 = 650 \text{ Kg/cm}^2$, $\mu_2 = 0.45$ $h_2 = 81 \text{ cm.}$
Subrasante $MR = 400 \text{ Kg/cm}^2$, $\mu_1 = 0.50$

Figura 10.
ESTRUCTURA MODELIZADA SECTOR 1
PR 116+340 - PR 119+215

Capa de Rodadura existente $E_5 = 8000 \text{ Kg/cm}^2$, $\mu_5 = 0.35$ $h_5 = 4 \text{ cm.}$
Base asfáltica $E_4 = 4500 \text{ Kg/cm}^2$, $\mu_4 = 0.35$ $h_4 = 5 \text{ cm.}$
Base granular $E_3 = 800 \text{ Kg/cm}^2$, $\mu_3 = 0.40$ $h_3 = 10 \text{ cm.}$
Capa granular equivalente $E_2 = 500 \text{ Kg/cm}^2$, $\mu_2 = 0.45$ $h_2 = 79 \text{ cm.}$
Subrasante $MR = 400 \text{ Kg/cm}^2$, $\mu_1 = 0.50$

Figura 11.
ESTRUCTURA MODELIZADA SECTOR 2
PR 119+215 - PR 120+965

Capa de Rodadura existente $E_5 = 8500 \text{ Kg/cm}^2$, $\mu_5 = 0.35$ $h_5 = 4 \text{ cm.}$
Base asfáltica $E_4 = 5500 \text{ Kg/cm}^2$, $\mu_4 = 0.35$ $h_4 = 5 \text{ cm.}$
Base granular $E_3 = 1100 \text{ Kg/cm}^2$, $\mu_3 = 0.40$ $h_3 = 10 \text{ cm.}$
Capa granular equivalente $E_2 = 780 \text{ Kg/cm}^2$, $\mu_2 = 0.45$ $h_2 = 38 \text{ cm.}$
Subrasante $MR = 650 \text{ Kg/cm}^2$, $\mu_1 = 0.50$

Figura 12.
ESTRUCTURA MODELIZADA SECTOR 3
PR 120+965 - PR 123+415

Capa de Rodadura existente $E_5 = 6700 \text{ Kg/cm}^2$, $\mu_5 = 0.35$ $h_5 = 4 \text{ cm.}$
Base asfáltica $E_4 = 4000 \text{ Kg/cm}^2$, $\mu_4 = 0.35$ $h_4 = 5 \text{ cm.}$
Base granular $E_3 = 800 \text{ Kg/cm}^2$, $\mu_3 = 0.40$ $h_3 = 10 \text{ cm.}$
Capa granular equivalente $E_2 = 640 \text{ Kg/cm}^2$, $\mu_2 = 0.45$ $h_2 = 56 \text{ cm.}$
Subrasante $MR = 480 \text{ Kg/cm}^2$, $\mu_1 = 0.50$

Figura 13.
ESTRUCTURA MODELIZADA SECTOR 4
PR 123+415 - PR 124+440

Capa de Rodadura existente $E_5 = 6000 \text{ Kg/cm}^2$, $\mu_5 = 0.35$ $h_5 = 6 \text{ cm.}$
Base asfáltica $E_4 = 3500 \text{ Kg/cm}^2$, $\mu_4 = 0.35$ $h_4 = 5 \text{ cm.}$
Base granular $E_3 = 800 \text{ Kg/cm}^2$, $\mu_3 = 0.40$ $h_3 = 10 \text{ cm.}$
Capa granular equivalente $E_2 = 540 \text{ Kg/cm}^2$, $\mu_2 = 0.45$ $h_2 = 84 \text{ cm.}$
Subrasante $MR = 450 \text{ Kg/cm}^2$, $\mu_1 = 0.50$

Figura 14.
ESTRUCTURA MODELIZADA SECTOR 6
PR 125+040 - PR 125+315

Capa de Rodadura existente $E_5 = 7000 \text{ Kg/cm}^2$, $\mu_5 = 0.35$ $h_5 = 4 \text{ cm.}$
Base asfáltica $E_4 = 4500 \text{ Kg/cm}^2$, $\mu_4 = 0.35$ $h_4 = 5 \text{ cm.}$
Base granular $E_3 = 1400 \text{ Kg/cm}^2$, $\mu_3 = 0.40$ $h_3 = 10 \text{ cm.}$
Capa granular equivalente $E_2 = 870 \text{ Kg/cm}^2$, $\mu_2 = 0.45$ $h_2 = 48 \text{ cm.}$
Subrasante $MR = 600 \text{ Kg/cm}^2$, $\mu_1 = 0.50$

Figura 15.
ESTRUCTURA MODELIZADA SECTOR 7
PR 125+315 - PR 125+740

Capa de Rodadura existente $E_5 = 5500 \text{ Kg/cm}^2$, $\mu_5 = 0.35$ $h_5 = 4 \text{ cm.}$
Base asfáltica $E_4 = 4000 \text{ Kg/cm}^2$, $\mu_4 = 0.35$ $h_4 = 5 \text{ cm.}$
Base granular $E_3 = 550 \text{ Kg/cm}^2$, $\mu_3 = 0.40$ $h_3 = 10 \text{ cm.}$
Capa granular equivalente $E_2 = 480 \text{ Kg/cm}^2$, $\mu_2 = 0.45$ $h_2 = 50 \text{ cm.}$
Subrasante $MR = 380 \text{ Kg/cm}^2$, $\mu_1 = 0.50$

Figura 16.
ESTRUCTURA MODELIZADA SECTOR 8
PR 125+740 - PR 126+090

Capa de Rodadura existente $E_5 = 7000 \text{ Kg/cm}^2$, $\mu_5 = 0.35$ $h_5 = 4 \text{ cm.}$
Base asfáltica $E_4 = 5000 \text{ Kg/cm}^2$, $\mu_4 = 0.35$ $h_4 = 5 \text{ cm.}$
Base granular $E_3 = 1900 \text{ Kg/cm}^2$, $\mu_3 = 0.40$ $h_3 = 10 \text{ cm.}$
Capa granular equivalente $E_2 = 860 \text{ Kg/cm}^2$, $\mu_2 = 0.45$ $h_2 = 88 \text{ cm.}$
Subrasante $MR = 700 \text{ Kg/cm}^2$, $\mu_1 = 0.50$

Figura 17.
ESTRUCTURA MODELIZADA SECTOR 9
PR 126+090 - PR 126+590

Capa de Rodadura existente $E_5 = 6500 \text{ Kg/cm}^2$, $\mu_5 = 0.35$ $h_5 = 4 \text{ cm.}$
Base asfáltica $E_4 = 3500 \text{ Kg/cm}^2$, $\mu_4 = 0.35$ $h_4 = 5 \text{ cm.}$
Base granular $E_3 = 700 \text{ Kg/cm}^2$, $\mu_3 = 0.40$ $h_3 = 10 \text{ cm.}$
Capa granular equivalente $E_2 = 600 \text{ Kg/cm}^2$, $\mu_2 = 0.45$ $h_2 = 52 \text{ cm.}$
Subrasante $MR = 480 \text{ Kg/cm}^2$, $\mu_1 = 0.50$

Figura 18.
ESTRUCTURA MODELIZADA SECTOR 10
PR 126+590 - PR 127+140

10.3. PROYECCIÓN Y CÁLCULO DEL TRÁNSITO DE DISEÑO

Para el cálculo del tránsito de diseño, se utilizaron los datos correspondientes a la estación 311, la que corresponde a la vía Pedregal-Tuquerres, datos con los que cuenta El Instituto Nacional de Vías (INVIAS).

Para el cálculo del tránsito de diseño, se consideró un periodo de diseño de 8 años, un factor de circulación del 50% y los factores daño de la tabla 19.

Tabla 19. Factores Daño.

TIPO	FACTORES DAÑO
AUTOMOVILES	0.00
BUSES	0.40
C2P	1.14
C2G	3.44
C3, C4	3.74
C5	4.40
> C5	4.72

Con la ayuda del programa Tránsito (INPACO), y una vez realizada las proyecciones y analizadas cada una de ellas, se tomó la regresión potencial, que presentaba el mejor Coeficiente de determinación igual a 0.53 que es el más cercano a 1, siendo la más representativa para las condiciones vehiculares; obteniéndose un valor de $N = 1'240.503$ Ejes Equivalentes a 8.2 Toneladas (ver anexo 5.).

10.4. CÁLCULO DE LOS PARÁMETROS ADMISIBLES

10.4.1. Deformación horizontal admisible por flexo-tracción. Para el cálculo de la deformación horizontal admisible por flexo-tracción en la fibra inferior de la capa de refuerzo, se utilizó la siguiente expresión:

$$\varepsilon \tau_{adm} = 2.57 * 10^{-3} * (N/K)^{-0.2018}$$

Donde: N: Tránsito de diseño = 1'240.503 Ejes Equivalente a 8.2 Ton.

K: Coeficiente de Calage = $10 * 2.5 * 1 = 25$

$$\varepsilon \tau_{adm} = 2.89 * 10^{-4}$$

10.4.2. Esfuerzo Vertical de Compresión Admisible sobre la Sub-rasante. Para el cálculo de este parámetro se utilizó la expresión de Dormon y Kerhoven, según la cual:

$$\sigma_{zadm} = \frac{0.007 * MR}{1 + 0.7 \log N}$$

Donde: MR: Módulo Resiliente de la Sub-rasante = 780 Kg / cm²

N: Tránsito de diseño = 1'240.503 Ejes Equivalente a 8.2 Ton.

$$\sigma_{zadm} = 1.036 \text{ Kg/cm}^2$$

10.5. DISEÑO DE LA SOLUCIÓN DE REFUERZO UTILIZANDO EL MÉTODO RACIONAL

En el anexo 9. se consigna la memoria de cálculos del Programa DEPAV con la solución definitiva de diseño del refuerzo. En la tabla 20. Se aprecia el chequeo racional de la nueva estructura del pavimento.

**Tabla 20. Cuadro resumen
“Chequeo racional de la nueva estructura del pavimento”
MÉTODO INPACO (UNICAUCA)**

SECTOR	ABSCISA	$E_t \times 10^{-4}$ NUEVA ESTRUCTURA	$E_t \times 10^{-4}$ ADMISIBLE	$\Sigma \sigma_z \times 10^{-1}$ NUEVA ESTRUCTURA	$\Sigma \sigma_z$ ADMISIBLE	DEFLEXIÓN SIN REFUERZO 1/100 mm	DEFLEXIÓN CON REFUERZO 1/100 mm	RADIO DE CURV. SIN REFUERZO (mts)	RADIO DE CURV. CON REFUERZO (mts)
1	PR 116+340 PR 119+215	1.23	2.89	1.07	1.03	106	83.45	71	98.44
2	PR 119+215 PR 120+965	1.86	2.89	1.2	1.03	130	95.73	41.1	90.35
4	PR 123+415 PR 124+440	2.22	2.89	1.82	1.03	113	85.24	65.1	88.32
6	PR 125+040 PR 125+315	2.07	2.89	1.1	1.03	116	86.5	86.8	93.95
8	PR 125+740 PR 126+090	2.84	2.89	1.66	1.03	149	91.28	65.1	119.65
10	PR 126+590 PR 127+140	2.59	2.89	1.92	1.03	120	86.28	65.1	92.92

En la tabla 21, se puede apreciar el perfil estratigráfico de la estructura reforzada.

Tabla 21. Resumen final Estructura con refuerzo.

SECTOR 1	SECTOR 2	SECTOR 3	SECTOR 4	SECTOR 5
PR 116+340 - PR 119+215	PR 119+215 - PR 120+965	PR 120+965 - PR 123+415	PR 123+415 - PR 124+440	PR 124+440 - PR 125+040

h (cm)	CAPA								
-------------------------	-------------	-------------------------	-------------	-------------------------	-------------	-------------------------	-------------	-------------------------	-------------

6	REFUERZO	7	REFUERZO			7	REFUERZO		
6	CAP.ASFAL	4	CAP.ASFAL	4	CAP.ASFAL	4	CAP.ASFAL	2	CAP.RODAD
5	BASE.ASF	5	BASE.ASF	5	BASE.ASF	5	BASE.ASF	14	BASE.GRAN
10	BASE.GRAN	10	BASE.GRAN	10	BASE.GRAN	10	BASE.GRAN	20	SUB-BASE.GRAN.
81	CAP.GRAN.EQUIV.	79	CAP.GRAN.EQUIV.	38	CAP.GRAN.EQUIV.	56	CAP.GRAN.EQUIV.	38	AFIRMADO
	SUB-RASANTE		SUB-RASANTE		SUB-RASANTE		SUB-RASANTE		SUB-RASANTE

SECTOR 6	SECTOR 7	SECTOR 8	SECTOR 9	SECTOR 10
PR 125+040 - PR 125+315	PR 125+315 - PR 125+740	PR 125+740 - PR 126+090	PR 126+090 - PR 126+590	PR 126+590 - PR 127+140

h (cm)	CAPA								
-------------------------	-------------	-------------------------	-------------	-------------------------	-------------	-------------------------	-------------	-------------------------	-------------

7	REFUERZO			11	REFUERZO			8	REFUERZO
6	CAP.ASFAL	4	CAP.ASFAL	4	CAP.ASFAL	4	CAP.ASFAL	4	CAP.ASFAL
5	BASE.ASF	5	BASE.ASF	5	BASE.ASF	5	BASE.ASF	5	BASE.ASF
10	BASE.GRAN	10	BASE.GRAN	10	BASE.GRAN	10	BASE.GRAN	10	BASE.GRAN
84	CAP.GRAN.EQUIV	48	CAP.GRAN.EQUIV.	50	CAP.GRAN.EQUIV.	88	CAP.GRAN.EQUIV.	52	CAP.GRAN.EQUIV.
	SUB-RASANTE		SUB-RASANTE		SUB-RASANTE		SUB-RASANTE		SUB-RASANTE

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El empleo de la Viga Benkelman es indispensable para llevar a cabo la realización de mantenimientos preventivos y correctivos en los pavimentos flexibles.
- Con base en el criterio de algunos investigadores y de numerosos ensayos realizados con la viga Benkelman; radios de curvatura inferiores a 80 mts. y deflexiones mayores de 1 mm, indican la presencia de zonas débiles bajo las capas asfálticas.
- La solución de rehabilitación más favorable desde el punto de vista técnico y económico, es aquella que entregue un espesor de refuerzo adecuado con el cual se cumplirán las exigencias tanto de deflexión, radio de curvatura, esfuerzos y deformaciones admisibles del pavimento.
- Los datos de deflexión medidos antes de realizar los trabajos de rehabilitación serán la base para determinar los puntos críticos de la estructura, y poder así realizar las correcciones necesarias de estas fallas puntuales, antes de ejecutar cualquier trabajo de mejoramiento o rehabilitación.

- A los sectores que presentan un buen comportamiento de trabajo, se les debe hacer un mantenimiento periódico, principalmente en el control del agrietamiento de la superficie, ya que este reduce la resistencia estructural del pavimento y lleva a un rápido deterioro de la construcción.
- Dentro de todos los factores que afectan el comportamiento de un pavimento, uno de los que más se debe tener en cuenta es el agua, ya que esta al infiltrarse a la estructura del pavimento, reduce su capacidad estructural, motivo por el cual tanto el sistema de drenaje como sub-drenaje deben estar trabajando de una manera eficiente, dicho objetivo se logra con un buen mantenimiento de las obras que captan, conducen y evacuan el agua de la estructura del pavimento.
- De acuerdo a la evaluación geotécnica se puede determinar que la sub-rasante tiene un elevado grado de humedad que alcanza valores hasta del 36%, e índices de plasticidad que oscilan entre 7% y 15%, los cuales están íntimamente ligados con la humedad encontrada.
- La capa de afirmado presenta valores de índice de plasticidad entre un 5.9% y 12.4%, que comparados con los exigidos por el Instituto Nacional de Vías, se concluye que algunos valores sobrepasan dichas exigencias que se encuentran entre un rango de 4% hasta un 9%.

- De acuerdo a las Normas del Instituto Nacional de Vías, el índice de plasticidad de la sub-base granular debe ser menor o igual al 6%.
- Según las Normas del INVIAS, el valor del índice de plasticidad de la base no debe ser superior a un 3%.
- El agregado grueso que constituye el material de base debe tener un 50% como mínimo de caras fracturadas y si éste proviene de río debe pasar por un proceso de trituración mecánica.
- En la vía Pedregal-Tuquerres, y especialmente el tramo de estudio comprendido entre el PR 127+140 – PR 116+340 , se ha presentado un deterioro prematuro que se ve reflejado en la evaluación superficial y estructural, considerando que este es el momento propicio para aplicar una solución que retarde el proceso de deterioro.

Una vez relacionadas todas las variables involucradas en el proceso de mejoramiento de un pavimento, se puede proporcionar las siguientes recomendaciones para cada uno de los sectores en que fue dividido el tramo de vía:

- Para el sector 1, comprendido entre las abscisas PR 116+340 al PR 119+215, el espesor de la capa de refuerzo es de 6 cm.

- Para el sector 2, comprendido entre las abscisas PR 119+215 al PR 120+965, el espesor de la capa de refuerzo a construir es de 7 cm.
- El sector 3, comprendido entre las abscisas PR 120+965 al PR 123+415, presenta un comportamiento estructural adecuado, por lo cual no requiere la construcción de una capa de refuerzo, pero si es necesario la realización de un mantenimiento periodico, como lo es el sellado de grietas con un producto asfáltico adecuado para prevenir la entrada de agua e impedir la evolución posterior de la falla.
- Para el sector 4, comprendido entre las abscisas PR 123+415 al PR 124+440, el espesor de la capa de refuerzo a construir es de 7 cm.
- El sector 5, comprendido entre las abscisas PR 124+440 al PR 125+040, debido a su elevado grado de deterioro, se considera que la solución a ejecutar es la reconstrucción total de la estructura para así mejorar su capacidad estructural y de servicio (tema que no fue tratado en éste trabajo de grado ya que la finalidad fue el estudio de la rehabilitación del pavimento).
- Para el sector 6, comprendido entre las abscisas PR 125+040 al PR 125+315, el espesor de la capa de refuerzo a construir es de 7 cm.

- El sector 7, comprendido entre las abscisas PR 125+315 al PR 125+740, no requiere la colocación de una capa de refuerzo pero se debe hacer un mantenimiento para el sellado de grietas y así evitar la infiltración de agua a la estructura del pavimento.

- Para el sector 8, comprendido entre las abscisas PR 125+740 al PR 126+090, el espesor de la capa de refuerzo a construir es de 11 cm.

- El sector 9, comprendido entre las abscisas PR 126+090 al PR 126+590, no requiere la colocación de una capa de refuerzo pero se debe hacer un mantenimiento para el sellado de grietas y así evitar la infiltración de agua a la estructura.

- Para el sector 10, comprendido entre las abscisas PR 126+590 al PR 127+140, el espesor de la capa de refuerzo a construir es de 8 cm.

BIBLIOGRAFIA

BETANCOURTH, Edgar y RAMIREZ, Alvaro. Diseño y construcción de la Viga Benkelman de doble brazo. Tesis de grado. San Juan de Pasto. Universidad de Nariño. 1999. (9)

DEFORMACIONES DEL PAVIMENTO. Universidad del Cauca. (8)

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA-Geosistemas Pavco. Manual de diseño, Editora Impresos Comerciales LTDA. Segunda Edición. Bogotá D.C. 2001. (13)

ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS, INVIAS. Art 300, Art 320.

GARCES CARDENAS, Claudia María. Pavimentos. Universidad de Medellín, División de Investigaciones y Asesorías. Medellín, 1997. (11)

INPACO-MANUAL DEL USUARIO. Universidad del Cauca. Popayán, 1994.

MUÑOZ RICAURTE, Guillermo. Pavimentos de Concreto Asfáltico. Segunda Edición, San Juan de Pasto: Editorial Universitaria. Universidad de Nariño, 2000. (1)

MUÑOZ RICAURTE, Guillermo. Diseño y Rehabilitación de Pavimentos Flexibles, Métodos Racionales. Primera Edición, San Juan de Pasto: Editorial Universitaria. Universidad de Nariño, 1998. (6)

RICO RODRIGUEZ, Alfonso y DEL CASTILLO, Hermilio. La Ingeniería de Suelos de las Vías Terrestres, Carreteras, Ferrocarriles y Aeropuertos. México. Editorial Limusa, 1981. (3)

SANCHEZ SABOGAL, Fernando. Pavimentos: Fundamentos Teóricos Guías para el Diseño. Bogotá. Universidad la Gran Colombia. Tomo 1, 1982. (5)

SANCHEZ SABOGAL, Fernando. Pavimentos: Materiales para la Construcción, Evaluación de Pavimentos en Servicio, Diseño de obras de Mejoramiento. Bogotá. Universidad la Gran Colombia. Segunda Edición, Tomo 2. 1985. (7)

SANCHEZ SABOGAL, Fernando. Pavimentos: Teoría, Diseño, Geología, Estudio Económico y Fallas. Bogotá. Universidad la Gran Colombia. Tomo 1. (2)

SOCIEDAD ANTIOQUEÑA DE INGENIEROS Y ARQUITECTOS. Curso sobre Recuperación de Pavimentos. Memorias. Medellín. 1986. (10)

VALLE RODAS, Raúl. Carreteras, Calles y Aeropistas: Principios Generales de la Mecánica de Suelos Aplicados a la Pavimentación y Métodos para el Cálculo de Pavimentos Flexibles. Buenos Aires, Sexta Edición, El Ateneo, 1982. (4)

MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS Y TRANSPORTE 1
 SISTEMA DE GESTION DE LA RED VIAL
 ANALISIS ESTADISTICO DE LOS DATOS SUMINISTRADOS POR LA 'VIGA BENKELMAN'
 CARTERA DE DEFLEXIONES CALCULADA

Código : 2001
 Carretera : TUMACO-MOCHOA
 Sector : 1. PR 116+340 - PR 119+215
 Distrito Nro. : 14
 Carril : Derecho

Abscisa Inicial : 116340.00
 Abscisa Final : 119215.00
 Longitud : 2875.00 mts
 Espesor de la Carpeta : 4.00 cms

Fecha de Evaluación : 06/06/01

Abscisa	DEFLEXIONES [1/100mm]		RADIO DE CURVATURA		D25 Medida	Rc (m)	Observ.
	HUELLA EXTERNA Medida	Corr.	HUELLA INTERNA Medida	Corr.			
116340.00	40	40	56	56	24	24	195.3 INIC.JUN.6
116365.00	96	96	0	0	48	48	65.1
116390.00	60	60	0	0	36	36	130.2
116415.00	64	64	0	0	28	28	86.8
116440.00	76	76	100	100	28	28	65.1
116465.00	48	48	0	0	24	24	130.2
116490.00	48	48	0	0	24	24	130.2
116515.00	56	56	0	0	24	24	97.7
116540.00	80	80	92	92	48	48	97.7 Curva izq.
116565.00	72	72	0	0	52	52	156.3
116590.00	56	56	0	0	32	32	130.2
116615.00	92	92	0	0	32	32	52.1
116640.00	52	52	60	60	24	24	111.6
116665.00	48	48	0	0	40	40	390.6
116715.00	96	96	0	0	64	64	97.7
116740.00	60	60	104	104	40	40	156.3
116765.00	88	88	0	0	56	56	97.7
116790.00	80	80	0	0	64	64	195.3 Junta de c
116815.00	60	60	0	0	32	32	111.6 Fisuras tr
116840.00	68	68	92	92	48	48	156.3
116865.00	72	72	0	0	40	40	97.7
116890.00	52	52	0	0	28	28	130.2
116915.00	52	52	0	0	36	36	195.3
116940.00	48	48	56	56	28	28	156.3 Temp.ambie
116965.00	52	52	0	0	32	32	156.3
116990.00	44	44	0	0	32	32	260.4
117015.00	48	48	0	0	32	32	195.3
117040.00	48	48	64	64	32	32	195.3
117065.00	76	76	0	0	40	40	86.8
117090.00	80	80	0	0	32	32	65.1

MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS Y TRANSPORTE 1
 SISTEMA DE GESTION DE LA RED VIAL
 ANALISIS ESTADISTICO DE LOS DATOS SUMINISTRADOS POR LA 'VIGA BENKELMAN'
 CARTERA DE DEFLEXIONES CALCULADA

Código : 2001
 Carretera : TUMACO-MOCHOA
 Sector : 1. PR 116+340 - PR 119+215
 Distrito Nro. : 14
 Carril : Derecho

Abscisa Inicial : 116340.00
 Abscisa Final : 119215.00
 Longitud : 2875.00 mts
 Espesor de la Carpeta : 4.00 cms

Fecha de Evaluación : 06/06/01

Abscisa	DEFLEXIONES [1/100mm]		RADIO DE CURVATURA		D25 Medida	Rc (m)	Observ.
	HUELLA EXTERNA Medida	Corr.	HUELLA INTERNA Medida	Corr.			
116340.00	40	40	56	56	24	24	195.3 INIC.JUN.6
116365.00	96	96	0	0	48	48	65.1
116390.00	60	60	0	0	36	36	130.2
116415.00	64	64	0	0	28	28	86.8
116440.00	76	76	100	100	28	28	65.1
116465.00	48	48	0	0	24	24	130.2
116490.00	48	48	0	0	24	24	130.2
116515.00	56	56	0	0	24	24	97.7
116540.00	80	80	92	92	48	48	97.7 Curva izq.
116565.00	72	72	0	0	52	52	156.3
116590.00	56	56	0	0	32	32	130.2
116615.00	92	92	0	0	32	32	52.1
116640.00	52	52	60	60	24	24	111.6
116665.00	48	48	0	0	40	40	390.6
116715.00	96	96	0	0	64	64	97.7
116740.00	60	60	104	104	40	40	156.3
116765.00	88	88	0	0	56	56	97.7
116790.00	80	80	0	0	64	64	195.3 Junta de c
116815.00	60	60	0	0	32	32	111.6 Fisuras tr
116840.00	68	68	92	92	48	48	156.3
116865.00	72	72	0	0	40	40	97.7
116890.00	52	52	0	0	28	28	130.2
116915.00	52	52	0	0	36	36	195.3
116940.00	48	48	56	56	28	28	156.3 Temp.ambie
116965.00	52	52	0	0	32	32	156.3
116990.00	44	44	0	0	32	32	260.4
117015.00	48	48	0	0	32	32	195.3
117040.00	48	48	64	64	32	32	195.3
117065.00	76	76	0	0	40	40	86.8
117090.00	80	80	0	0	32	32	65.1

3

MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS Y TRANSPORTE
SISTEMA DE GESTION DE LA RED VIAL
ANALISIS ESTADISTICO DE LOS DATOS SUMINISTRADOS POR LA 'VIGA BENKELMAN'
CARTERA DE DEFLEXIONES CALCULADA

Código : 2001
Carretera : TUMACO-MOCHOA
Sector : 1. PR 116+340 - PR 119+215
Carril : Derecho

Abscisa	DEFLEXIONES [1/100mm]		RADIO DE CURVATURA		Observa			
	HUELLA EXTERNA Medida Corr.	HUELLA INTERNA Medida Corr.	D25 Medida Corr.	Rc (m)				
118215.00	60	60	0	0	40	40	156.3	
118240.00	64	64	68	68	40	40	130.2	
118265.00	80	80	0	0	52	52	111.6	
118290.00	72	72	0	0	40	40	97.7	
118315.00	52	52	0	0	48	48	781.3	
118340.00	72	72	40	40	40	40	97.7	
118390.00	80	80	0	0	48	48	97.7	
118415.00	68	68	0	0	48	48	156.3	
118440.00	64	64	96	96	36	36	111.6	
118465.00	48	48	0	0	44	44	781.3	
118490.00	64	64	0	0	32	32	97.7	
118515.00	60	60	0	0	28	28	97.7	
118540.00	52	52	52	52	20	20	97.7	
118565.00	72	72	0	0	28	28	71.0	
118590.00	76	76	0	0	56	56	156.3	
118615.00	72	72	0	0	40	40	97.7	
118640.00	84	84	160	160	72	72	260.4	
118665.00	64	64	0	0	56	56	390.6	
118690.00	60	60	0	0	28	28	97.7	Curva dere
118715.00	108	108	0	0	32	32	41.1	
118740.00	116	116	96	96	44	44	43.4	Box curver
118765.00	88	88	0	0	40	40	65.1	
118790.00	100	100	0	0	48	48	60.1	
118815.00	104	104	0	0	44	44	52.1	
118840.00	88	88	136	136	44	44	71.0	Fisu. tran
118865.00	96	96	0	0	56	56	78.1	
118890.00	96	96	0	0	56	56	78.1	
118915.00	104	104	0	0	48	48	55.8	
118940.00	92	92	72	72	36	36	55.8	
118965.00	88	88	0	0	56	56	97.7	
118990.00	64	64	0	0	32	32	97.7	Fis.trans.
119015.00	80	80	0	0	56	56	130.2	
119040.00	68	68	40	40	40	40	111.6	Box coulve
119065.00	80	80	0	0	56	56	130.2	
119090.00	64	64	0	0	24	24	78.1	
119115.00	80	80	0	0	48	48	97.7	
119140.00	72	72	80	80	28	28	71.0	
119165.00	80	80	0	0	48	48	97.7	
119215.00	72	72	0	0	56	56	195.3	

1

MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS Y TRANSPORTE
SISTEMA DE GESTION DE LA RED VIAL
ANALISIS ESTADISTICO DE LOS DATOS SUMINISTRADOS POR LA 'VIGA BENKELMAN'
CARTERA DE DEFLEXIONES CALCULADA

Código : 2002
Carretera : TUMACO-MOCHOA
Sector : 2. PR 119+215 - PR 120+965
Distrito Nro. : 14
Carril : Derecho

Abscisa Inicial : 119215.00
Abscisa Final : 120965.00

Longitud : 1750.00 mts
Espesor de la Carpeta : 4.00 cms

Fecha de Evaluación : 06/06/01

Abscisa	DEFLEXIONES [1/100mm]				RADIO DE CURVATURA			Observ.
	HUELLA EXTERNA Medida	EXTERNA Corr.	HUELLA INTERNA Medida	INTERNA Corr.	D25 Medida	Rc Corr.	Rc (m)	
119215.00	72	72	0	0	56	56	195.3	
119265.00	112	112	0	0	60	60	60.1	
119290.00	144	144	0	0	80	80	48.8	Confinamie
119315.00	112	112	0	0	84	84	111.6	
119340.00	120	120	108	108	64	64	55.8	Desplaz. c
119365.00	108	108	0	0	52	52	55.8	
119390.00	112	112	0	0	48	48	48.8	
119415.00	128	128	0	0	52	52	41.1	
119440.00	108	108	72	72	48	48	52.1	Tramo rect
119465.00	128	128	0	0	56	56	43.4	
119490.00	124	124	0	0	56	56	46.0	
119515.00	100	100	0	0	52	52	65.1	
119540.00	88	88	72	72	44	44	71.0	Grietas tr
119565.00	84	84	0	0	32	32	60.1	
119590.00	88	88	0	0	40	40	65.1	
119615.00	80	80	0	0	32	32	65.1	
119640.00	80	80	64	64	40	40	78.1	Juntas de
119665.00	72	72	0	0	48	48	130.2	
119715.00	56	56	0	0	48	48	390.6	
119740.00	36	36	56	56	20	20	195.3	
119765.00	56	56	0	0	32	32	130.2	
119790.00	76	76	0	0	32	32	71.0	Curva der.
119815.00	48	48	0	0	20	20	111.6	
119840.00	72	72	76	76	32	32	78.1	Pavim.buen
119865.00	88	88	0	0	44	44	71.0	
119890.00	88	88	0	0	40	40	65.1	
119915.00	52	52	0	0	32	32	156.3	
119940.00	80	80	88	88	40	40	78.1	Cerca alca
119965.00	76	76	0	0	36	36	78.1	Buen estad
119990.00	100	100	0	0	48	48	60.1	

MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS Y TRANSPORTE 2
 SISTEMA DE GESTION DE LA RED VIAL
 ANALISIS ESTADISTICO DE LOS DATOS SUMINISTRADOS POR LA 'VIGA BENKELMAN'
 CARTERA DE DEFLEXIONES CALCULADA

Código : 2002
 Carretera : TUMACO-MOCHOA
 Sector : 2. PR 119+215 - PR 120+965
 Carril : Derecho

Abscisa	DEFLEXIONES [1/100mm]				RADIO DE CURVATURA			Observa
	HUELLA EXTERNA Medida	Corr.	HUELLA INTERNA Medida	Corr.	D25 Medida	Corr.	Rc (m)	
120015.00	72	72	0	0	40	40	97.7	
120040.00	56	56	108	108	28	28	111.6	fisuras en
120065.00	80	80	0	0	44	44	86.8	
120115.00	96	96	0	0	52	52	71.0	fisuras en
120140.00	100	100	88	88	48	48	60.1	fis.huella
120165.00	96	96	0	0	52	52	71.0	
120190.00	104	104	0	0	44	44	52.1	
120215.00	80	80	0	0	52	52	111.6	
120240.00	76	76	64	64	36	36	78.1	Pavimen. b
120265.00	52	52	0	0	32	32	156.3	
120290.00	48	48	0	0	24	24	130.2	
120315.00	68	68	0	0	28	28	78.1	
120340.00	64	64	52	52	24	24	78.1	
120365.00	88	88	0	0	36	36	60.1	
120390.00	88	88	0	0	56	56	97.7	
120415.00	68	68	0	0	40	40	111.6	
120440.00	76	76	84	84	36	36	78.1	
120465.00	96	96	0	0	56	56	78.1	
120490.00	108	108	0	0	56	56	60.1	
120515.00	108	108	0	0	44	44	48.8	
120565.00	92	92	0	0	52	52	78.1	Curva izq.
120590.00	72	72	0	0	44	44	111.6	Alcantaril
120615.00	80	80	0	0	56	56	130.2	
120640.00	100	100	120	120	64	64	86.8	
120665.00	112	112	0	0	100	100	260.4	
120715.00	108	108	0	0	72	72	86.8	Iglesia Di
120740.00	88	88	84	84	48	48	78.1	
120765.00	56	56	0	0	40	40	195.3	
120790.00	72	72	0	0	32	32	78.1	
120815.00	64	64	0	0	28	28	86.8	
120865.00	64	64	0	0	20	20	71.0	Fis. bloqu
120890.00	80	80	0	0	28	28	60.1	
120915.00	88	88	0	0	40	40	65.1	
120940.00	96	96	76	76	48	48	65.1	
120965.00	88	88	0	0	52	52	86.8	

MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS Y TRANSPORTE 1
 SISTEMA DE GESTION DE LA RED VIAL
 ANALISIS ESTADISTICO DE LOS DATOS SUMINISTRADOS POR LA 'VIGA BENKELMAN'
 CARTERA DE DEFLEXIONES CALCULADA

Código : 2003
 Carretera : TUMACO-MOCHOA
 Sector : 3. PR 120+965 - PR 123+415
 Distrito Nro. : 14
 Carril : Derecho

Abscisa Inicial : 120965.00
 Abscisa Final : 123415.00

Longitud : 2450.00 mts
 Espesor de la Carpeta : 4.00 cms

Fecha de Evaluación : 07/06/01

Abscisa	DEFLEXIONES [1/100mm]				RADIO DE CURVATURA			Observ.
	HUELLA EXTERNA Medida	EXTERNA Corr.	HUELLA INTERNA Medida	INTERNA Corr.	D25 Medida	Rc Corr.	Rc (m)	
120965.00	88	88	0	0	52	52	86.8	
120990.00	48	48	0	0	32	32	195.3	
121015.00	52	52	0	0	32	32	156.3	
121040.00	48	48	52	52	24	24	130.2	
121065.00	56	56	0	0	28	28	111.6	
121090.00	60	60	0	0	32	32	111.6	
121115.00	40	40	0	0	28	28	260.4	
121140.00	48	48	44	44	24	24	130.2	Cur. izq.
121165.00	48	48	0	0	36	36	260.4	
121215.00	44	44	0	0	36	36	390.6	
121240.00	32	32	96	96	16	16	195.3	Recta
121265.00	40	40	0	0	24	24	195.3	
121290.00	40	40	0	0	20	20	156.3	
121315.00	48	48	0	0	40	40	390.6	
121340.00	52	52	72	72	32	32	156.3	Curva. izq
121365.00	56	56	0	0	24	24	97.7	
121415.00	52	52	0	0	24	24	111.6	
121465.00	60	60	0	0	28	28	97.7	
121490.00	48	48	0	0	28	28	156.3	Fisuras lo
121515.00	44	44	0	0	32	32	260.4	
121540.00	48	48	40	40	24	24	130.2	
121565.00	56	56	0	0	32	32	130.2	
121590.00	68	68	0	0	40	40	111.6	
121615.00	88	88	0	0	44	44	71.0	
121665.00	80	80	0	0	56	56	130.2	
121690.00	60	60	0	0	32	32	111.6	
121715.00	68	68	0	0	28	28	78.1	
121740.00	72	72	32	32	28	28	71.0	
121765.00	76	76	0	0	40	40	86.8	
121790.00	64	64	0	0	24	24	78.1	Recta

MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS Y TRANSPORTE 2
 SISTEMA DE GESTION DE LA RED VIAL
 ANALISIS ESTADISTICO DE LOS DATOS SUMINISTRADOS POR LA 'VIGA BENKELMAN'
 CARTERA DE DEFLEXIONES CALCULADA

Código : 2003
 Carretera : TUMACO-MOCHOA
 Sector : 3. PR 120+965 - PR 123+415
 Carril : Derecho

Abscisa	DEFLEXIONES [1/100mm]		RADIO DE CURVATURA		D25 Medida	Rc (m)	Observa
	HUELLA EXTERNA Medida	HUELLA INTERNA Medida	HUELLA EXTERNA Corr.	HUELLA INTERNA Corr.			
121815.00	56	56	0	0	32	32	130.2
121840.00	36	36	68	68	20	20	195.3
121865.00	40	40	0	0	16	16	130.2
121890.00	36	36	0	0	16	16	156.3
121915.00	48	48	0	0	20	20	111.6
121940.00	36	36	60	60	16	16	156.3
121965.00	64	64	0	0	24	24	78.1
121990.00	80	80	0	0	40	40	78.1 Fisuras tr
122015.00	68	68	0	0	40	40	111.6
122040.00	76	76	64	64	32	32	71.0 Fisuras tr
122065.00	64	64	0	0	28	28	86.8
122090.00	32	32	0	0	16	16	195.3 Obra de ar
122115.00	32	32	0	0	16	16	195.3
122140.00	32	32	40	40	12	12	156.3
122165.00	44	44	0	0	28	28	195.3
122190.00	56	56	0	0	32	32	130.2 Fisuras tr
122215.00	64	64	0	0	32	32	97.7
122240.00	68	68	88	88	24	24	71.0
122265.00	76	76	0	0	52	52	130.2
122290.00	72	72	0	0	32	32	78.1
122315.00	52	52	0	0	32	32	156.3
122340.00	64	64	84	84	32	32	97.7
122365.00	72	72	0	0	32	32	78.1
122390.00	64	64	0	0	24	24	78.1 Inicio cur
122415.00	52	52	0	0	32	32	156.3
122440.00	40	40	60	60	16	16	130.2 Muro conte
122465.00	44	44	0	0	36	36	390.6
122490.00	56	56	0	0	28	28	111.6
122515.00	64	64	0	0	32	32	97.7
122540.00	64	64	88	88	32	32	97.7 Pendiente
122565.00	72	72	0	0	32	32	78.1
122590.00	72	72	0	0	32	32	78.1
122615.00	52	52	0	0	32	32	156.3
122640.00	56	56	84	84	32	32	130.2 Sta. Rosa.
122665.00	64	64	0	0	32	32	97.7
122690.00	56	56	0	0	40	40	195.3 Curva der.
122715.00	80	80	0	0	56	56	130.2
122765.00	72	72	0	0	40	40	97.7
122790.00	60	60	0	0	28	28	97.7

3

MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS Y TRANSPORTE
 SISTEMA DE GESTION DE LA RED VIAL
 ANALISIS ESTADISTICO DE LOS DATOS SUMINISTRADOS POR LA 'VIGA BENKELMAN'
 CARTERA DE DEFLEXIONES CALCULADA

Código : 2003
 Carretera : TUMACO-MOCHOA
 Sector : 3. PR 120+965 - PR 123+415
 Carril : Derecho

Abscisa	DEFLEXIONES [1/100mm]				RADIO DE CURVATURA			Observa
	HUELLA EXTERNA		HUELLA INTERNA		D25		Rc	
	Medida	Corr.	Medida	Corr.	Medida	Corr.	(m)	
122815.00	80	80	0	0	56	56	130.2	
122865.00	52	52	0	0	36	36	195.3	
122890.00	56	56	0	0	24	24	97.7	JUNIO 7/20
122915.00	48	48	0	0	36	36	260.4	
122940.00	40	40	48	48	32	32	390.6	Muro de co
122965.00	56	56	0	0	28	28	111.6	
122990.00	72	72	0	0	40	40	97.7	Curva vert
123015.00	64	64	0	0	28	28	86.8	
123040.00	40	40	32	32	24	24	195.3	Tramo rect
123065.00	72	72	0	0	32	32	78.1	
123090.00	80	80	0	0	56	56	130.2	Tramo rect
123115.00	92	92	0	0	60	60	97.7	
123140.00	72	72	60	60	48	48	130.2	Tramo rect
123165.00	80	80	0	0	48	48	97.7	Deterioro.
123190.00	88	88	0	0	60	60	111.6	Obra de ar
123215.00	80	80	0	0	72	72	390.6	
123240.00	76	76	60	60	48	48	111.6	
123265.00	72	72	0	0	52	52	156.3	
123290.00	60	60	0	0	36	36	130.2	
123315.00	68	68	0	0	36	36	97.7	Cerca muro
123365.00	44	44	0	0	32	32	260.4	
123390.00	60	60	0	0	36	36	130.2	Descenso.g
123415.00	56	56	0	0	32	32	130.2	

MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS Y TRANSPORTE 1
 SISTEMA DE GESTION DE LA RED VIAL
 ANALISIS ESTADISTICO DE LOS DATOS SUMINISTRADOS POR LA 'VIGA BENKELMAN'

CARTERA DE DEFLEXIONES CALCULADA

Código : 2004
 Carretera : TUMACO-MOCHOA
 Sector : 4. PR 123+415 - PR 124+440
 Distrito Nro. : 14
 Carril : Derecho

Abscisa Inicial : 123415.00
 Abscisa Final : 124440.00

Longitud : 1025.00 mts
 Espesor de la Carpeta : 4.00 cms

Fecha de Evaluación : 07/06/01

Abscisa	DEFLEXIONES [1/100mm]		RADIO DE CURVATURA		Observ.			
	HUELLA EXTERNA Medida	Corr.	HUELLA INTERNA Medida	Corr.		D25 Medida	Rc Corr. (m)	
123415.00	56	56	0	0	32	32	130.2	
123440.00	68	68	60	60	36	36	97.7	Descenso r
123465.00	68	68	0	0	32	32	86.8	
123490.00	68	68	0	0	60	60	390.6	
123515.00	96	96	0	0	60	60	86.8	
123540.00	112	112	72	72	64	64	65.1	Recta, exu
123565.00	108	108	0	0	72	72	86.8	
123590.00	104	104	0	0	48	48	55.8	Fisu.trans
123615.00	88	88	0	0	56	56	97.7	
123640.00	96	96	128	128	80	80	195.3	Curva der.
123665.00	64	64	0	0	36	36	111.6	
123690.00	24	24	0	0	20	20	781.3	Descenso,
123715.00	48	48	0	0	32	32	195.3	
123740.00	32	32	52	52	24	24	390.6	Obra de ar
123765.00	52	52	0	0	44	44	390.6	
123790.00	48	48	0	0	32	32	195.3	Final curv
123815.00	72	72	0	0	24	24	65.1	
123840.00	72	72	68	68	48	48	130.2	
123865.00	80	80	0	0	40	40	78.1	
123890.00	72	72	0	0	56	56	195.3	
123915.00	80	80	0	0	28	28	60.1	
123940.00	44	44	56	56	44	44	0.0	Curva izq.
123965.00	60	60	0	0	48	48	260.4	
123990.00	48	48	0	0	36	36	260.4	
124015.00	68	68	0	0	32	32	86.8	
124040.00	96	96	128	128	72	72	130.2	Recta
124065.00	100	100	0	0	68	68	97.7	
124090.00	72	72	0	0	44	44	111.6	
124115.00	68	68	0	0	36	36	97.7	
124140.00	48	48	120	120	36	36	260.4	

2

MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS Y TRANSPORTE
 SISTEMA DE GESTION DE LA RED VIAL
 ANALISIS ESTADISTICO DE LOS DATOS SUMINISTRADOS POR LA 'VIGA BENKELMAN'
 CARTERA DE DEFLEXIONES CALCULADA

Código : 2004
 Carretera : TUMACO-MOCHOA
 Sector : 4. PR 123+415 - PR 124+440
 Carril : Derecho

Abscisa	DEFLEXIONES [1/100mm]				RADIO DE CURVATURA		Observa
	HUELLA EXTERNA		HUELLA INTERNA		D25		
	Medida	Corr.	Medida	Corr.	Medida	Corr.	Rc (m)
124165.00	88	88	0	0	40	40	65.1
124215.00	64	64	0	0	52	52	260.4
124240.00	48	48	100	100	32	32	195.3 Curva der.
124265.00	84	84	0	0	48	48	86.8
124290.00	100	100	0	0	76	76	130.2
124315.00	72	72	0	0	48	48	130.2
124340.00	40	40	172	172	24	24	195.3
124365.00	68	68	0	0	32	32	86.8
124390.00	80	80	0	0	52	52	111.6
124415.00	112	112	0	0	80	80	97.7

MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS Y TRANSPORTE 1
 SISTEMA DE GESTION DE LA RED VIAL
 ANALISIS ESTADISTICO DE LOS DATOS SUMINISTRADOS POR LA 'VIGA BENKELMAN'
 CARTERA DE DEFLEXIONES CALCULADA

Código : 2005
 Carretera : TUMACO-MOCHOA
 Sector : 5. PR 124+440 - PR 125+040
 Distrito Nro. : 14
 Carril : Derecho

Abscisa Inicial : 124440.00
 Abscisa Final : 125040.00

Longitud : 600.00 mts
 Espesor de la Carpeta : 4.00 cms

Fecha de Evaluación : 07/06/01

Abscisa	DEFLEXIONES [1/100mm]				RADIO DE CURVATURA			Observ.
	HUELLA EXTERNA		HUELLA INTERNA		D25		Rc	
	Medida	Corr.	Medida	Corr.	Medida	Corr.	(m)	
124465.00	112	112	0	0	100	100	260.4	TRAMO VIEJ
124490.00	68	68	0	0	36	36	97.7	Mal estado
124515.00	80	80	0	0	32	32	65.1	a todo lo
124540.00	100	100	132	132	56	56	71.0	del mismo.
124565.00	52	52	0	0	32	32	156.3	
124590.00	60	60	0	0	36	36	130.2	
124615.00	104	104	0	0	52	52	60.1	
124640.00	112	112	124	124	56	56	55.8	
124690.00	112	112	0	0	48	48	48.8	
124715.00	76	76	0	0	28	28	65.1	
124740.00	72	72	84	84	24	24	65.1	
124765.00	88	88	0	0	40	40	65.1	
124790.00	104	104	0	0	52	52	60.1	
124815.00	80	80	0	0	24	24	55.8	
124840.00	88	88	56	56	36	36	60.1	
124865.00	64	64	0	0	28	28	86.8	
124890.00	80	80	0	0	36	36	71.0	
124915.00	56	56	0	0	16	16	78.1	
124965.00	76	76	0	0	32	32	71.0	
124990.00	60	60	0	0	36	36	130.2	
125015.00	72	72	0	0	28	28	71.0	
125040.00	100	100	104	104	68	68	97.7	Fin tramo

MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS Y TRANSPORTE 1
 SISTEMA DE GESTION DE LA RED VIAL
 ANALISIS ESTADISTICO DE LOS DATOS SUMINISTRADOS POR LA 'VIGA BENKELMAN'
 CARTERA DE DEFLEXIONES CALCULADA

Código : 2006
 Carretera : TUMACO-MOCHOA
 Sector : 6. PR 125+040 - 125+315
 Distrito Nro. : 14
 Carril : Derecho

Abscisa Inicial : 125040.00
 Abscisa Final : 125315.00

Longitud : 275.00 mts
 Espesor de la Carpeta : 4.00 cms

Fecha de Evaluación : 07/06/01

Abscisa	DEFLEXIONES [1/100mm]				RADIO DE CURVATURA			Observ.
	HUELLA EXTERNA Medida	Corr.	HUELLA INTERNA Medida	Corr.	D25 Medida	Corr.	Rc (m)	
125040.00	100	100	104	104	68	68	97.7	
125065.00	80	80	0	0	32	32	65.1	
125090.00	104	104	0	0	68	68	86.8	
125115.00	76	76	0	0	52	52	130.2	
125140.00	76	76	152	152	40	40	86.8	
125165.00	100	100	0	0	44	44	55.8	
125190.00	72	72	0	0	48	48	130.2	
125215.00	72	72	0	0	24	24	65.1	
125240.00	56	56	104	104	36	36	156.3	
125265.00	88	88	0	0	40	40	65.1	
125290.00	92	92	0	0	56	56	86.8	Fisuras en
125315.00	64	64	0	0	28	28	86.8	

MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS Y TRANSPORTE 1
 SISTEMA DE GESTION DE LA RED VIAL
 ANALISIS ESTADISTICO DE LOS DATOS SUMINISTRADOS POR LA 'VIGA BENKELMAN'
 CARTERA DE DEFLEXIONES CALCULADA

Código : 2007
 Carretera : TUMACO-MOCHOA
 Sector : 7. PR 125+315 - PR 125+7740
 Distrito Nro. : 14
 Carril : Derecho

Abscisa Inicial : 125315.00
 Abscisa Final : 125740.00

Longitud : 425.00 mts
 Espesor de la Carpeta : 4.00 cms

Fecha de Evaluación : 07/06/01

Abscisa	DEFLEXIONES [1/100mm]				RADIO DE CURVATURA			Observ.
	HUELLA EXTERNA		HUELLA INTERNA		D25		Rc	
	Medida	Corr.	Medida	Corr.	Medida	Corr.	(m)	
125315.00	64	64	0	0	28	28	86.8	
125340.00	72	72	120	120	56	56	195.3	T = 36°C a
125365.00	64	64	0	0	52	52	260.4	
125390.00	56	56	0	0	32	32	130.2	
125415.00	56	56	0	0	32	32	130.2	
125440.00	48	48	52	52	32	32	195.3	Grietas Lo
125465.00	68	68	0	0	32	32	86.8	
125490.00	68	68	0	0	40	40	111.6	
125515.00	76	76	0	0	40	40	86.8	
125540.00	44	44	68	68	36	36	390.6	Curva der.
125565.00	36	36	0	0	24	24	260.4	
125590.00	56	56	0	0	40	40	195.3	
125615.00	72	72	0	0	28	28	71.0	
125640.00	68	68	84	84	44	44	130.2	
125665.00	48	48	0	0	24	24	130.2	
125690.00	40	40	0	0	28	28	260.4	Obra de ar
125715.00	48	48	0	0	28	28	156.3	
125740.00	52	52	60	60	32	32	156.3	

MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS Y TRANSPORTE 1
 SISTEMA DE GESTION DE LA RED VIAL
 ANALISIS ESTADISTICO DE LOS DATOS SUMINISTRADOS POR LA 'VIGA BENKELMAN'
 CARTERA DE DEFLEXIONES CALCULADA

Código : 2008
 Carretera : TUMACO-MOCHOA
 Sector : 8. PR 125+740 - PR 128+090
 Distrito Nro. : 14
 Carril : Derecho

Abscisa Inicial : 125740.00
 Abscisa Final : 126090.00

Longitud : 350.00 mts
 Espesor de la Carpeta : 4.00 cms

Fecha de Evaluación : 07/06/01

Abscisa	DEFLEXIONES [1/100mm]				RADIO DE CURVATURA		Rc (m)	Observ.
	HUELLA Medida	EXTERNA Corr.	HUELLA Medida	INTERNA Corr.	D25 Medida	Corr.		
125740.00	52	52	60	60	32	32	156.3	
125765.00	112	112	0	0	56	56	55.8	
125790.00	140	140	0	0	92	92	65.1	
125815.00	112	112	0	0	44	44	46.0	
125865.00	108	108	0	0	40	40	46.0	
125890.00	128	128	0	0	72	72	55.8	
125915.00	116	116	0	0	64	64	60.1	
125940.00	112	112	96	96	64	64	65.1	
125965.00	56	56	0	0	12	12	71.0	
125990.00	84	84	0	0	48	48	86.8	
126015.00	80	80	0	0	44	44	86.8	
126040.00	80	80	120	120	40	40	78.1	
126090.00	36	36	0	0	16	16	156.3	

1

MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS Y TRANSPORTE
 SISTEMA DE GESTION DE LA RED VIAL
 ANALISIS ESTADISTICO DE LOS DATOS SUMINISTRADOS POR LA 'VIGA BENKELMAN'
 CARTERA DE DEFLEXIONES CALCULADA

Código : 2009
 Carretera : TUMACO-MOCHOA
 Sector : 9. PR 128+090 - PR 126+590
 Distrito Nro. : 14
 Carril : Derecho

Abscisa Inicial : 126090.00
 Abscisa Final : 126590.00

Longitud : 500.00 mts
 Espesor de la Carpeta : 4.00 cms

Fecha de Evaluación : 07/06/01

Abscisa	DEFLEXIONES [1/100mm]				RADIO DE CURVATURA			Observ.
	HUELLA EXTERNA Medida	HUELLA EXTERNA Corr.	HUELLA INTERNA Medida	HUELLA INTERNA Corr.	D25 Medida	Corr.	Rc (m)	
126090.00	36	36	0	0	16	16	156.3	
126115.00	48	48	0	0	24	24	130.2	
126140.00	52	52	152	152	28	28	130.2	Cur.der.ex
126165.00	56	56	0	0	28	28	111.6	
126190.00	40	40	0	0	20	20	156.3	
126215.00	60	60	0	0	32	32	111.6	
126240.00	44	44	44	44	20	20	130.2	
126265.00	56	56	0	0	32	32	130.2	
126290.00	64	64	0	0	40	40	130.2	
126315.00	72	72	0	0	32	32	78.1	
126340.00	48	48	48	48	24	24	130.2	
126365.00	52	52	0	0	24	24	111.6	
126390.00	40	40	0	0	16	16	130.2	
126415.00	52	52	0	0	48	48	781.3	
126440.00	68	68	48	48	56	56	260.4	
126465.00	48	48	0	0	32	32	195.3	
126490.00	68	68	0	0	48	48	156.3	
126515.00	64	64	0	0	44	44	156.3	
126540.00	48	48	36	36	28	28	156.3	
126565.00	32	32	0	0	24	24	390.6	
126590.00	28	28	0	0	16	16	260.4	

UNIVERSIDAD DEL CAUCA - INSTITUTO DE VIAS
Programa 'TRANSITO'

NUMERO DE EJES EQUIVALENTES

Estación : 0311 TUQUERRES-PEDREGAL

Factor de Distribución Direccional : 50.00%

Tipo de Regresión :

Potencial [Crecimiento con Respecto al TPDS]

TPDS = $252.94 * (\text{Año} - 1967)^{0.34}$ {r²= 0.53}

Período de Análisis : 2002 - 2009 : 8 Años

ANALISIS PARA EL CARRIL DE DISEÑO

Tipo de Vehículo	%	Total Vehículos	Factor Daño	Ejes Equivalentes
Autos	53	679,061	0.00	0
Buses	15	192,187	0.40	76,875
C2P	10	128,125	1.14	146,062
C2G	15	192,187	3.44	661,123
C3-C4	5	64,062	3.74	239,593
C5	1	12,812	4.40	56,375
>C5	1	12,812	4.72	60,475

Número Ejes Equivalentes Carril de Diseño : 1,240,503

Pág. : 1

UNIVERSIDAD DEL CAUCA - INSTITUTO DE VIAS
Programa 'TRANSITO'

SERIE DE TRANSITO PROYECTADA

Estación : 0311 TUQUERRES-PEDREGAL

Factor de Distribución Direccional : 50.00%

Tipo de Regresión :

Potencial [Crecimiento con Respecto al TPDS]
 $TPDS = 252.94 * (\text{Año} - 1967) ^{0.34}$ {r²= 0.53}

NUMERO DE VEHICULOS / DIA / CARRIL DE DISEÑO

Año	Autos	Buses	C2P	C2G	C3-C4	C5	>C5	TOTAL
2002	225	64	42	64	21	4	4	425
2003	227	64	43	64	21	4	4	429
2004	230	65	43	65	22	4	4	433
2005	232	66	44	66	22	4	4	437
2006	234	66	44	66	22	4	4	441
2007	236	67	44	67	22	4	4	445
2008	238	67	45	67	22	4	4	448
2009	240	68	45	68	23	5	5	452

- PROGRAMA DEPAV -

DATOS :

Título : 1700 REFUERZOS REALES DE CONSTRUCCION. Alternativa : 1

Radio de Carga = 10.80 cm
Presión de Contacto = 5.60 Kg/cm²
Distancia Entre Ejes de Llantas = 32.40 cm

Capa N° 1

E = 15000.00 Kg/cm²
 μ = 0.35
H = 6.00 cm

Capa N° 2

E = 7500.00 Kg/cm²
 μ = 0.35
H = 6.00 cm

Capa N° 3

E = 4500.00 Kg/cm²
 μ = 0.35
H = 5.00 cm

Capa N° 4

E = 850.00 Kg/cm²
 μ = 0.40
H = 10.00 cm

Capa N° 5

E = 650.00 Kg/cm²
 μ = 0.45
H = 81.00 cm

Capa N° 6

E = 400.00 Kg/cm²
 μ = 0.50

Continuación...

- PROGRAMA DEPAV -

DATOS :

Título : 1700 REFUERZOS REALES DE CONSTRUCCION.

Alternativa : 1

RESULTADOS :

Posición del valor máximo para una carga :

A ... Bajo una rueda simple

B ... Bajo una de las llantas de la rueda doble

C ... Al centro de la rueda doble

#	Z (cm)	Epsilon T	Sigma T (Kg/cm ²)	Epsilon Z	Sigma Z (Kg/cm ²)
1	0.00	4.6000E-04 B	1.2746E+01 B	-2.4200E-04 C	5.5982E+00 A
	6.00	-1.2300E-04 A	-7.2603E-01 A	-1.5700E-05 C	3.9972E+00 B
Ligada					
2	6.00	-1.2300E-04 A	8.2596E-01 B	4.6000E-04 A	3.9972E+00 B
	12.00	-3.7300E-04 B	-2.9673E+00 B	4.8600E-04 B	1.8151E+00 B
Ligada					
3	12.00	-3.7300E-04 B	-1.3868E+00 B	5.8600E-04 B	1.8151E+00 B
	17.00	-5.8300E-04 C	-3.0489E+00 B	6.4300E-04 B	9.9931E-01 B
Ligada					
4	17.00	-5.8300E-04 C	-6.3629E-02 A	1.1700E-03 B	9.9931E-01 B
	27.00	-4.8400E-04 C	-1.6111E-01 C	8.8400E-04 C	6.6994E-01 C
Ligada					
5	27.00	-4.8400E-04 C	4.6600E-02 C	9.0500E-04 C	6.6994E-01 C
	108.00	-1.2600E-04 C	-5.9449E-02 C	2.4500E-04 C	1.0707E-01 C
Ligada					
6	108.00	-1.2600E-04 C	7.5254E-03 C	2.4600E-04 C	1.0707E-01 C

Deflexión = 83.450 mm/100

Radio de Curvatura = 98.440 m

- PROGRAMA DEPAV -

DATOS :

Título : 1700 REFUERZOS REALES DE CONSTRUCCION.

Alternativa : 2

Radio de Carga = 10.80 cm
Presión de Contacto = 5.60 Kg/cm²
Distancia Entre Ejes de Llantas = 32.40 cm

Capa N° 1

E = 15000.00 Kg/cm²
 μ = 0.35
H = 7.00 cm

Capa N° 2

E = 8000.00 Kg/cm²
 μ = 0.35
H = 4.00 cm

Capa N° 3

E = 4500.00 Kg/cm²
 μ = 0.35
H = 5.00 cm

Capa N° 4

E = 800.00 Kg/cm²
 μ = 0.40
H = 10.00 cm

Capa N° 5

E = 500.00 Kg/cm²
 μ = 0.45
H = 79.00 cm

Capa N° 6

E = 400.00 Kg/cm²
 μ = 0.50

Continuación...

- PROGRAMA DEPAV -

DATOS :

Título : 1700 REFUERZOS REALES DE CONSTRUCCION.

Alternativa : 2

RESULTADOS :

Posición del valor máximo para una carga :

A ... Bajo una rueda simple

B ... Bajo una de las llantas de la rueda doble

C ... Al centro de la rueda doble

#	Z (cm)	Epsilon T	Sigma T (Kg/cm ²)	Epsilon Z	Sigma Z (Kg/cm ²)
1	0.00	5.0400E-04 B	1.3664E+01 B	-2.9100E-04 C	5.5982E+00 A
	7.00	-1.8600E-04 B	-2.2127E+00 B	3.1800E-04 A	3.3548E+00 B
Ligada					
2	7.00	-1.8600E-04 B	-5.6084E-01 C	4.3700E-04 A	3.3548E+00 B
	11.00	-4.0500E-04 B	-3.5588E+00 B	5.1100E-04 B	1.8661E+00 B
Ligada					
3	11.00	-4.0500E-04 B	-1.5601E+00 B	6.2400E-04 B	1.8661E+00 B
	16.00	-6.5600E-04 C	-3.5180E+00 B	7.0600E-04 B	9.8401E-01 B
Ligada					
4	16.00	-6.5600E-04 C	-1.1625E-01 C	1.2800E-03 B	9.8401E-01 B
	26.00	-6.0000E-04 C	-2.8348E-01 C	1.0200E-03 C	6.4241E-01 C
Ligada					
5	26.00	-6.0000E-04 C	4.5887E-02 C	1.1300E-03 C	6.4241E-01 C
	105.00	-1.4200E-04 C	-2.8552E-02 C	2.9100E-04 C	1.2032E-01 C
Ligada					
6	105.00	-1.4200E-04 C	8.7796E-03 C	2.7800E-04 C	1.2032E-01 C

Deflexión = 95.730 mm/100

Radio de Curvatura = 90.350 m

- PROGRAMA DEPAV -

DATOS :

Título : 1700 REFUERZOS REALES DE CONSTRUCCION.

Alternativa : 4

Radio de Carga = 10.80 cm
Presión de Contacto = 5.60 Kg/cm²
Distancia Entre Ejes de Llantas = 32.40 cm

Capa N° 1

E = 15000.00 Kg/cm²
 μ = 0.35
H = 7.00 cm

Capa N° 2

E = 6700.00 Kg/cm²
 μ = 0.35
H = 4.00 cm

Capa N° 3

E = 4000.00 Kg/cm²
 μ = 0.35
H = 5.00 cm

Capa N° 4

E = 800.00 Kg/cm²
 μ = 0.40
H = 10.00 cm

Capa N° 5

E = 640.00 Kg/cm²
 μ = 0.45
H = 56.00 cm

Capa N° 6

E = 480.00 Kg/cm²
 μ = 0.50

Continuación...

- PROGRAMA DEPAV -

DATOS :

Título : 1700 REFUERZOS REALES DE CONSTRUCCION.

Alternativa : 4

RESULTADOS :

Posición del valor máximo para una carga :

A ... Bajo una rueda simple

B ... Bajo una de las llantas de la rueda doble

C ... Al centro de la rueda doble

#	Z (cm)	Epsilon T	Sigma T (Kg/cm ²)	Epsilon Z	Sigma Z (Kg/cm ²)
1	0.00	4.9700E-04 B	1.3562E+01 B	-2.6500E-04 C	5.5982E+00 A
	7.00	-2.2200E-04 B	-3.0183E+00 B	3.5200E-04 A	3.3140E+00 B
Ligada					
2	7.00	-2.2200E-04 B	-5.4860E-01 C	5.1800E-04 B	3.3140E+00 B
	11.00	-4.2100E-04 B	-2.9367E+00 B	5.5700E-04 B	1.9170E+00 B
Ligada					
3	11.00	-4.2100E-04 B	-1.3358E+00 B	6.7700E-04 B	1.9170E+00 B
	16.00	-6.5200E-04 C	-2.9979E+00 B	7.3200E-04 B	1.0809E+00 B
Ligada					
4	16.00	-6.5200E-04 C	-5.5880E-02 A	1.3300E-03 B	1.0809E+00 B
	26.00	-5.3100E-04 C	-1.4480E-01 C	9.8200E-04 C	7.1991E-01 C
Ligada					
5	26.00	-5.3100E-04 C	4.9863E-02 C	9.8700E-04 C	7.1991E-01 C
	82.00	-1.7900E-04 C	-5.4452E-02 C	3.5700E-04 C	1.8253E-01 C
Ligada					
6	82.00	-1.7900E-04 C	1.4582E-02 C	3.4500E-04 C	1.8253E-01 C

Deflexión = 85.240 mm/100

Radio de Curvatura = 88.320 m

- PROGRAMA DEPAV -

DATOS :

Título : 1700 REFUERZOS REALES DE CONSTRUCCION. Alternativa : 6

Radio de Carga = 10.80 cm
Presión de Contacto = 5.60 Kg/cm²
Distancia Entre Ejes de Llantas = 32.40 cm

Capa N° 1

E = 15000.00 Kg/cm²
 μ = 0.35
H = 7.00 cm

Capa N° 2

E = 6000.00 Kg/cm²
 μ = 0.35
H = 6.00 cm

Capa N° 3

E = 3500.00 Kg/cm²
 μ = 0.35
H = 5.00 cm

Capa N° 4

E = 800.00 Kg/cm²
 μ = 0.40
H = 10.00 cm

Capa N° 5

E = 540.00 Kg/cm²
 μ = 0.45
H = 84.00 cm

Capa N° 6

E = 450.00 Kg/cm²
 μ = 0.50

Continuación...

- PROGRAMA DEPAV -

DATOS :

Título : 1700 REFUERZOS REALES DE CONSTRUCCION.

Alternativa : 6

RESULTADOS :

Posición del valor máximo para una carga :

A ... Bajo una rueda simple

B ... Bajo una de las llantas de la rueda doble

C ... Al centro de la rueda doble

#	Z (cm)	Epsilon T	Sigma T (Kg/cm ²)	Epsilon Z	Sigma Z (Kg/cm ²)
1	0.00	4.8100E-04 B	1.3256E+01 B	-2.5700E-04 C	5.5982E+00 A
	7.00	-2.0700E-04 B	-2.6410E+00 B	3.4800E-04 A	3.4568E+00 B
2	7.00	-2.0700E-04 B	-2.4575E-01 C	5.6000E-04 A	3.4568E+00 B
	13.00	-4.3000E-04 B	-2.7736E+00 B	5.4900E-04 B	1.5703E+00 B
3	13.00	-4.3000E-04 B	-1.2746E+00 C	6.6500E-04 B	1.5703E+00 B
	18.00	-6.2600E-04 C	-2.4677E+00 B	6.9800E-04 B	9.1263E-01 B
4	18.00	-6.2600E-04 C	-1.2032E-01 C	1.1900E-03 B	9.1263E-01 B
	28.00	-5.3900E-04 C	-2.3351E-01 C	9.4200E-04 C	6.1182E-01 C
5	28.00	-5.3900E-04 C	3.2834E-02 C	1.0200E-03 C	6.1182E-01 C
	112.00	-1.1500E-04 C	-2.1618E-02 C	2.3800E-04 C	1.1013E-01 C
6	112.00	-1.1500E-04 C	7.7395E-03 C	2.2500E-04 C	1.1013E-01 C

Deflexión = 86.500 mm/100
Radio de Curvatura = 93.950 m

- PROGRAMA DEPAV -

DATOS :

Título : 1700 REFUERZOS REALES DE CONSTRUCCION. Alternativa : 8

Radio de Carga = 10.80 cm
Presión de Contacto = 5.60 Kg/cm²
Distancia Entre Ejes de Llantas = 32.40 cm

Capa N° 1

E = 15000.00 Kg/cm²
 μ = 0.35
H = 11.00 cm

Capa N° 2

E = 5500.00 Kg/cm²
 μ = 0.35
H = 4.00 cm

Capa N° 3

E = 4000.00 Kg/cm²
 μ = 0.35
H = 5.00 cm

Capa N° 4

E = 550.00 Kg/cm²
 μ = 0.40
H = 10.00 cm

Capa N° 5

E = 480.00 Kg/cm²
 μ = 0.45
H = 50.00 cm

Capa N° 6

E = 380.00 Kg/cm²
 μ = 0.50

Continuación...

- PROGRAMA DEPAV -

DATOS :

Título : 1700 REFUERZOS REALES DE CONSTRUCCION.

Alternativa : 8

RESULTADOS :

Posición del valor máximo para una carga :

A ... Bajo una rueda simple

B ... Bajo una de las llantas de la rueda doble

C ... Al centro de la rueda doble

#	Z (cm)	Epsilon T	Sigma T (Kg/cm ²)	Epsilon Z	Sigma Z (Kg/cm ²)
1	0.00	4.2700E-04 B	1.2032E+01 B	-2.7800E-04 C	5.5982E+00 A
	11.00	-2.8400E-04 B	-4.9761E+00 B	3.4400E-04 B	2.0088E+00 B
2	11.00	-2.8400E-04 B	-1.1829E+00 C	4.8800E-04 B	2.0088E+00 B
	15.00	-3.8900E-04 C	-2.3351E+00 B	4.7200E-04 B	1.1421E+00 B
3	15.00	-3.8900E-04 C	-1.5703E+00 C	5.2000E-04 B	1.1421E+00 B
	20.00	-5.7900E-04 C	-2.7430E+00 B	5.9400E-04 B	6.5363E-01 B
4	20.00	-5.7900E-04 C	-2.9163E-02 A	1.1600E-03 B	6.5363E-01 B
	30.00	-4.5600E-04 C	-5.5778E-02 C	9.3200E-04 C	4.8946E-01 C
5	30.00	-4.5600E-04 C	3.9564E-02 C	9.0300E-04 C	4.8946E-01 C
	80.00	-2.0000E-04 C	-3.4874E-02 C	4.0800E-04 C	1.6621E-01 C
6	80.00	-2.0000E-04 C	1.7641E-02 C	3.8700E-04 C	1.6621E-01 C

Deflexión = 91.280 mm/100

Radio de Curvatura = 119.650 m

- PROGRAMA DEPAV -

DATOS :

Título : 1700 REFUERZOS REALES DE CONSTRUCCION. Alternativa : 10

Radio de Carga = 10.80 cm
Presión de Contacto = 5.60 Kg/cm²
Distancia Entre Ejes de Llantas = 32.40 cm

Capa N° 1

E = 15000.00 Kg/cm²
 μ = 0.35
H = 8.00 cm

Capa N° 2

E = 6500.00 Kg/cm²
 μ = 0.35
H = 4.00 cm

Capa N° 3

E = 3500.00 Kg/cm²
 μ = 0.35
H = 5.00 cm

Capa N° 4

E = 700.00 Kg/cm²
 μ = 0.40
H = 10.00 cm

Capa N° 5

E = 600.00 Kg/cm²
 μ = 0.45
H = 52.00 cm

Capa N° 6

E = 480.00 Kg/cm²
 μ = 0.50

Continuación...

- PROGRAMA DEPAV -

DATOS :

Título : 1700 REFUERZOS REALES DE CONSTRUCCION.

Alternativa : 10

RESULTADOS :

Posición del valor máximo para una carga :

A ... Bajo una rueda simple

B ... Bajo una de las llantas de la rueda doble

C ... Al centro de la rueda doble

#	Z (cm)	Epsilon T	Sigma T (Kg/cm ²)	Epsilon Z	Sigma Z (Kg/cm ²)
1	0.00	4.8800E-04 B	1.3358E+01 B	-2.7700E-04 C	5.5982E+00 A
	8.00	-2.5900E-04 B	-3.9972E+00 B	3.6000E-04 B	2.8756E+00 B
2	8.00	-2.5900E-04 B	-9.2691E-01 C	5.1700E-04 B	2.8756E+00 B
	12.00	-4.4500E-04 B	-3.1713E+00 B	5.5500E-04 B	1.6417E+00 B
3	12.00	-4.4500E-04 B	-1.3052E+00 B	6.9000E-04 B	1.6417E+00 B
	17.00	-6.6000E-04 C	-2.6104E+00 B	7.3400E-04 B	9.5342E-01 B
4	17.00	-6.6000E-04 C	-4.4561E-02 A	1.3300E-03 B	9.5342E-01 B
	27.00	-5.1600E-04 C	-9.2181E-02 C	1.0000E-03 C	6.6790E-01 C
5	27.00	-5.1600E-04 C	4.9150E-02 C	9.7800E-04 C	6.6790E-01 C
	79.00	-1.8900E-04 C	-4.2827E-02 C	3.8200E-04 C	1.9272E-01 C
6	79.00	-1.8900E-04 C	1.6723E-02 C	3.6300E-04 C	1.9272E-01 C

Deflexión = 86.280 mm/100
Radio de Curvatura = 92.920 m







