

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA  
FACULTAD DE ESTUDIOS A DISTANCIA – FAEDIS**



**DISEÑO ALTERNATIVO DE UN PAVIMENTO DE LA VEREDA PLATANILLO  
DEPARTAMENTO DEL PUTUMAYO**

**GILBERTO MILTON CHACHINOY BURBANO  
CÓDIGO D7301056**

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA  
FACULTAD DE ESTUDIOS A DISTANCIA – FAEDIS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL  
BOGOTÁ D.C.  
AGOSTO DE 2016**

**DISEÑO ALTERNATIVO DE UN PAVIMENTO DE LA VEREDA PLATANILLO  
DEPARTAMENTO DEL PUTUMAYO**

**GILBERTO MILTON CHACHINOY BURBANO  
CÓDIGO D7301056**

**Propuesta de grado presentada como requisito parcial para optar  
al título de Ingeniero Civil**

**Director:  
Ing. LUIS ÁNGEL MORENO ANSELMÍ**

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA  
FACULTAD DE ESTUDIOS A DISTANCIA – FAEDIS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL  
BOGOTÁ D.C.  
AGOSTO DE 2016**

Bogotá, D.C., agosto 2016

Señores:

**COMITÉ DE OPCIÓN DE GRADO  
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL  
FACULTAD DE ESTUDIOS A DISTANCIA  
UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA  
Ciudad.-**

Ref.: Presentación propuesta

En cumplimiento del reglamento de la Facultad para el desarrollo de la Opción de Grado, me permito presentar para los fines pertinentes la propuesta titulada: "DISEÑO DE UN PAVIMENTO Y OBRAS DE ARTE DE LA VEREDA PLATANILLO DEPARTAMENTO DEL PUTUMAYO"

El Director es el Ingeniero LUIS ÁNGEL MORENO ANSELMI

Atentamente,

-----  
GILBERTO MILTON CHACHINOY BURBANO  
CÓDIGO D7301056  
Estudiante de Ingeniería Civil

## **APROBACIÓN**

La propuesta de grado titulada “DISEÑO DE UN PAVIMENTO Y OBRAS DE ARTE DE LA VEREDA PLATANILLO DEPARTAMENTO DEL PUTUMAYO” opción de grado PROYECTO DE INVESTIGACIÓN, presentada por el estudiante GILBERTO MILTON CHACHINOY BURBANO en cumplimiento parcial de los requisitos para optar al título de “Ingeniero Civil” fue aprobada por el Director:

---

Ing. LUIS ÁNGEL MORENO ANSELMÍ  
Director Universidad Militar Nueva Granada

## CONTENIDO

	pág.
RESUMEN	10
INTRODUCCIÓN	11
1. PROBLEMA DE ESTUDIO	12
1.1 OBJETO DE INVESTIGACIÓN	12
1.2 ÁREA DE INVESTIGACIÓN	12
1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	12
1.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	12
1.5 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	12
1.6 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	12
1.6.1 Objetivo General.	12
1.6.2 Objetivos Específicos	13
1.7 ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN	13
1.7.1 Acceso al Área.	13
1.8 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
2. DELIMITACIÓN	14
2.1 DELIMITACIÓN ESPACIAL	14
2.2 DELIMITACIÓN CRONOLÓGICA	14
2.3 DELIMITACIÓN CONCEPTUAL	14
2.4 DELIMITACIÓN METODOLÓGICA	14
3. TÓPICOS DEL MARCO TEÓRICO	15
3.1 ANTECEDENTES	15
3.1.1 Características y Propiedades de los Tallos de los Helechos.	16
3.2 MARCO TEÓRICO	21
4. METODOLOGÍA	23
4.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN	23
4.2 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	23
4.2.1 Investigación Preliminar.	23
4.2.2 Coordenadas de la Vía Platanillo.	23
4.2.2.1 Reconocimiento del Terreno.	23
4.2.2.2 Procedimiento.	23
5. GENERALIDADES	35
5.1 MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS Y TRANSPORTE DE COLOMBIA (MOPT)	35
5.1.1 Road Note 31.	35
5.1.1.1 Manual de diseño de pavimentos asfálticos en vías con altos volúmenes de tránsito (INVIAS).	36
5.2 MÉTODO AASHTO PARA DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES	36
5.2.1 Programa DEPAV.	37
6. INVENTARIO VIAL – PROCEDIMIENTO PCI	38
6.1 DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE CONDICIÓN DE PAVIMENTO PCI.	38

6.1.1 Procedimiento de Evaluación de la Condición del Pavimento (PCI).	39
6.1.2 Tipo de Daños Presentes en Vías Aledañas a la Vía Objeto de Estudio	41
7. DISEÑO DE LAS ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO EN CONCRETO ASFALTICO	46
7.1 DISEÑO MÉTODO AASHTO	46
8. MÉTODO DEL INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS PARA VÍAS DE MEDIOS Y ALTOS VOLÚMENES DE TRANSITO	50
8.1 MÉTODO DE DISEÑO MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS DE COLOMBIA	51
8.2 MÉTODO DEL TRL PARA DISEÑO DE PAVIMENTOS EN PAÍSES TROPICALES Y SUBTROPICALES (ROAD NOTE 31 DE 1993 DEL TRANSPORT AND ROAD RESEARCH LABORATORY DEL REINO UNIDO)	53
8.3 MÉTODO DEL INSTITUTO DEL ASFALTO	57
8.4 REVISIÓN DE ESFUERZOS POR EL PROGRAMA DEPAV	64
9. CONCLUSIONES	67
BIBLIOGRAFÍA	69
ANEXOS	70

## LISTA DE FIGURAS

	<b>pág.</b>
Figura 1. Helecho Adulto cultivado en una zona antes deforestada	28
Figura 2. Maceta Elaborada con Raíz de Helechos	28
Figura 3. Composición del Asfalto	30
Figura 4. Formato a emplear para el diagnostico vial método del PCI	39
Figura 5. Carta 3 Base Granular/ Rodadura Semi – Estructural	54
Figura 6. Carta 7 Base Asfáltica/ Rodadura Semi – Estructural	55
Figura 7. Carta 4 Base Compuesta/ Rodadura Semi Estructural	56

## LISTA DE TABLAS

	<b>pág.</b>
Tabla 1. Procedimiento	24
Tabla 2. Requisitos de los agregados para sub-bases granulares	25
Tabla 3. Porcentaje Admisible	27
Tabla 4. Evolución de los componentes químicos del asfalto	29
Tabla 5. Producto Original	29
Tabla 6. Composición del Asfalto	29
Tabla 7. Ensayo/Test	30
Tabla 8. Ensayo/test sobre el asfalto	31
Tabla 9. Clave de la muestra	31
Tabla 10. Resistencia a compresión, velocidad de ultrasonido y módulo de elasticidad	31
Tabla 11. Tipo de Mezcla a utilizar en función del Tipo y espesor de la capa	32
Tabla 12. Uso del Pavimento	32
Tabla 13. Caracterización de los Agregados	33
Tabla 14. Índices FTIR para asfaltos iniciales y envejecidos en RTFOT y PAV	33
Tabla 15. Especificaciones generales de la construcción de carreteras	33
Tabla 16. Parámetros del Modelo CHRISTENSEN - ANDERSON	34
Tabla 17. Rango de calificación del PCI	38
Tabla 18. Espesores mínimos (pulgadas)	48
Tabla 19. Carta de diseño MOPT	52
Tabla 20. Clasificación del transito	53
Tabla 21. Clasificación de la Subrasante	54
Tabla 22. Estructuras calculadas para las diferentes cartas	63

## LISTA DE ANEXOS

	<b>pág.</b>
Anexo A. Presupuesto .....	71
Anexo B. Cronograma .....	73
Anexo C. Planchas .....	74
Anexo D. Corte Transversal.....	85

## RESUMEN

En la investigación se planteó como objetivo general “Analizar las propiedades de materiales vegetales estructurales de alta durabilidad en condiciones freáticas altas que pueden contribuir a mejorar la duración del periodo útil de las vías ya sean primarias o secundarias”.

Se llevó a cabo de acuerdo a una metodología de trabajo de tipo descriptiva, experimental y con un diseño que aplica estrategias de campo, documental y experimental. La prueba de duración de los tallos vegetales de helechos ya que en su gran mayoría son tallos que se cortaron de la misma franja de rocería de la vía los cuales se pueden utilizar en las zonas donde el nivel freático es alto en varios puntos de franja vial, por sus características los tallos de helechos presentan gran flexibilidad, no se comprimen, no se dilatan, su duración supera los 100, años y mucho más denominando por ello a estos tallos fósiles según las investigaciones realizadas, en la actualidad se tiene conocimiento de caminos indígenas que existen empalizados con tallos de helechos los cuales superan un siglo de existencia, también construcciones de campo como pequeñas cabañas de campo en la reserva de flora y fauna Guames en el Departamento de Nariño. Por otro lado los tallos de helechos no se prestan para sacar piezas labradas como: tabla, listones, se pretende remplazar los tallos de los helechos con otras especies silvestres que no afecten la salud del ganado ni tampoco afecte el crecimiento de los pastos en estas regiones donde sobresale la explotación ganadera. Es de gran importancia anotar que los tallos de helechos trabajaran de una forma integral con el Hormigón asfáltico, también conocido como hormigón bituminoso, mezcla asfáltica, concreto bituminoso o agregado asfáltico consiste en un agregado de asfalto y materiales que son mezcla de varios tamaños de áridos y finos los cuales se mezclan juntos, se extienden en capas y se compactan ya sea en calor o en frío

## INTRODUCCIÓN

Desde épocas remotas en el departamento del putumayo se han diseñado de forma empírica caminos y vías de comunicación en pavimento flexible las cuales han tenido periodos muy cortos de duración esto debido a que en la zona se presenta gran porcentaje de precipitación pluvial anual por lo cual con el apoyo de la UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA. En los conocimientos constructivos y de diseño nos permite realizar investigaciones buscando materiales que permitan aumentar el periodo de duración de las obras civiles construidas para esto se ha elegido los helechos como material estructural para mejorar la estabilidad de la base y sub rasante y la estabilidad de la carpeta asfáltica se eligió los tallos de los helechos ya que estos causan problemas al ser consumidos por los animales especialmente el ganado de leche además ahogan los pastos impidiendo su desarrollo, cabe anotar que los tallos de los helechos serán remplazados por otras especies nativas para disminuir al máximo el impacto ambiental, ni tampoco afectar el aspecto socioeconómico, una breve explicación de la utilización de los tallos de helechos adultos es en forma de empalizada debajo de la subrasante ya que de acuerdo a la investigación realizada estos pueden permanecer intactos en condiciones freáticas altas durante muy largos periodos de tiempo, de esta forma los tallos de los helechos entrarían a formar parte de la estructura del pavimento en su conformación. El refuerzo estructural con tallos de helechos se utilizara solo en puntos donde el nivel freático sobrepase el 50% de humedad, por otro lado los tallos de los helechos no proporcionan madera para trabajarla como tabla duela listones.

## 1. PROBLEMA DE ESTUDIO

### 1.1 OBJETO DE INVESTIGACIÓN

Vereda Platanillo, Departamento del Putumayo.

### 1.2 ÁREA DE INVESTIGACIÓN

Diseño de Pavimento flexibles, tallos de helechos sirven como base de la investigación.

### 1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el sector rural del departamento del putumayo, no existe un diseño adecuado en los pavimentos flexibles de las vías de acceso perjudicando así al sector económico, cultural y social por no contar con un diseño técnico de pavimentos.

### 1.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Qué área, longitud de vías, que número de viviendas y numero de predios conforman las franjas viales de la vereda Platanillo?

### 1.5 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Actualmente muchas empresas constructoras utilizan como soporte estructural aditivos que impermeabilizan las estructuras de concreto, lo cual aumento el costo de la obra civil los tallos de helechos solo se utilizaran en determinadas áreas de la vía donde el nivel freático es alto, de otra forma los aditivos de las estructuras convencionales se filtran en los suelos los cuales van a depositarse en los ríos y quebradas afectando el medio ambiente. El resto de la estructura del pavimento flexible funciona normal como una vía tradicional.

### 1.6 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

**1.6.1 Objetivo General.** Compilar y divulgar los conocimientos y logros de los trabajos de investigaciones en el diseño y construcción de vías con materiales novedosos como iniciativa investigativa de la Facultad de Ingeniería de la

Universidad Militar Nueva Granada – Sede Bogotá, a través de un documento fácil de consulta que permita hacer visible el estado del conocimiento en dicho campo.

### 1.6.2 Objetivos Específicos

- Realizar un análisis crítico de las investigaciones realizadas en el proyecto de diseño y construcción.
- Analizar los materiales constructivos que puedan aumentar la durabilidad de los pavimentos sin causar impactos ambientales negativos.
- Mejorar y aumentar la capacidad portante de las arterias viales en el Departamento del Putumayo.
- Disminuir la afectación causada por el nivel freático en las vías mediante materiales novedosos.
- Generar un documento que tenga posibilidades de publicación para que se pueda aprovechar los aportes investigativos.

## 1.7 ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN

En el siguiente trabajo de investigación se desea analizar el uso de tallos de helechos como un soporte estructural que contribuye a la duración de las obras de infraestructura como vías, puentes y construcciones de campo, dando a conocer este material se podrá aprovechar estos recurso que en muchos casos no se tienen en cuenta para mejorar las vías de comunicación.

**1.7.1 Acceso al Área.** Las áreas son las siguientes: topografía, diseño de vías, diseño de pavimento asfáltico.

## 1.8 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el contexto constructivo existe una concepción esencialmente de buscar materiales resistentes y económicos, cuyas prácticas constructivas hacen necesario utilizar materiales resistentes en áreas donde se pueden aumentar los costos utilizando materiales convencionales del proceso constructivo para resolver problemas de duración en estructuras civiles.

## 2. DELIMITACIÓN

### 2.1 DELIMITACIÓN ESPACIAL

A pesar de que este es un problema de deficiencia constructiva en vías que afecta las regiones donde hay gran cantidad de precipitación pluvial, hemos adoptado por realizar un diseño integral con el pavimento, en base y teniendo como objetivo, la utilización de los tallos de helechos como elemento estructural.

El presente proyecto de investigación será desarrollado bajo criterios y dentro de los programas académicos de la Universidad Militar Nueva Granada, bajo la asesoría del grupo de docentes y de investigación de la Universidad, en la ciudad de Bogotá.

### 2.2 DELIMITACIÓN CRONOLÓGICA

El proyecto es ambicioso, que si bien tiene un comienzo sencillo, pretende crecer e implementar nuevas tecnologías con el tiempo.

Durante los siguientes 3 meses se pretende realizar el levantamiento de información tanto histórica como actual, antecedentes, bases teóricas y las teorías basadas en la Ingeniería.

### 2.3 DELIMITACIÓN CONCEPTUAL

En este proyecto principalmente vamos a tratar exclusivamente el concepto global de la investigación en el aspecto de aplicación de la Ingeniería Civil, por lo tanto los aspectos puntuales no se tendrán en cuenta.

El proyecto está dirigido a entidades dedicadas a la construcción, por lo tanto, no pretende solucionar problemas sin tener un conocimiento adecuado de su conjunto integral como estructura.

### 2.4 DELIMITACIÓN METODOLÓGICA

El presente proyecto de investigación estará determinado por la metodología que permita la identificación de las necesidades de las entidades en terrenos de difícil construcción de vías u otras obras relacionadas con las obras civiles de tal modo que esta tecnología constructiva pueda usarse indefinidamente en el tiempo dado el carácter universal de su metodología.

### 3. TÓPICOS DEL MARCO TEÓRICO

#### 3.1 ANTECEDENTES

El desarrollo de las tecnologías en los tiempos modernos ha dado un impulso notable a experimentar con nuevos materiales que podrán ser utilizados en la obras de ingeniería civil, que hasta hace pocos años no pasaban de ser experimentos sin ser aplicados en realidad o con limitaciones, por lo cual la necesidad de conseguir materiales para dar solución a las obras de infraestructura ha hecho necesario un recorrido histórico sobre el desarrollo de tecnologías para descubrir nuevos materiales para utilizar en el área de ingeniería civil.

La recopilación histórica de datos tecnológicos tiene como objetivo ofrecer un acercamiento a los temas que centran la atención de los investigadores del área de la ingeniería y detectar la existencia de algunas líneas de investigación comunes.

Los primeros indicios de investigación sobre los medios, como antecedentes se remontan a los años 1600, luego con la construcción de la Ruta Nacional 25, comúnmente llamada Troncal de Occidente o Troncal Occidental, hace parte del corredor vial Nacional de Colombia que parte del Puente Rumichaca en la frontera con el Ecuador y termina en la ciudad de Barranquilla. Es la principal vía de Occidente del país y hasta el momento la única vía que bordea el Pacífico debido a la no terminación de la Ruta 5.

Según el Decreto 1735 de 2001 del Ministerio de Transporte y a cargo del Instituto Nacional de Vías, la Ruta Nacional 25 fue rebautizada como la Troncal de Occidente y generalmente tomo gran parte de los tramos y ramales que conforma la Ruta 25 aunque también de la ruta 31.

Tiene una extensión de 1.418,13 km siendo una de las rutas más extensas del país. La ruta se encuentra pavimentada en su totalidad. Hay aproximadamente 120 km en doble calzada que van desde la Ciudad de Cali hasta el sitio de La Paila en el Municipio de Zarzal y desde el Cruce Villa Rica hasta Santander de Quilichao.

Este hecho motivo a los investigadores a buscar materiales que no causen efectos al medio ambiente como también disminuir los costos de ejecución en las obras viales por lo cual se utilizan hoy en día en la práctica residuos de llantas de vehículos procesados como componentes de los concretos asfálticos, también se habla de estiércol de cerdo como componente del concreto asfáltico.

Investigadores estadounidenses fabricaron asfalto a partir de un inusual material: estiércol de cerdo. Este invento permitirá reducir no solo los costos de producción sino también las emisiones de CO<sub>2</sub>.

Un grupo de estudiantes e investigadores de la Universidad A&T de Carolina del Norte, Estados Unidos, desarrollaron un método para fabricar asfalto a partir de la utilización de estiércol de cerdo.

Tras nueve años de investigación, el equipo liderado por la doctora Elham Fini llegó a la conclusión de que este tipo de excremento, unido al calor, a la presión y al oxígeno, da como resultado el nuevo derivado del petróleo que permite ligar el asfalto.

Mediante el uso de este material, se podrán reducir los costos de construcción de calles y autopistas, ya que el precio de dicha materia prima resulta más económico. Además, su empleo reducirá el impacto en el medio ambiente y se evitaría la utilización de materiales derivados del petróleo.

Este original pegamento, denominado PiGrid, surge gracias a que los excrementos de cerdo contienen aceites similares a los que componen el petróleo, por lo que es posible fabricar la especie de resina que se utiliza posteriormente para ligar las calzadas.

**3.1.1 Características y Propiedades de los Tallos de los Helechos.** Más antiguos que los dinosaurios, los helechos son muy decorativos por su forma y sus distintas tonalidades de verdes. También son las plantas más utilizadas en los arreglos florales.

Hay registros fósiles de especies de helechos de hace 425 millones de años, cuando formaban bosques con ejemplares de más de 25 metros de altura. Estos helechos gigantes se han extinguido, y en la actualidad solo persisten helechos (semejantes a palmeras) en selvas tropicales y templadas de Sudamérica, Sur de África y Oceanía. En nuestra región hay muchas especies de helechos nativos, sobre todo en Mesopotamia. El instituto de floricultura del INTA, dedicado a la investigación de nuevas variedades comerciales, presentó las características principales de esta especie y ofreció algunas recomendaciones para tener éxito en su multiplicación.

“Los helechos se encuentran, junto con los musgos y las hepáticas, entre las plantas terrestres más primitivas, no tiene flores y dependen del agua para reproducirse, por eso se encuentran en ambientes húmedos, como selvas, bosques, pantanos y orillas de ríos”, introdujo la Doctora. Gabriela Faccito, directora del Instituto de Floricultura del INTA Castelar.

Los helechos presentan raíces verdaderas, tallo, hojas, y tejidos de conducción bien diferenciados, que transportan agua y sales de las raíces a las hojas (savia bruta) y sustancias producidas durante la fotosíntesis de las hojas al resto de la planta (savia elaborada). Las hojas pueden ser de dos tipos de acuerdo a su función: trofofilas, destinadas a la fotosíntesis; y esporofilas, destinadas a la reproducción, que pueden ser iguales o de forma y tamaño distintos.

Estas plantas presentan hojas desarrolladas que se denominan frondes, con numerosos nervios formando retículos y dispuestas en forma espiralada, Los helechos y licofitas no tienen flores y sus hojas fértiles o esporofilos, llevan esporangios, pequeñas capsulas donde se encuentran las esporas, que son las unidades de dispersión, análogas a la semilla en plantas superiores. En los helechos los esporangios están agrupados formando Soros y varia su disposición. Pueden estar en los estróbilos terminales (semejantes a pequeñas piñas), en el envés de la hoja, en porciones fértiles de la misma hoja, en esporofilos semejantes, o en esporofilos distintos de las frondes.

A pesar de estar limitados a la disponibilidad de agua para su reproducción, los helechos están presentes en una gran diversidad de hábitats, pues hay helechos terrestres, epífitos (cresen sobre otras plantas, generalmente sobre troncos y ramas de árboles), rupícolas o saxícolas (crescen sobre rocas), paludícolas (crescen sobre pantanos y zonas temporalmente inundadas) y unos pocos son acuáticos.

### **Su reproducción.**

Las esporas se colectan a partir de frondes con abundantes soros maduros, cuyos esporangios permanecen todavía cerrados. “Por ello es necesario reconocer cuando los esporangios están maduros. Esta maduración se advierte por el cambio de coloración de los soros que va del verde al amarillo o al marrón dependiendo de la especie. Es muy importante que los esporangios estén aun cerrados para no perder las esporas”, recomiendan en el INTA.

Las frondes reproductivas se colocan en bolsas de papel a temperatura ambiente por 2-7 días para que se liberen las esporas. Algunas especies producen grandes cantidades. Es conveniente eliminar restos de esporangios para reducir la contaminación con algas, bacterias, hongos y musgos. Para ello el material que recoge de la bolsa se pasa por un tamiz 53 um de temperatura. Lo que se selecciona es un polvo muy fino amarillo, marrón o negro según las especies.

Una vez obtenidas las esporas se procede a la siembra, debiendo realizar luego un estricto seguimiento para lograr buenos resultados. “A pesar que se cree que el cultivo de esporas se requiere una instalación muy cuidada es posible cultivar estos helechos siguiendo algunas pautas simples”, señalaron en el INTA.

Es conveniente utilizar recipientes de plástico transparente limpios con tapa que posea un cierre para preservar la humedad necesaria para un buen desarrollo del prótalo y la posterior fecundación.

Es también recomendable desinfectar los recipientes y usar con alcohol al 70%. Para ello hay que diluir el alcohol común en 96°. Esto se hace colocando en un recipiente graduado 300cc de agua destilada y 700cc de alcohol y así se obtiene 1 litro de alcohol al 70%.

Para dar un ejemplo, Facciouto utilizo cajas de 12 cm de diámetro y 7 cm de alto, coloco 200 cc de turba, que da una altura del sustrato de 3 cm y aplico 90 ml de agua destilada. “Es muy importante humedecer con agua destilada la turba 1-2 días antes de la siembra ya que esta es muy hidrófuga y debe estar muy homogeneizada”, señalo. Antes de sembrar también es conveniente hacer una leve presión y alisado de la superficie del sustrato para que no queden pequeños huecos de aire donde se depositen las esporas y sería más fácil su germinación y posterior desarrollo.

Las esporas liberadas se siembran espolvoreando sobre la turba tamizada y previamente humedecida. La siembra debe hacerse cuidadosamente para lograr una buena distribución de las esporas sobre la superficie del sustrato.

Se aconseja humedecer la superficie sembrada con un rociador de gota fina con agua destilada. Es importante tapar y etiquetar con nombre, fecha de siembra u otro dato que se considere importante.

Las cajas sembradas se llevan de ser posible a una cámara con 18 hs de luz a 25°C. De no poseer este tipo de instalaciones se recomienda un lugar templado y luminoso. Puede realizarse en una zona especialmente acondicionada de un invernáculo de producción. Si la humedad del sustrato fue óptima y la tapa de la caja tiene un buen cierre no es necesario adicionar más agua durante la germinación de las esporas y formación del prótalo.

Luego de esta etapa, que puede durar entre 15-30 días según la especie, se recomienda verificar la humedad y de ser necesario asperjar nuevamente con agua destilada o de osmosis evitando encharcar.

“Conviene ralear sacando porciones de grupos de prótalos (isletas) y trasplantar a otra caja con una mezcla de resaca y corteza de pino compostada en igual proporción”, agrego. “Esta práctica se realiza para que no haya competencia entre las plantas y se produzca un mejor crecimiento”.

Cuando se observan esporofitos desarrollados con al menos 3-4 frondas se trasplantan en isletas a macetas tamaño N° 9 con una mezcla con igual cantidad de resaca y corteza de pino fina compostada.

“Una vez que obtenemos las pequeñas plantitas de helechos o esporofitos debemos realizar un proceso de climatización. Este proceso consiste en lograr la adaptación de las plántulas obtenidas al ambiente. Es importante aclarar que en las cajas donde de germinan las esporas y desarrollan los esporofitos, la humedad relativa llega al 100%, y al pasar las plantas a un ambiente con menos humedad podríamos perderlas si no lo hacemos gradualmente”, advirtió la especialista.

Las plantas obtenidas son aclimatadas en invernáculo con calefacción, es decir, con control de temperatura mínima de 10-15°C en macetas cubiertas con bolsas de polietileno transparente cerradas, que paulatinamente se abren. También se pueden usar bandejas alveoladas ubicadas en cajas herméticas, que se van descubriendo de a poco. Se puede colocar perlita debajo de la bandeja para asegurar 100% de humedad relativa.

Es conveniente que el ambiente sea humedecido por sistema de mist, y fertilizar con 50 ppm de 15-10-15 una vez por semana.

### **Propagación.**

La propagación vegetativa es la reproducción de la planta a partir una parte de la misma. Las partes de las plantas que puedan originar nuevas plantas son los rizomas y las frondes.

Para dividir el rizoma es necesario ver la zona de crecimiento activo. El tamaño del rizoma está asociado a la posibilidad de éxito, es decir, cuando más grandes y con más yemas, va a desarrollar mejor y más rápidamente se obtiene una nueva planta. Antes de plantar el rizoma es conveniente un tratamiento con fungicida. El sustrato a utilizar debe tener un muy buen drenaje. El ambiente de cultivo debe ser muy húmedo aunque hay que evitar el exceso de riego.

Si se propaga a través de las frondes, se lo hace a través de yemas prolíferas que se originan en las hojas.

### **Consejos finales.**

El Instituto de Floricultura enumera algunos conceptos básicos para tener éxito en el cultivo de helechos. En general, estas plantas prefieren ser regadas con agua lluvia. En caso de utilizar agua corriente (clorada) es conveniente dejar reposar unas horas antes del riego. El riego debe ser abundante aunque es muy importante evitar el encharcamiento.

Para el sustrato, utilizar mezclas sueltas de corteza y hoja de pino, resaca de río y turba. Puede agregarse tierra pero poca porción. Un sustrato suelto evita el encharcamiento tan perjudicial para los helechos. El pH debe ser ácido, y la

fertilización debe hacerse en bajas dosis.

En cuanto a su ubicación, es recomendable buscar el lugar más húmedo de la casa o mantener la humedad pulverizando periódicamente sus frondes. Deben recibir luz, pero no con sol directo, y evitar los lugares ventosos. Finalmente, cada tanto se debe descalzar la planta y observar el desarrollo radicular para evacuar un cambio de maceta.

### **Propiedades Físicas del Concreto Asfáltico.**

Dentro de las principales propiedades físicas de un concreto asfáltico son las que se obtienen mediante la ejecución adecuada y eficiente compactación, destacándose las más importantes y de mayor estudio las siguientes:

- Flujo
- Estabilidad

**Estabilidad:** se entiende la resistencia a la deformación plástica que ofrece el concreto asfáltico, se obtiene en el laboratorio en especímenes que han sido compactados mediante el método MARSHALL a 35,50 o 75 golpes por cara y luego sometido a carga en la máquina de compresión.

**Flujo:** es la deformación máxima obtenida en la probeta de concreto asfáltico al momento en que se produce la falla por la aplicación de la carga. SE expresa el flujo en centésimas de pulgadas.

Según lo antes mencionado las mezclas pueden ser de dos tipos:

- Tipo I: Mezclas Sobre Esforzados
- Tipo II: Mezclas de Bajo esfuerzo

Las mezclas de tipo I:

- Se obtienen por la utilización de un concreto asfáltico en el cual se tiene una combinación inadecuada de alta estabilidad y bajo flujo.
- La obtención de altos valores de estabilidad y bajo flujo, se debe a que la fricción interna entre los agregados pétreos que se usan es demasiado grande. Esto se debe principalmente a la utilización exclusiva de agregados triturados, así como el uso de ligante asfáltico de alta viscosidad.
- Para este tipo de mezcla se requiere aplicar la compactación a una temperatura máxima permitida.

La mezcla de Tipo II (o Mezcla sensible):

- Se fabrica una mezcla asfáltica con una granulometría igual a la empleada en la mezcla Tipo I pero con una textura más lisa debido al uso de grava de río, se tendrá una mezcla sensible.
- Otro motivo que influye de manera directa en la obtención de mezclas sensibles es la presencia de humedad en la mezcla en sí. Este exceso de humedad hace que parezca que el concreto asfáltico tuviera una cantidad mayor de asfalto.

La mezcla no se puede compactar de inmediato por lo sensible.

- La estabilidad y por consiguiente su durabilidad se verá seriamente afectada.
- Otros de los factores que se presentan para tener mezcla sensitiva, es que se esté trabajando con asfalto de alta viscosidad en vez de asfalto de alta viscosidad.

El concreto asfáltico es un proceso en el cual se mezcla el agregado pétreo a una determinada temperatura con el ligante asfáltico caliente, pero este asfalto debe de tener una temperatura tal, que la viscosidad al momento de la mezcla sea de 150 a 300 centistokes (cSt).

Por otro lado si el asfalto es de baja viscosidad y lo sobre calentamos demasiado pensando que se tiene un asfalto de alta viscosidad, el daño que se hace es grande ya que se afectan a los asfáltenos produciendo el fenómeno denominado “Crackin” obteniéndose así un asfalto más duro y por consiguiente más frágil, aceptando menos deformación de las capas inferiores.

### 3.2 MARCO TEÓRICO

La actualidad se ha caracterizado por cambios en el afán de descubrir materiales para utilizar en obras de Ingeniería Civil, de hecho la Web es una expresión cultural en sí misma, que abarca numerosas contribuciones en materia investigativa como aporte tanto en actividades de obras civiles que es lo que nos compete a nosotros y en general a influenciado la cultura.

La investigación se enmarco dentro de un proyecto factible. Por su parte, la muestra fue 100 tallos de helechos maduros tomados de la franja de rocería de la vía.

Este trabajo se relaciona con la investigación en curso, ya que propone un material de construcción como refuerzo integral de una vía en construcción para que en adelante se utilice en otras obras civiles destacando muy claramente que los tallos de los helechos a utilizar en el proyecto serán cultivados en zonas

deforestadas sin causar un impacto ambiental negativo.

Este estudio demostró la pertinencia de incorporar los tallos de los Helechos así como la guadua en algunos casos como parte integral en el diseño y construcción de una vía, lo cual favorece la motivación intrínseca y la utilización de estos materiales ya que de otra forma serán estructuras que son de larga duración y no podrán utilizarse en otros fines y en muchos casos son quemados aumentando el deterioro del medio ambiente.

## 4. METODOLOGÍA

### 4.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

El tipo de estudio a realizar es descriptivo dado que se cuenta en mediciones y cálculos de diseño con la mayor precisión posible de forma independiente cada una de las variables.

### 4.2 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

El estudio realizado es no experimental, puesto que no hay manipulación de variables independientes, ya que se observa el objeto de la investigación tal como se presenta en el contexto natural para después analizarlo.

**4.2.1 Investigación Preliminar.** Este estudio surgió por la necesidad de una vía de comunicación terrestre para poder circular por ella de una forma adecuada hacia la vereda Platanillo. Se realizó una pequeña encuesta a determinados habitantes de la zona, buscando información sobre si había un estudio encaminado a este proyecto, sin obtener respuestas positivas.

Durante este periodo, la junta de acción comunal de la vereda Platanillo, decidió apoyar al estudiante de trabajo de grado de Ingeniería Civil para realizar el diseño y pavimentación de la vía Platanillo Departamento del Putumayo.

#### 4.2.2 Coordenadas de la Vía Platanillo.

**4.2.2.1 Reconocimiento del Terreno.** Por la experiencia de los asesores de tesis se observa que es necesario el diseño de la vía Platanillo con una longitud de 1kilometro 5000,00 metros lineales.

#### 4.2.2.2 Procedimiento.

**a. Colocación de la sub base.** Una vez se tiene la pista lista para trabajar se procede a descargar la sub base o material de préstamo por capas. El trabajo consiste en el suministro, extensión, humedecimiento, mezcla conformación y compactación de un material granular aprobado, el cual formara parte de la estructura de un pavimento, según lo indicado en los documentos del proyecto

ajustándose a las cotas alineamientos vertical y horizontal también a las secciones transversales típicas, dentro de las tolerancias estipuladas y de conformidad con los requisitos de la presente sección. Se definen tres clases de capas granulares para base, que se denominan Clase A(BG\_A), Clase B(BG\_B) y Clase C(BG\_C); también se definen tres clases de capas granulares para subbase denominadas Clase A(SBG\_A), Clase B(SBG\_B) y clase C(SBG\_C). Los Tipos (Base o Subbase) y clases (A, B o C) de capas granulares por emplear en cada caso se establecerán en los documentos técnicos del proyecto, en función de la importancia de la vía, del nivel del tránsito, del tipo del pavimento y de la posición de la capa dentro de la estructura del pavimento.

Salvo que los documentos técnicos del proyecto establezcan otra cosa la correspondencia entre las clases de capas granulares, el tipo de pavimento y las categorías de tránsito será la indicada en la siguiente tabla.

**Tabla 1. Procedimiento**

Tipo de Capa	Categoría de Tránsito		
	T0 – T1	T2 – T3	T4 – T5
<b>Pavimento Asfáltico</b>			
Base Granular	BG_C	BG_B	BG_A
Subbase granular	SBG_C	SBG_B	SBG_A
<b>Pavimento de losas de Concreto de Cemento Pórtland</b>			
Base Granular	BG_C	BG_A	NA
Subbase granular	SBG_C	SBG_B	SBG_A

NA= No Aplica. Para Tránsitos T4 y T5 la capa de bases para losas de concreto de Cemento Portland requiere una mayor resistencia a la erosión que ofrecida por las bases granulares; por lo tanto la base no puede ser granular correspondiente a esta sección.

Fuente: INVIAS

**b. Materiales.** Las capas que se construyan en acuerdo a esta sección deberán estar constituidas por materiales de tipo granular. Dependiendo de su uso y de lo que indiquen los documentos del proyecto pueden corresponder a materiales en estado natural o podrán estar compuestos por mezclas de agregados naturales con agregados provenientes de trituración de piedras de cantera o de grava natural.

Todos los materiales granulares independientemente de su procedencia, deberán estar libres de materiales vegetales, basura, terrones de arcilla u otras sustancias incorporadas que pueden resultar ambientalmente nocivas o inconvenientes para el buen comportamiento del pavimento.

La naturaleza de los materiales deberá ser tal que ellos puedan ser

adecuadamente humedecidos y compactados para formar una capa firme y estable.

El uso parcial o total de escorias u otros productos inertes de desecho industrial u otros materiales provenientes de capas recicladas de cualquier tipo en la construcción de una capa granular deberá ser objeto. En una Especificación Particular.

El constructor es el responsable de los materiales que suministre para la ejecución de los trabajos y deberá realizar todos los ensayos que sean necesarios en adición de los que taxativamente se exigen en este estudio, garantizando al Instituto de Desarrollo urbano la calidad e inalterabilidad de los agregados a utilizar.

**c. Base Granular.** Las características de los agregados pétreos que se empleen en la construcción de La base granular, en acuerdo con la presente sección deberá llenar todos los requisitos de la siguiente tabla.

**Tabla 2. Requisitos de los agregados para sub-bases granulares**

Ensayo		Norma de ensayo	Clase de subbase de granular		
			SBG_C	SBG_B	SBG_A
<b>Petrografía</b>					
Análisis petrográficos		ASMT C - 295	Reportar	Reportar	Reportar
<b>Dureza</b>					
Desgaste Los Ángeles (Gradación A)	En seco, 500 revoluciones, % máximo En seco, 100 revoluciones, % máximo Después de 48 horas de inmersión, 500 revoluciones, % máximo (1) Relación húmedo seco, 500 revoluciones máximo	INV E-218	40 8(RO) 60 (RO) 2 (RO)	35 7 (RO) 55 (RO) 2 (RO)	35 7 (RO) 55 2
Micro Deval, % Máximo	Agregado grueso (FT)	ASMTD - 6928	35	30	30
10% de finos	Valor en seco kN mínimo Relación húmedo/seco, % mínimo	BS 812 PART 111	40(RO) 65(RO)	50(RO) 70(RO)	60(RO) 75(RO)
<b>Durabilidad</b>					
Perdida en ensayo de solidez en sulfatos, % máximo	Sulfato de magnesio	INV E-218	18	18	18
<b>Limpieza</b>					
Limite liquido, % máximo		INV E-125	25	25	25
Índice de plasticidad, % máximo		INV E-126	6	3	3
Equivalente de arena, % mínimo		INV E-133	20	20	20
Valor de azul de metileno, máximo		EN - 933-9	10	10	10
Terrenos de arcillo y partículas deleznable, % mínimo		INV E-211	2	2	2
<b>Geometría de las partículas</b>					
Partículas fracturadas mecánicamente, % máximo	-1 cara -2 caras	INV E-227	NA NA	50 NA	50 30

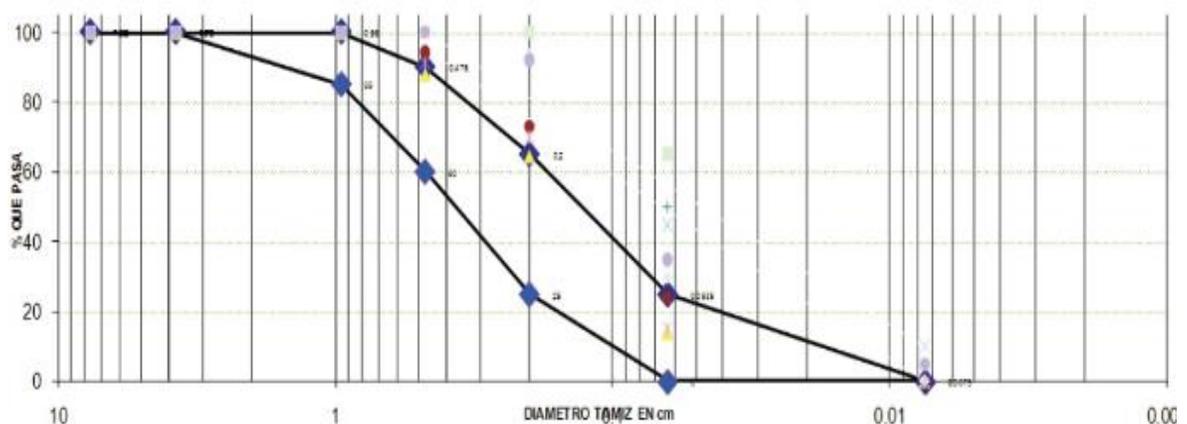
Fuente: IDU 400-05, p. 4

De acuerdo con el artículo INVIAS 320-07 “se denomina subbase granular a la capa granular localizada entre la subrasante y la base granular en los pavimentos asfálticos o la que sirve de soporte a los pavimentos de concreto hidráulico, sin perjuicio de que los documentos del proyecto le señalen otra utilización”. En las especificaciones IDRD, además de los usos mencionados se usa como material de soporte de sardineles y bordillos y de otros elementos que no estarán sometidos a tráfico vehicular, tales como escaleras; también se utiliza como capa subyacente a la capa de base granular de pavimentos con adoquines.

Los materiales que se utilizan como subbase granular deben cumplir con las siguientes granulometrías:

Límites granulométricos para base granular (INVIASSBG-1/INVIASSBG2).

**Gráfica 1. Límites Granulométricos para Base Granular**



Fuente: INVIAS

Si los cálculos utilizados no cumplen con las granulometrías especificadas, se podrá corregir la granulometría mediante la ayuda de Cálculo la fracción que pasa el tamiz No. 40, debe presentar un límite líquido menor o igual que 6%. En caso de que el material de la cantera disponible no cumpla estos requisitos, será responsabilidad del constructor, proponer los tratamientos especiales a que se debe someter el material para lograr el cumplimiento de los requisitos de plasticidad, ejemplo agregar cemento al material granular.

**Tabla 3. Porcentaje Admisible**

PORCENTAJE ADMISIBLE					
TAMIZ			SUBBASE GRANULAR (INVIASSBG - / INVIASSBG – 2)		
			Opciones		
No.	Pulg.	cm.	Min.	Max.	Prom.
3	3,0	7,62	100	100	100
2	2,0	5	100	100	100
1 ½	1,5	3,75	70	95	82,5
1	1,0	2,5	60	90	75
1/2	0,500	1,27	45	75	60
3/8	0,375	0,95	40	70	55
4	0,250	0,48	25	55	40
10	0,100	0,2	15	40	27,5
40	0,025	0,06	6	25	15,5
200	0,005	0,01	2	15	8,5

Fuente: INVIAS

d. Tallos de Helechos en las áreas de Nivel freático alto de la vía. Se colocaran de forma transversal en la vía en forma de empalizada solo en determinados puntos de la vía donde por la abundancia de lodo no se puede estabilizar la base y subbase, los tallos de helechos no necesitan ningún aditivo ni tratamiento por su prolongada duración en cualquier medio, No obstante, en Colombia no se ha realizado estudios exhaustivos sobre la química de los helechos para determinar sus valiosos usos.

Al respecto, David Rivera Ospina, subdirector científico del Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis dijo: Hay un gran potencial que no ha sido investigado suficientemente. Aún tenemos grandes vacíos en el conocimiento etnobotánico sobre los usos tradicionales de estas plantas maravillosas. Es necesario investigar más en las comunidades indígenas y campesinas que no tienen otra opción que ir a la naturaleza a curar sus dolencias.

Denominados por algunas comunidades los Helechos Palma boba (Cyathecacaracasana): sus troncos se emplean para hacer postes y columnas en las viviendas, debido a que son bastantes resistentes, fuertes y duraderos. Esto lo ha hecho vulnerable a la extinción. Por lo cual deben ser cultivados en zonas deforestadas y no tomados de la naturaleza.

**Figura 1. Helecho Adulto cultivado en una zona antes deforestada**



Fuente:

<https://www.google.com.co/search?q=Helecho+Adulto+cultivado+en+una+zona+antes+deforestada>

Sus troncos son muy resistentes a la descomposición, son muy buscados para elaborar construcciones pero hasta el momento sin tener en cuenta el impacto ambiental negativo, las densas tramas de raíces se cortan en pedazos, se emplean para la elaboración de macetas para orquídeas. Por otro lado, estos helechos tienen una apariencia muy ornamental y son cultivados en algunos jardines.

**Figura 2. Maceta Elaborada con Raíz de Helechos**



Fuente:

<https://www.google.com.co/search?q=universidad+militar&espv=2&biw=isch&q=macetas+elaboradas+con+raiz+de+helechos&imgcr=IwLsFfYLVr2FAM%3A>

**Tabla 4. Evolución de los componentes químicos del asfalto**

DURACIÓN	ASFALTO 80/100		ASFALTO 60/70	
	Aromático/saturado	Resina/Asfáltenos	Aromático/Saturado	Resina/Asfáltenos
Original	2,542	3,213	2,550	1,222
1 mes	2,607	2,183	2,580	1,192
3 meses	2,470	1,473	2,460	0,882
6 meses	2,455	1,171	2,380	0,759
9 mese	2,534	1,020	2,300	0,667
12 meses	2,577	0,947	2,200	0,696

Fuente: INVIAS

**Tabla 5. Producto Original**

TIPO I	ASTM	I - A		I - B	
		Min.	Max.	Min.	Max.
PRODUCTO ORIGINAL					
Penetración a 25 °C 100 gr. 5 seg. dmm	D5	100	150	75	100
Viscosidad 60°C Po	D 2171	1250		2500	
Viscosidad 135°CcSt	D 2170		2000		2000
Punto de Inflamación °C	D 92	232		232	
Solubilidad en tricloroetileno, % masa	D 2042	99		99	
Separación, Dif. Pto. Ablandamiento °C	D 5976		2.2		2.2
PRUEBA EN EL RESIDUO RTFOTASTM 2872 O PELICULA FINA ASTM 1754					
Recuperación elástica a 25°C	D 6084	60		60	
Penetración a 4°C 200 gr. 60 seg. dmm	D5	20		15	

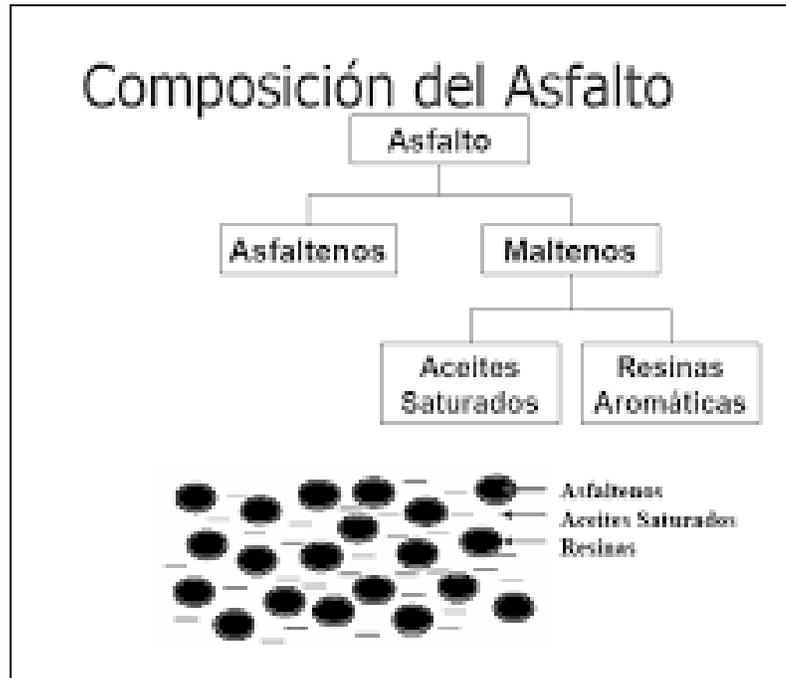
Fuente: INVIAS

**Tabla 6. Composición del Asfalto**

PROPIEDAD FÍSICO – QUÍMICA	CANTIDAD
Solidos	40 a 70 %
Densidad	1.10 a 1.45
pH	7.6 a 10.5
Viscosidad	10.000 a 80.000 Cps

Fuente: INVIAS

Figura 3. Composición del Asfalto



Fuente: INVIAS

Tabla 7. Ensayo/Test

Ensayo/Test	A	B	C
Graba todo uno (%)/ Untreated gravel (%)	30.5	20.0	55.0
Arena (%)/ Sand (%)	69.5	80.0	45.0
Gravedad aparente nominal grava todo uno/ Untreted gravel nominal apparent gravity	2.782	2.724	2.685
Gravedad aparente nominal arena / Sand nominal apparent gravity	2.689	2.67	2.68
Absorción grava todo uno (%)/ Untreated gravel Absortion (%)	1.574	1.68	1.58
Absorción arena (%) / Sand absorption rate (%)	1.049	1.22	0.85
Pasa # 200 (%) / Sieving # 200 (%)	13.66	7.51	7.45
Caras fracturadas (%)/ Craket sides (%)	96.1	80.0	79.0
Índice de alargamiento/ Lengthening index	41	32	47
Índice de aplanamiento / Flattening index	19	10	17
Índice de plasticidad / Plasticity index	NP	NP	NP
Equivalente de arena (%) / Equivalent sand (%)	54	58	65

Fuente: INVIAS

**Tabla 8. Ensayo/test sobre el asfalto**

Ensayo/Test	Método/Method	Unidad/Unit	CA 80 -100	Resultado/Result
<b>Ensayo sobre el asfalto original/Test on the original asphalt</b>				
Penetración/Pentration (25°C, 100g, 5s)	ASTM D – 5	0.1 mm	80-100	87
Índice de penetración/Pentration rate	INV E-724	-	80-100	-0.2
Punto de ablandamiento/Softening point	INV E-712	°c	-1/+1	48
Viscosidad absoluta/relative viscosity (60°C)	ASTM D-4402	Poises	42-52	1400
Ductilidad/Ductibility (25°C, 5cm/min)	ASTM D-113	Cm	1000 min	>100
Solubilidad en tricloroetileno/Solubility in terichloroethylene	ASTM D-2042	%	99 in	> 99
Contenido de agua/Water contain	ASTM D-95	%	0.2 máx.	< 0.2
Punto de inflamacion COC/Flash point COC	ASTM D-92	°C	232 min.	295
<b>Ensayos sobre el residuo luego del RTFOT/result of residual test alter RTFOT</b>				
Perdida de masa/Mass loss	ASTM D-2872	%	1.0 máx.	0.3
Penetración/Pentration (25°C, 100g, 5s)	ASTM D-5	%	48 min.	65

Fuente: INVIAS

**Tabla 9. Clave de la muestra**

Clave de la muestra	[10].M	% Peso AM	Mw	Mn	PD
24a	0.001	0.1885	2.525E+05	1.962E+05	1.29
24b	0.002	0.1885	1.549E+05	1.301E+05	1.19
24c	0.003	0.18885	1.208E+05	1.027E+05	1.18
24d	0.005	0.1885	7.987E+04	6.881E+04	1.16
24e	0.0067	0.1885	6.534E+04	5.472E+04	1.19
24f	0.0075	0.1885	5.386E+04	4.725E+04	1.14
24g	0.01	0.1885	4.916E+04	4.369E+04	1.13
24h	0.0168	0.9429	2.180E+04	1.934E+04	1.13
24i	0.001	0.9429	1.453E+05	1.171E+05	1.24
24j	0.002	0.9429	1.244E+05	1.011E+05	1.23
24k	0.003	0.9429	1.324E+04	1.112E+05	1.19
24l	0.005	0.9429	8.098E+04	7.020E+04	1.15
24m	0.0067	0.9429	6.576E+04	5.354E+04	1.23
24n	0.0075	0.9429	8.606E+04	7.302E+04	1.18
24o	0.01	0.9429	5.135E+04	3.967E+04	1.29
24p	0.0168	0.9429	2.831E+04	2.480E+04	1.14

Fuente: INVIAS

**Tabla 10. Resistencia a compresión, velocidad de ultrasonido y módulo de elasticidad**

TESTIGO	ULTRASONIDOS ONDAS P (m/s)	R. COMPRESIÓN (N/mm <sup>2</sup> )	ULTRASONIDOS ONDAS S (m/s)	m. ELASTICIDAD (N/mm <sup>2</sup> )
A2	4,419	44,3	2,270	30,286
A3	4,581	45,7	2,460	35,465
A6	4,529	44,6	2,390	33,260
B2	4,467	44,5	2,270	30,689
B6	4,439	42,8	2,450	33,588

Fuente: INVIAS

Tabla 11. Tipo de Mezcla a utilizar en función del Tipo y espesor de la capa

TIPO DE MEZCLA A UTILIZAR EN FUNCIÓN DEL TIPO Y ESPESOR DE LA CAPA			
TIPO DE CAPA	ESPESOR (cm)	TIPO DE MEZCLA	
		Denominación UNE-EN 13100-1(*)	Denominación anterior
RODADURA	4-5	AC16 surf D AC16 surf S	D12 S12
	> 5	AC22 surf D AC22 surf S	D20 S20
INTERMEDIA	5-10	AC22 bin D	D20
		AC22 bin S	S20
		AC32 bin S	S25
		AC 22 bin S MAM (**)	MAM(**)
BASE	7-15	AC32 base S	S25
		AC22 base G	G20
		AC32 base G	G25
		AC 22 base S MAM (***)	MAM(***)
ARCENES(****)	4-6	AC16 surf D	D12

(\*) Se ha omitido en la denominación de la mezcla la indicación del tipo de ligante por no ser relevante a efectos de esta tabla.  
 (\*\*) Espesor máximo de seis centímetros (6 cm).  
 (\*\*\*) Espesor máximo de trece centímetros (13 cm).  
 (\*\*\*\*) En el caso de que no se emplee el mismo tipo de mezcla que en la capa de rodadura de la calzada.

Fuente: INVIAS

Tabla 12. Uso del Pavimento

USO DEL PAVIMENTO	CLIMA			
	Cálido árido	Cálido húmedo	Moderado	Frío
Campos Aéreos				
Vías rápidas	60-70	85-100	85-100	120-150
Vías de taxis	60-70	60-70	85-100	85-100
Zona de parqueo	60-70	60-70	60-70	85-100
Auto Pista				
Tráfico pesado a muy pesado	60-70	60-70	85-100	85-100
Trafico medio a liviano	85-100	85-100	85-100	120-150
Calles				
Tráfico pesado a muy pesado	60-70	60-70	85-100	85-100
Trafico medio a liviano	85-100	85-100	85-100	85-100
Vías de acceso				
Industrial	60-70	60-70	85-100	85-100
Estación de servicios	60-70	60-70	85-100	85-100
Residencial	85-100	85-100	85-100	85-100
Estacionamientos				
Industrial	60-70	60-70	85-100	85-100
Comercial	60-70	60-70	85-100	85-100
Recreacional Campo de tenis	85-100	85-100	85-100	85-100
Patio de juego	85-100	85-100	85-100	85-100

Fuente: INVIAS

**Tabla 13. Caracterización de los Agregados**

Ensayo	Requisitos mínimos de calidad INVIAS 82007a) – NT3	Resultado
Peso específico	No aplica	2.56
Equivalente de arena	50 % min.	86 %
Caras fracturadas (1 cara)	85 % min.	92 %
Índice de alargamiento	10 % máx.	10 %
Índice de aplanamiento	10 % máx.	10 %
Ataque en sulfato de magnesio	18.0 % máx.	12.4 %
Micro-Deval	20 % máx.	20.3 %
Resistencia al desgaste en la máquina de los Angeles	25 % máx.	22.5 %

Fuente: INVIAS

**Tabla 14. Índices FTIR para asfaltos iniciales y envejecidos en RTFOT y PAV**

Asfalto	Aromaticidad	Alifático	Ramificación	Longitud de cadena	Carbonilos	Sulfóxidos	Hidroxilo	Sustitución 1	Sustitución 2
Apiay inicial	0.046 (0.004)	0.627 (0.011)	0.375 (0.012)	0.005 (0.001)	0.628 (0.001)	0.007 (0.001)	0.023 (0.010)	0.620 (0.007)	0.392 (0.005)
Apiay RTFOT	0.049 (0.005)	0.615 (0.032)	0.388 (0.017)	0.005 (0.005)	0.690 (0.020)	0.009 (0.002)	0.027 (0.004)	0.629 (0.048)	0.395 (0.009)
Apiay PAV	0.050 (0.001)	0.5887 (0.006)	0.372 (0.003)	0.005 (0.000)	0.021 (0.002)	0.021 (0.002)	0.042 (0.003)	0.898 (0.234)	0.405 (0.012)
B. bermeja inicial	0.044 (0.002)	0.642 (0.007)	0.351 (0.004)	0.006 (0.001)	0.012 (0.002)	0.012 (0.002)	0.036 (0.008)	0.785 (0.083)	0.364 (0.018)
B. bermeja RTFOT	0.045 (0.002)	0.640 (0.016)	0.357 (0.007)	0.006 (0.000)	0.015 (0.000)	0.015 (0.000)	0.039 (0.010)	0.598 (0.003)	0.358 (0.003)
B. bermeja PAV	0.52 (0.006)	0.560 (0.045)	0.383 (0.020)	0.007 (0.002)	0.019 (0.004)	0.019 (0.004)	0.050 (0.009)	0.773 (0.164)	0.350 (0.032)
Boscán inicial	0.037 (0.000)	0.655 (0.011)	0.345 (0.003)	0.006 (0.008)	0.004 (0.000)	0.004 (0.000)	0.023 (0.002)	1.461 (0.043)	0.650 (0.017)
Boscán RTFOT	0.039 (0.003)	0.623 (0.014)	0.366 (0.011)	0.008 (0.000)	0.007 (0.001)	0.007 (0.001)	0.035 (0.006)	1.247 (0.033)	0.635 (0.020)
Boscán PAV	0.039 (0.002)	0.601 (0.013)	0.363 (0.009)	0.008 (0.000)	0.018 (0.001)	0.018 (0.001)	0.040 (0.001)	1.095 (0.046)	0.703 (0.007)

Fuente: INVIAS

**Tabla 15. Especificaciones generales de la construcción de carreteras**

TAMIZ		PORCENTAJE QUE PASA	
Normal	Alterno	MDC -1	MDC - 2
25.0 mm	1"	100	-
19.0 mm	1/4"	80-100	100
12.5 mm	1/2"	67-85	80-100
9.5 mm	3/8"	60-77	70-88
4.75 mm	No. 4	43-59	49-65
2.00 mm	No. 10	29-45	29-45
425 mm	No. 40	14-25	14-25
180 mm	No. 80	8-17	8-17
75 mm	No. 200	4-8	4-8

Fuente: Instituto Nacional de Vías – INVIAS. Especificaciones generales de construcción de carreteras. Artículo 450. 2.1. 2002

Fuente: INVIAS

**Tabla 16. Parámetros del Modelo CHRISTENSEN - ANDERSON**

Parámetros del Modelo CHRISTENSEN – ANDERSON y composición genérica de los asfaltos iniciales y envejecidos en laboratorio. Temperatura de referencia = 25 °C (los valores entre Paréntesis son las divisiones estándar)							
Asfalto	XX rad/s)	R (Pa)	Asfáltenos (%)	Saturados (%)	Naftenos Aromáticos (%)	Polar Aromáticos (%)	<i>Ic</i>
Apiay inicial	3237,6	2,10	18,85 (1,47)	16,69 (0,71)	32,79 (1,2)	31,67 (0,8)	0,55
Apiay RTFOT	455,1	2,19	21,81	16,77	32,25	29,17	0,63
Apiay PAV	3,9	2,83	24,56	16,14	31,42	27,88	0,68
B. bermeja inicial	24567,7	0,69	11,32 (1,76)	13,34 (1,47)	35,20 (0,14)	40,14 (0,15)	0,33
B. bermeja RTFOT	575,7	1,48	14,14	13,12	33,29	39,46	0,37
B. bermeja PAV	45,2	2,03	17,63	13,02	29,57	39,78	0,44
Boscán inicial	2741,2	1,67	17,91 (1,62)	5,98 (1,09)	31,97 (0,67)	44,14 (0,47)	0,31
Boscán RTFOT	888,5	1,77	19,95	5,46	30,77	43,82	0,34
Boscán PAV	76,0	1,97	25,80	5,20	25,77	43,23	0,45

Fuente: INVIAS

## 5. GENERALIDADES

Para diseñar un pavimento se debe establecer una estructura para una duración determinada, de acuerdo a las solicitudes del tránsito y desde luego el medio ambiente. En donde intervienen variados elementos dentro de los cuales encontramos los materiales, las capas los espesores, procedimientos de construcción y el mantenimiento siendo estos factores determinantes para que la estructura antes mencionada presente un buen comportamiento.

Para ello hacemos una breve descripción de los diversos métodos que se emplean para diseñar pavimentos flexibles:

### 5.1 MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS Y TRANSPORTE DE COLOMBIA (MOPT)

El Ministerio en un aporte con la sección tropical del Laboratorio de Investigación de Carreteras de Gran Bretaña, tiene establecido un método de diseño de pavimentos flexibles en Nuestro País Colombia, fundamentado en la medida de la capacidad portante del suelo de la subrasante por el método CBR (Instituto del Asfalto).

Con relación al tránsito, el cual se analiza mediante el número de repeticiones esperadas de ejes sencillos equivalentes de 8.2 toneladas durante su periodo de diseño, en el carril de diseño. Método que usa curvas con las cuales se halla el espesor necesario de sub- base granular en función del tránsito esperado como también del valor de CBR de la subrasante.

Con relación a los espesores de base granular como también capa de rodadura se utilizan las tablas producto del método donde se indican los valores correspondientes de acuerdo al tránsito calculado para un periodo de diseño establecido de pavimento.

**5.1.1 Road Note 31.** Este método se utiliza para diseño de pavimentos flexibles para países tropicales y subtropicales. En esta versión de ROAD NOTE 1962, es una herramienta importante aplicable en zonas donde se disponga de una recopilación de información necesaria acerca del tránsito (Se hará necesario únicamente conocer el número de automotores comerciales). Esta condición se modificó en las ROAD NOTE de 1975 y 1993, el transito se maneja con número de ejes equivalentes.

Las ROAD NOTE 31 de 1993 se adiciona el concepto base y sub – base estabilizadas, con ello garantizando un mayor número de posibilidades de estructuras que son óptimas para las condiciones de la vía. Se debe tener presente que este tipo de estructuras aumenta considerablemente un costo considerable en la construcción.

En cuanto a las ROAD NOTE 31 de 1975 en algunos casos se restringe su uso debido a que el rango de tránsito que esta considera solo cubre hasta 2.5 millones de ejes equivalentes, esta corrección que fue considerada en la versión de 1993 la que posteriormente se incrementó hasta 30 millones de repeticiones de ejes.

#### **5.1.1.1 Manual de diseño de pavimentos asfálticos en vías con altos volúmenes de tránsito (INVIAS).**

Para aplicar el manual el límite de tránsito es de 50 vehículos pesados por día en el año inicial de servicio. La clasificación de diseño el tránsito se presenta en tres niveles en función del tránsito promedio diario de vehículos pesados previstos durante el año inicial de servicio del pavimento así:

Empleando las tablas merece una consideración previa, se hace necesario tener en cuenta las peculiaridades de las vías para las cuales se va a utilizar entonces si tenemos una calzada menor de 5 metros de ancho se deberá considerar en el cálculo todo el tránsito esperado en ambos sentidos, pues salvo en el momento que se crucen, los vehículos circulan centrados y con tendencia a producir una sola zona de canalización, en caso de que la calzada tenga 6 metros o más consideraremos como tránsito de diseño el 50% del total; si el ancho es igual o mayor a 5 metros menor a 6 metros, tomaremos el 75% del total. AASTHO

Dentro de este catálogo estructural de este manual es necesaria que la subrasante sea clasificada en alguna categoría donde refleje la gran sensibilidad de diseño a la resistencia del suelo.

## **5.2 MÉTODO AASHTO PARA DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES**

Procedimiento con una amplia aceptación para diseñar pavimentos flexibles y se presenta en la guía AASTHO, se dio a conocer por primera vez en 1972 y existen revisiones hasta 1993. La información de pruebas se incluyó en el desarrollo del método fue recolectada en el ensayo Vial AASTHO de 1958 a 1960. Este método no ha sido convertido a unidades del sistema internacional.

Este ensayo Vial AASTHO se desarrolló en Ottawa, Illinois, a unos 128 kilómetros de Chicago. En este lugar el clima como el suelo son típicos de una gran parte de los Estados Unidos. Los ensayos sobre pavimentos se hicieron sobre seis

secciones separadas dobles, con pistas de doble vía en forma de tramos de tangentes paralelas con secciones curvas para retorno.

Esta guía continua con los algoritmos originales del Ensayo Vial AASTHO correspondientes a un grupo pequeño de materiales, con un solo tipo de subrasante, tránsito homogéneo como también el medio ambiente del sitio del ensayo. Como consecuencia a este panorama limitado se han realizado investigaciones para ampliar la aplicación del método.

Método de diseño aplicado en vías con tránsito superior a  $0.05 \times 10^6$  ejes equivalentes correspondientes a 8.2 toneladas y la ecuación utilizada para el diseño en pavimentos flexibles, procedente de la información obtenida empíricamente en la AASHO ROAD TEST.

SN corresponde al número abstracto, que corresponde a la resistencia estructural de un pavimento requerido. Esta es una combinación dada de un soporte de suelo MR de tránsito total W18 correspondiente a la servicialidad terminal como también de las condiciones ambientales.

Después de determinar el número estructural se busca un grupo de espesores que combinados proporcionaran la capacidad portante correspondiente a ese número estructural SN calculado con la fórmula ya descrita.

Es posible, en el manual de diseño de la AASHTO encontrar los espesores mínimos de la carpeta asfáltica y base granular relacionados con el número de ejes equivalentes.

**5.2.1 Programa DEPAV.** Programa desarrollado por la Universidad del Cauca como una adaptación de un programa francés ALIZE III del laboratoire Central de Ponts et Chaussées. El programa DEPAV calcula los esfuerzos y las deformaciones máximas producidas en las interfaces de un sistema elástico multicapa por una rueda doble colocada en la superficie. El sistema elástico multicapa puede estar formado entre dos y seis capas caracterizadas por el espesor, el módulo de elasticidad y la relación de Poisson. También calcula la deflexión, el radio de curvatura al centro de la rueda doble DEPAV 1994.

## 6. INVENTARIO VIAL – PROCEDIMIENTO PCI

### 6.1 DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE CONDICIÓN DE PAVIMENTO PCI.

PCI significa el índice numérico que tiene un rango de cero (0), para un pavimento con falla o en mal estado, hasta 100 (cien) para un pavimento en excelente estado. Para un mejor entendimiento en el cuadro No. 1 encontramos los diferentes rangos con una descripción cualitativa del estado del pavimento correspondiente.

Para calcular este índice nos basaremos en la obtención de unos resultados obedeciendo a una inspección visual de la condición del pavimento de su superficie de rodadura en concreto Portland para el proyecto correspondiente en el siguiente trabajo, donde se establecen el tipo, severidad y cantidad de daño. Dicho índice de condición del pavimento se desarrolló para dar una mejor integridad estructural al pavimento y la condición operacional de la superficie. El inventario de los daños obtenidos nos garantiza una percepción clara de las causas de los daños y su relación con el clima y con las cargas.

**Tabla 17. Rango de calificación del PCI**

<b>RANGO DE CALIFICACIÓN DEL PCI</b>			
<b>Rango</b>	<b>Calificación</b>		
100 – 85	Excelente	70 – 55	Bueno
85 – 70	Muy Bueno	55 – 40	Regular
		40 – 25	Malo
		25 – 10	Muy Malo
		10 – 0	Fallado

El porcentaje de deterioro de la estructura de un pavimento es función del tipo de daño, dependiendo de su severidad o densidad del mismo. Normalmente esto se debe al gran número de condiciones posibles, si hacemos referencia la formulación de un índice que tuviese en cuenta los tres factores antes en mención deducimos que fue problemática. Para superar dicha dificultad existe solo una forma que es introduciendo los valores deducidos, lo que nos permite indicar el grado de afectación que cada combinación de tipo de daño, considerando el nivel de severidad y densidad del mismo tiene en la condición de la estructura de pavimento.

En cuanto a los niveles de severidad y sus correspondientes valores deducidos para considerar el cálculo de un índice de daño compuesto, el PCI, se lograron

basándose en el avanzado conocimiento del comportamiento de la estructura de pavimento, los datos suministrados por experimentados ingenieros de pavimentos, ensayos de campo como también la evaluación del procedimiento y la descripción precisa de los tipos de daños.

### 6.1.1 Procedimiento de Evaluación de la Condición del Pavimento (PCI).

**Primera Etapa:** hace referencia al trabajo de campo, en donde se identifican los daños teniendo en cuenta la clase y sobre todo en una vía como Platanillo la cual presenta nivel freático alto en determinados puntos, severidad y extensión de los mismos observando las vías ya existentes, registrando toda la información en los formatos elaborados para dicho fin. A continuación se muestra un gráfico del formato empleado para pavimentos en concreto hidráulico.

**Figura 4. Formato a emplear para el diagnostico vial método del PCI**

FORMATO PARA CARRETERAS EN CONCRETO HIDRAULICO Y PARQUEADEROS					
HOJA DE INFORMACION DE LA EXPLORACION DE CONDICION POR UNIDAD DE MUESTREO					
RAMA	SECCION		UNIDAD DE MUESTREO		
INSPECCIONADA POR	FECHA		AREA DE MUESTREO		
Tipo de daño					
21. Blow up/Buckling	31. pulimento de agregados				9
22. Grieta de esquina	32. Popouts				8
23. Losa Dividida	33. Bombeo				7
24. Grieta de Durabilidad	34. Punzonamiento				6
25. Escala	35. Cruce de vía férrea				5
26. Sello de Juntas	36. Desconchamiento				4
27. Desnivel camil/berma	37. Retracción				3
28. Grieta lineal	38. Descascamiento de esquina				2
29. Parcheo (grande)	39. Descascamiento de junta				1
30. Parcheo (pequeño)					
			1	2	3
			4		
TIPO DE DAÑO	SEVERIDAD	No LOSAS	DENSIDAD (%)	VALOR DEDUCIDO	OBSERVACIONES
	AD				

**Unidades de muestreo:** se divide la franja de la vía en secciones o unidades de muestreo, las cuales tendrán una variación de acuerdo con la clase de vía y el tipo

de cada rodadura.

- Carreteras con capa de rodaduras en losas de concreto de cemento Portland (Losas < 7.60 mts): 20±8losas.
- Dentro de las recomendaciones tomar el valor medio de los rangos y en ningún caso definir unidades fuera del rango admisible. En cada sección se sugiere la elaboración de esquemas que muestren el tamaño y la ubicación de las unidades que luego servirán para referencias futuras.

**Segunda Etapa.** Para calcular pavimentos con capa de rodadura en concreto de cemento Portland:

Determinación de los valores deducidos

- En cada combinación única del tipo de daño y grado de severidad, y se hace un conteo del número de lasas en los cuales ocurren.
- Dividimos el número de lasas contabilizadas en el punto anterior entre el número de lasas de la unidad, se multiplica por 100, para de esta manera tener el resultado del porcentaje de la densidad por unidad de muestreo para cada combinación de tipo y severidad de daño.
- Determinamos los valores deducidos para cada combinación de tipo de daño y nivel de severidad empleado la curva de “valor deducido de daño” apropiada.

**Tercera Etapa:** Determinamos el número máximo admisible de deducidos (m).

Formula  $m = 1 + 9/98x(100 - HDV)$  Para carreteras pavimentadas

Donde m = Numero admisible de deducciones, incluyendo fracción para la unidad de muestreo (i).

HDV = mayor valor individual deducido para la unidad de muestreo (i)

**Cuarta Etapa:** Calculo del PCI restando de 100 el máximo CDV

**Quinta Etapa:** Promedio de los valores deducidos de cada unidad de muestreo.

## 6.1.2 Tipo de Daños Presentes en Vías Aledañas a la Vía Objeto de Estudio

### GENERALIDADES

En este aparte se expondrá un concepto de carácter técnico de cada una de las diferentes fallas encontradas en la inspección visual realizada a las estructuras vecinas existentes de la vía área de estudio.

### GRIETA DE ESQUINA

Esta es una grieta que intercepta las juntas a una distancia puede ser menor o igual que la mitad de la longitud de la losa en ambos lados. Por lo general, la repetición de cargas combinadas con la pérdida de soporte y esfuerzos de alabeo originan este tipo de daños en los pavimentos en concreto con cemento Portland.

- Niveles de severidad

L: La grieta se define por una grieta de baja severidad y el área entre la grieta y las juntas se presenta ligeramente agrietada o no presenta grieta alguna.

M. Definida por una grieta de severidad media y/o el área entre la grieta y las juntas tiene una grieta de severidad media (M).

H: Definida por una grieta de severidad alta y/o el área entre la junta y las grietas está muy agrietada.

- Media

La losa afectada se registra como una losa si:

- a. Solo tiene una grieta de esquina.
- b. Contiene más de una grieta de una severidad particular.
- c. Contiene dos o más grietas de severidades diferentes.

Para dos o más grietas registraremos el mayor nivel de severidad. Ejemplo, una losa tiene una grieta de esquina de severidad baja y una severidad media, se contabilizara como una losa con una grieta de esquina media.

- Opciones de reparación

L: Se hace poco: sellado de grietas de más de 3mm.

M: Sellado de grietas. Parcheo profundo.

H: Parcheo Profundo.

## LOSA DIVIDIDA

Esta losa se caracteriza por estar dividida por grietas puede ser en cuatro o más pedazos esto debido a la sobrecarga y/o al soporte inadecuado. Cuando todos los pedazos o grietas están contenidos en una grieta de esquina, entonces el daño se clasifica como una grieta de esquina severa.

- **Niveles de severidad**

<b>Severidad de la mayoría de las grietas</b>	<b>4 a 5 pedazos en losa agrietada</b>	<b>6 a 8 pedazos en losa agrietada</b>	<b>8 o mas pedazos en losa agrietada</b>
L	L	L	M
M	M	M	H
H	M	M	H

- **Media**

Cuando la losa dividida es de severidad media o alta, entonces no se contabiliza otro tipo de daño.

- **Opciones de reparación**

L: Se hace muy poco. Sellando grietas de ancho mayor de 3mm.

M: Reemplazo de la losa.

H: Igual al anterior se reemplaza la losa.

- **Opciones de reparación**

L: Se hace muy poco. Sellando de ancho mayor a 3mm.

M: Reemplazo de la losa.

H: Igual al anterior se hace reemplazo de la losa.

## DAÑO DEL SELLO DE LA JUNTA

Esta afectación corresponde a cualquier condición que permitirá que el suelo o roca se acumule en las juntas, también permite la infiltración de agua en forma importante. Cuando hay acumulación de material incomprensible impide que la losa se expanda y puede presentarse una fragmentación, puede haber levantamiento o descascamiento de los bordes de la junta. Con un sellante adecuado se impide que ocurra lo anterior.

Entre los tipos del daño de la junta son:

- a. Descascaramiento del sellante de la junta.
- b. Extrusión del sellante
- c. Crecimiento de vegetación.
- d. Endurecimiento del llenante (oxidación).
- e. Pérdida de adherencia a los bordes de la losa.
- f. Ausencia de llenante en la junta.

- Niveles de severidad

L: Se presenta el sellante en una condición buena en forma general en toda la sección. Se comporta bien, daño de consideración menor.

M: Se presenta una condición regular en toda la sección, presenta uno más tipos de daño en un grado moderado.

H: Esta condición generalmente bueno en toda la sección, presenta uno o más daños mencionados anteriormente, estos ocurren en un grado severo. El sellante debe ser reemplazado de inmediato.

- Media

En este caso no se registra losa por losa sino que se evalúa con base en la condición total del sellante en toda el área.

Operaciones de reparación

L: No se hace nada

M: Resellado de juntas

H: Resellado de juntas

## GRIETAS LINEALES

Las grietas lineales dividen la losa en dos o tres secciones o pedazos, son causadas usualmente por una combinación de la repetición de las cargas de tránsito, está presente el alabeo por gradiente térmico y/o humedad, si las losas se dividen en cuatro o más pedazos se contabilizan como losas divididas. Frecuentemente, las grietas de baja severidad están relacionadas con el alabeo o la fricción y no se califican como daños estructurales importantes. Encontramos grietas capilares, de pocos pies de longitud las cuales no se propagan en toda la extensión de la losa, dichas grietas se contabilizan como grietas de retracción.

- Niveles de severidad

### Losas sin esfuerzo

L: Son grietas no selladas, no tienen relleno o con relleno en condición no satisfactoria, con un ancho menor o igual a 12mm, o grietas de cualquier ancho con el sellante en condición satisfactoria. No existe escala.

M: Presenta una de las siguientes condiciones.

- a. Grieta no sellada con un ancho entre 12 y 51mm
- b. Grieta no sellada de cualquier ancho hasta 51mm con escala menor que 10mm.
- c. Grieta sellada de cualquier ancho con escala menor que 10mm.

H: Existe una de las siguientes condiciones:

- a. Grieta no sellada con ancho mayor a 51mm.
- b. Grieta sellada o no de cualquier ancho con escala mayor a 10mm.

- Media

Identificada la severidad, el daño se registra como una losa. Encontrando dos grietas de severidad media se presentan en una losa, se evalúa dicha losa como una poseedora de grietas de alta severidad, las losas que se dividen en cuatro o más pedazos se contarán como losas divididas. Las losas que presentan longitud mayor de 9.1m se dividen en losas de aproximadamente igual longitud y con juntas imaginarias, que se consideran en perfecta condición.

- Opciones de reparación

L: Se hace un sellado de grietas más anchas a 3mm.

M: Se hace un sellado de grietas

H: Se hace un sellado de grietas. Parcheo profundo. Reemplazo de losa.

### PULIMENTOS DE AGREGADOS

Esta afectación es causada por aplicaciones repetidas de cargas de tránsito. Se presenta cuando los agregados en la superficie se tornan suaves al tacto, disminuye considerablemente la adherencia con las ruedas. Cuando la porción del agregado extendido sobre la superficie es pequeña, la textura del pavimento no contribuye significativamente a reducir la velocidad del vehículo. El pulimento de agregados extendido sobre el concreto es despreciable y suave al tocar. Se reporta este tipo de daño, cuando el resultado de un ensayo de resistencia al deslizamiento es bajo o ha disminuido significativamente respecto a registros previos.

- **Niveles de severidad**

No definimos grados de severidad. Pero, el grado de pulimento deberá ser significativo antes de ser incluido en un inventario de la condición y evaluarlo como un defecto.

- **Media**

Una losa con agregado pulido se cuenta como una losa

- **Opciones de reparación**

(L, M y H:) Rasurado de la superficie. Sobrecarpeta

### DESCASCARAMIENTO DE JUNTA

Significa la rotura presente en los bordes de la losa en los 0.6 m de la junta. No se presenta como una extensión vertical a través de la losa sino que intercepta la junta en ángulo. Causada por:

- Esfuerzos excesivos en la junta causados por las cargas de tránsito o por la infiltración de materiales incompresibles.
- Concreto con características débiles en las juntas por exceso de manipulación.

- **Niveles de severidad**

Fragmentos del descascaramiento	Ancho del Descascaramiento	Long. Descascaramiento < 0.6 m	Long. Descascaramiento > 0.6 m
Duros. No puede removerse fácilmente (pueden faltar algunos pocos fragmentos)	< 102 m > 102 m	L L	L L
Sueltos. Pueden removerse y algunos fragmentos pueden faltar si la mayoría o todos los fragmentos faltan, el descascaramiento es superficial menos de 25 mm	< 102 m > 102 m	L L	M M
Desaparecidos. La mayoría o todos los fragmentos han sido removidos.	< 102 m > 102 m	L M	M H

- **Medida**

Cuando el descascaramiento está presente a lo largo del borde de una losa, esta se contabiliza como una losa con descascaramiento de junta. Si se encuentra sobre más de un borde de la misma losa, el borde con mayor severidad se cuenta y se anota como una losa. También puede ocurrir el descascaramiento a lo largo de los bordes de dos losas adyacentes, cuando tenemos este caso, cada losa se contabiliza con descascaramiento de junta

### Opciones de reparación

L: No se hace ningún procedimiento

M: Parcheo parcial

H: Parcheo parcial. Reconstrucción de la junta

## 7. DISEÑO DE LAS ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO EN CONCRETO ASFALTICO

Analizando los resultados obtenidos de la información recopilada de los ensayos de laboratorio realizados y el análisis del tránsito de acuerdo a los conteos vehiculares elaborados por el CONSORCIO DEL PUTUMAYO, se realizaron los diseños de las diversas estructuras de pavimentos según los métodos o programas asignados en este proyecto, con el fin de definir qué tipo de estructura es la más adecuada a construir en el tramo de vía en estudio.

En seguida mostramos las memorias de cálculo para las diferentes metodologías y programas:

### 7.1 DISEÑO MÉTODO AASHTO

VARIABLES DE DISEÑO.

CONFIABILIDAD (R):

Presenta la probabilidad que la serviciabilidad de la estructura del pavimento sea conservada o mantenida a nivel aceptable para los usuarios a través del periodo de análisis.

Siendo una función del tipo de vía, arterias rurales entre 80 y 99% en este caso se elige el 95%.

DESVIACIÓN ESTÁNDAR ( $S_o$ ).

Esta es la variable que cubre el desempeño de cualquier estructura de pavimento siendo función del tipo de este. Entonces para pavimentos flexibles AASHTO sugiere 0.45

CRITERIOS DE DESEMPEÑO.

SERVICIABILIDAD FINAL ( $P_t$ ).

Este término hace referencia a la capacidad de servir al tránsito que circulara sobre el pavimento. La capacidad de servicio se mide con el índice presente de serviciabilidad (PSI), en un rango de 1 a 5, definiendo 1 el camino imposible y 5 el camino excelente.

La serviciabilidad resultante corresponde al mínimo índice que podrá ser tolerado antes de realizar la rehabilitación de la vía, Para este caso se tomara como serviciabilidad final 2.0

#### MODULO RESILIENTE DE LA SUBRASANTE.

En cuanto a la resistencia mecánica de la subrasante es medida con su módulo de resiliencia, este puede estimarse con base en el resultado del ensayo de valor soporte relativo de California (CBR). El valor medio del CBR se eligió un módulo, que se revisó con los nomogramas de materiales componentes de la estructura del pavimento.

Se puede observar que el valor representativo de la resistencia de la subrasante corresponde al promedio de los datos obtenidos durante la exploración, no se eligen valores conservadores o el valor correspondiente a un percentil dado, la variación de los resultados se cubre con la confiabilidad para la que se diseña el pavimento.

Se puede apreciar que el valor representativo de la resistencia en la subrasante corresponde al promedio de los datos recogidos durante la exploración. No se tienen en cuenta valores conservadores o el valor correspondiente a un percentil dado, de esta manera la variación de los resultados se cubre con la confiabilidad para la que se diseñó el pavimento.

Se tomó la decisión de elegir como módulo Rasiliente de la subrasante 7650 PSI. Aplicando la ecuación:

$$MR (PSI) = 1.500 \times CBR$$

#### COEFICIENTE ESTRUCTURAL DE LA BASE (a2) y SUBASE (a3).

Se puede entender que el coeficiente estructural presenta una característica propia de cada uno de los posibles materiales como parte integral de la estructura de pavimento para una capa de base granular de CBR mínimo de 80% (INV300-INV330), esperamos un coeficiente de capa de 0.14. Si es una capa de subbase granular de CBR mínimo 30% (INV300-INV320) en este caso el coeficiente de capa esperado es de 0.11. Si se empleara capas con afirmado de CBR mínimo de 10% (INV300-INV311), entonces el coeficiente de capa es de 0.08.

#### COEFICIENTE ESTRUCTURAL DE CONCRETO ASFALTICO

En una capa densa de concreto asfaltico el coeficiente estructural lo determina su módulo de Resiliencia, de forma indirecta por la estabilidad Marshall (AASHTOT245 o ASTM D1633), obteniendo un coeficiente estructural para este

tipo de capa es de 0.39, cuando el módulo de elasticidad de la mezcla supera a 350.000 PSI, valor aceptable para una mezcla de concreto asfáltico en caliente de acuerdo a las especificaciones técnicas del INVIAS.

**DETERMINACIÓN DEL NÚMERO ESTRUCTURAL.**

Se define como la variable que el método AASHTO emplea para definir las características propias de cada proyecto.

En la figura 3 Anexo e, se indica la manera de obtener el número estructural con el método gráfico, es un esquema explicativo y traza de forma aproximada la verdadera respuesta al problema.

Del nomograma similar al de la figura 3 Anexo E se elige el número estructural a continuación se indican los datos:

Numero de ejes equivalentes de 8.2 toneladas (W18): 4230000  
 Confiabilidad (R): 0.95  
 $\Delta$ PSI: 2.0  
 Numero Estructural (SN): 4.4

**CALCULO DE ESPESORES.**

Para calcular los espesores debemos tener en cuenta los siguientes mínimos:

**Tabla 18. Espesores mínimos (pulgadas)**

<b>TRANSITO, ESAL</b>	<b>CONCRETO ASFALTICO</b>	<b>BASE GRANULAR</b>
Menos de 50.000	1.0 o Tratamiento Superficial	4
50.001 – 150.000	2.0	4
150.001 – 500.000	2.5	4
500.001 – 2.000.000	3.0	6
2.000.001 – 7.000.000	3.5	6
Más de 7.000.000	4.0	6

$SN1 = 2.7$  Con  $E_b = 30000$  PSI  
 $D1 = 2.7/0.39 = 6.92 > 3.5$   
 $D1^* = 7$  pul  
 $SN1^* = (D1^*) * a1 = 7 * 0.39 = 2.73$   
 $SN2 = 3.5$  con  $E_{sb} = 15000$  PSI  
 $D2 = (SN2 - SN1^*) / (a2 * m2)$   
 $D2 = (3.5 - 2.73) / (2.14 * 0.1) = 5.5 < 6$   
 $D2^* = 6$  pul.

$$SN2 = (D2^*) \cdot (a2^* m2) = 6 \cdot 0.14 \cdot 1.0 = 0.84$$

$$D3 = (SN - (SN1^* + SN2^*)) / (a3^* m3) = (4.4 - (2.73 + 0.84)) / (0.11 \cdot 1.0)$$

$$D3 = 7.54 \text{ -----} D3 = 8 \text{ plg}$$

$$SN3^* = (D3^*) \cdot (0.11 \cdot 1.0) = 8 \cdot 0.11 \cdot 1 = 0.88$$

$$SN1^* + SN2^* + SN3^* = 2.73 + 0.84 + 0.88 = 4.45 > 4.4$$

El cálculo de la estructura es el siguiente:

Concreto Asfáltico: 18 cm.

Base Granular: 20 cm.

Subbase Granular: 25 cm.

## 8. MÉTODO DEL INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS PARA VÍAS DE MEDIOS Y ALTOS VOLÚMENES DE TRANSITO

### GENERALIDADES

En este proyecto se hace un análisis de acuerdo a las exigencias y características particulares de la vía en estudio dando solución a mejorar las vías de comunicación contribuyendo a desarrollo socio económico.

De acuerdo a la metodología del INVIAS esta corresponde a la categoría II, colectoras interurbanas, caminos rurales e industriales principales. (TPD: 6096).

- **Selección del periodo de diseño estructural**

La variación de los periodos de diseño estructural varía entre diez y veinte años. Normalmente se diseñan para quince años.

Este tránsito corresponde a la categoría T4 entre 4 y 6 millones de ejes equivalentes de 8.2 toneladas.

La tasa de crecimiento del tránsito es de 5%

Tenemos un confiabilidad del 90%, el número de ejes equivalentes corregido (N) es de 4.900.00.

La zona se encuentra en una área climática de carácter “Templado – Húmedo”

De acuerdo a la clasificación por temperatura y humedad tenemos una vía tipo R4 con temperaturas entre 13 y 20° C y precipitación media anual entre 2000 y 4000 mm.

La capa de subrasante corresponde al tipo S2, con un CBR entre 5 y 7.

De acuerdo a estos datos la estructura recomendada es:

Concreto Asfáltico: 15 cm.

Base Granular: 25 cm.

Subbase Granular: 25 cm.

## 8.1 MÉTODO DE DISEÑO MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS DE COLOMBIA

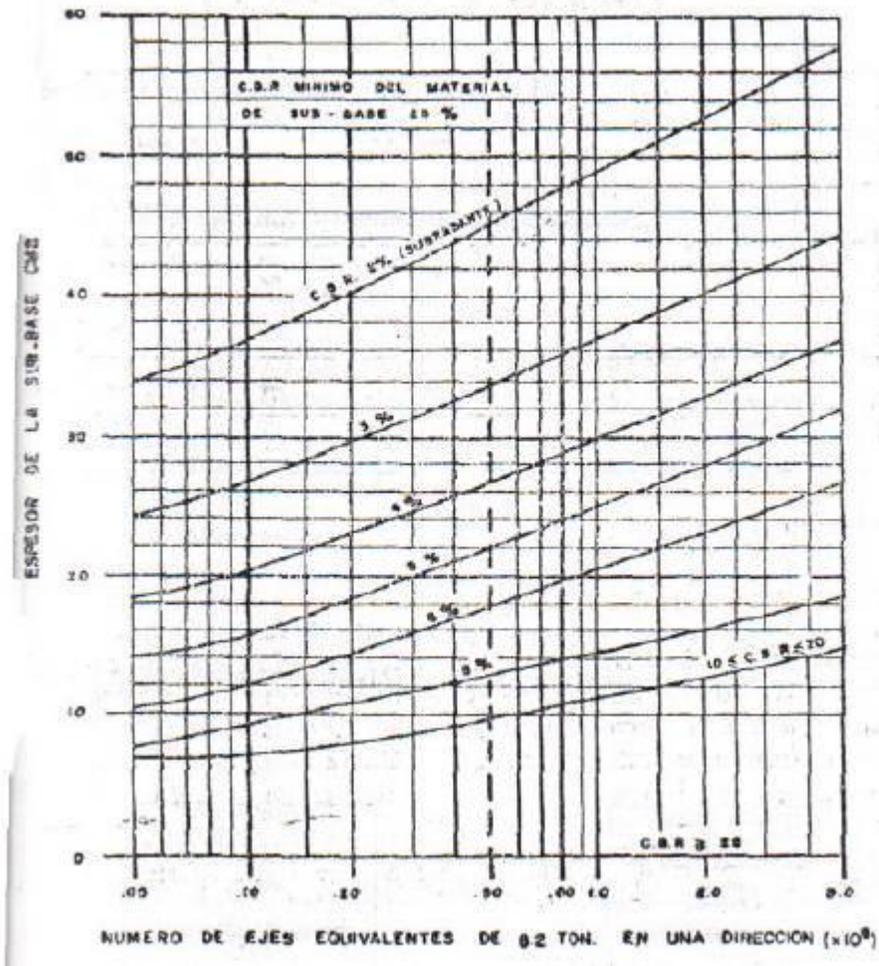
La entidad Ministerio en colaboración con la sección tropical del laboratorio de investigación de carreteras de Gran Bretaña, determino un método de diseño para pavimentos flexibles en Colombia, Teniendo en cuenta la medida de resistencia del suelo de la subrasante por el método del CBR (Instituto del Asfalto).

Teniendo en cuenta el tránsito este se analiza mediante el número de repeticiones esperadas de ejes sencillos equivalentes de 8.2 toneladas durante el periodo de diseño. Para este método se utilizan curvas con las cuales se halla el espesor necesario de subbase granular en función del tránsito esperado y del valor de CBR de la subrasante.

Presentamos la curva utilizada para calcular el espesor de la subbase con los siguientes datos:

CBR = 5.1

N = 4230000 ejes sencillos de 8.2 toneladas.



Los espesores en la base granular y la capa de rodadura se utiliza la siguiente tabla indicando estos valores según el transito calculado para el periodo de diseño del pavimento.

**Tabla 19. Carta de diseño MOPT**

TRANSITO	CAPA RODADURA	BASE GRANULAR
<0.5* 10 E6	T.S.D	15 cm
0.5* 10 E6	T.S.D	20 cm
a 2.5 * 10 E6	5 cm	15 cm
2.5 * 10 E6	7.5 cm	15 cm
a 5.0* 10 E6	5 cm	20 cm

Los diseños obtenidos a partir de este método se indican a continuación:

CARPETA ASFÁLTICA 7.5 cm
BASE GRANULAR 15 cm
SUBBASE GRANULAR 32 cm

Con  $4.23 \times 10^6$  de ejes de 8.2 toneladas y CBR de 5.1

## 8.2 MÉTODO DEL TRL PARA DISEÑO DE PAVIMENTOS EN PAÍSES TROPICALES Y SUBTROPICALES (ROAD NOTE 31 DE 1993 DEL TRANSPORT AND ROAD RESEARCH LABORATORY DEL REINO UNIDO)

En la aplicación de este método se da importancia a los resultados experimentales en una escala macro en los cuales se han medido con gran precisión todos los factores presentes en un pavimento, cuantificando su variabilidad, haciendo estudios de comportamiento de carreteras existentes.

Método utilizado para el diseño estructural de pavimento para países tropicales y subtropicales.

Los espesores de las capas de pavimentos se usan los valores de resistencia del suelo de la subrasante que se obtienen por medio de ensayos de la relación de soporte de California (Instituto del Asfalto), se le da gran importancia a la cantidad de tránsito, determinada por el número de repeticiones esperadas de ejes de 8.2 toneladas en el carril de diseño clasificados mediante las siguientes tablas.

**Tabla 20. Clasificación del tránsito**

CLASE	INTERVALO (10 E 6 ejes equivalentes)
T1	<0.3
T2	0.3 – 0.7
T3	0.7 – 1.5
T4	1.5 – 3.0
T5	3.0 – 6.0
T6	6.0 – 10
T7	10 – 17
T8	17 – 30

Tabla 21. Clasificación de la Subrasante

CLASE	INTERVALO (CBR %)
S1	2
S2	3 – 4
S3	5 – 7
S4	8 – 14
S5	15 – 29
S6	30

De acuerdo a estos dos valores se utiliza las cartas de diseño que se ilustran a continuación.

Figura 5. Carta 3 Base Granular/ Rodadura Semi – Estructural

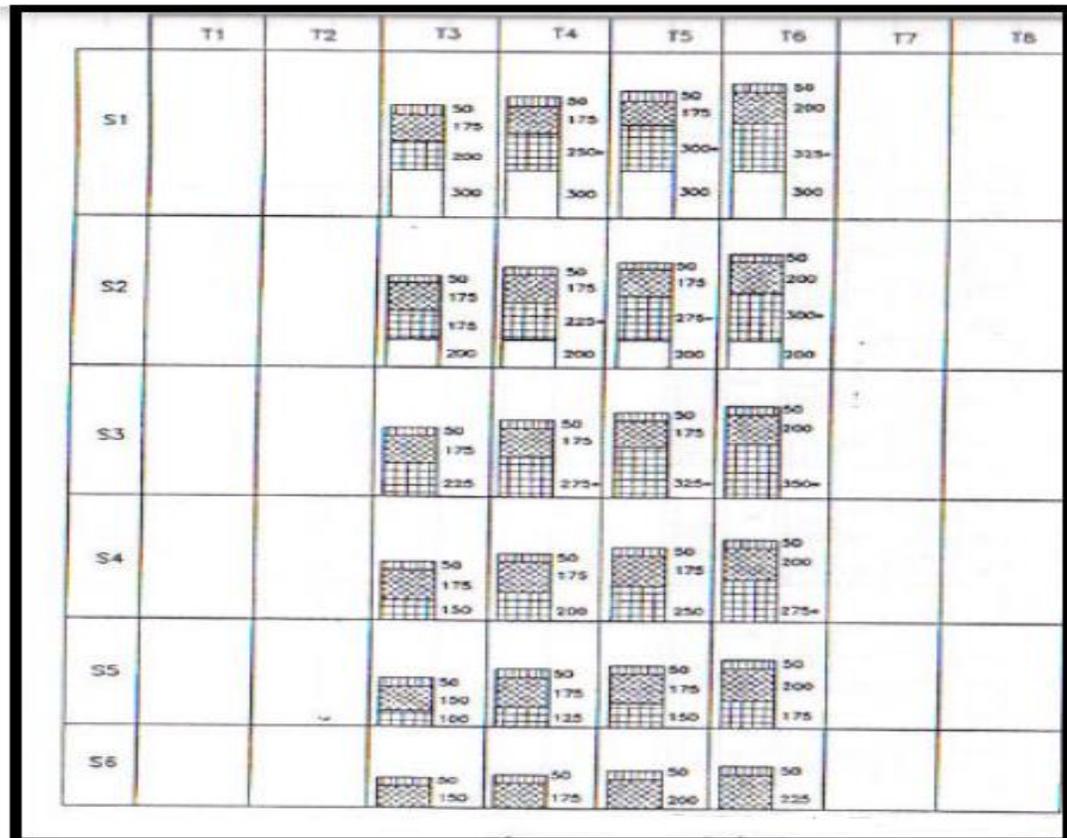


Figura 6. Carta 7 Base Asfáltica/ Rodadura Semi – Estructural

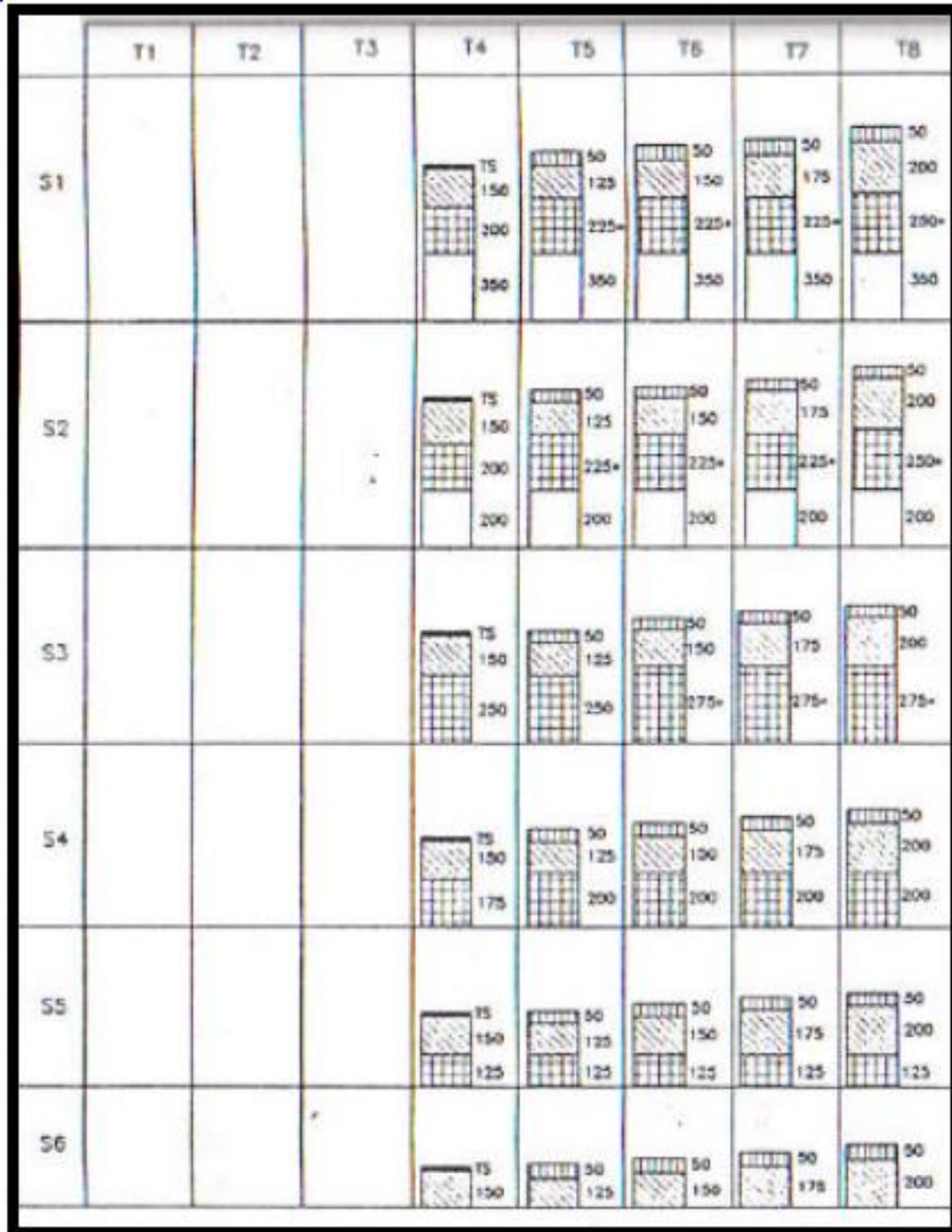
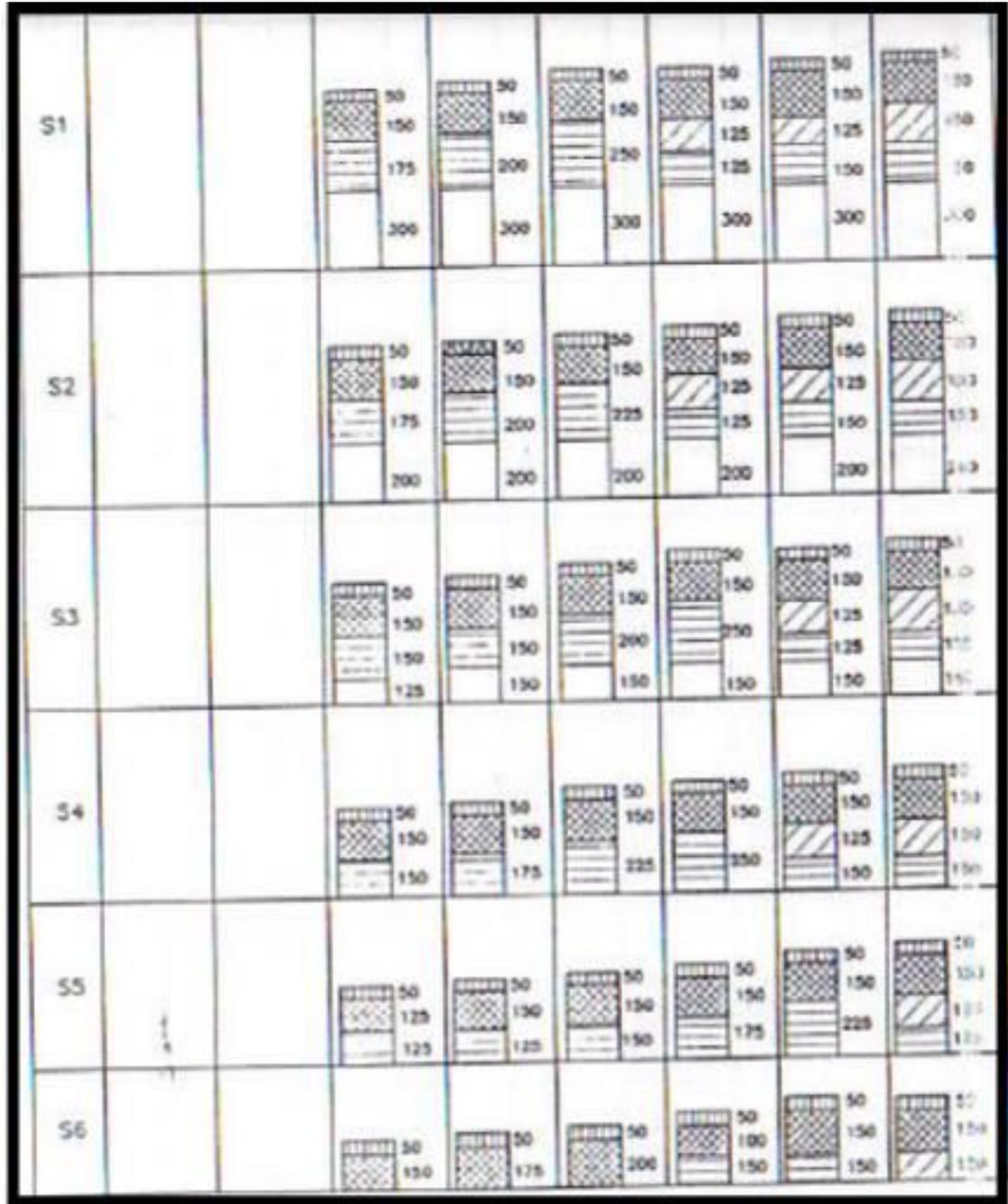


Figura 7. Carta 4 Base Compuesta/ Rodadura Semi Estructural



Con base en las anteriores cartas se logran las siguientes alternativas.

### ALTERNATIVA 1

RODADURA 5 CMS
BASE GRANULAR 17.5 CMS
SUBBASE GRANULAR 32.5 CMS

### ALTERNATIVA 2

RODADURA 5 CMS
BASE GRANULAR 15 CMS
BASE ESTABILIZADAS CON CEMENTO O CAL 20 CMS
AFIRMADO GRANULAR O RELLENO SELECCIONADO 15 CMS

### ALTERNATIVA 3

RODADURA 5 CMS
BASE ASFÁLTICA 12.5 CMS
SUBBASE GRANULAR 25 CMS

## 8.3 MÉTODO DEL INSTITUTO DEL ASFALTO

Basados en este método utilizamos 10 cartas de diseño basadas en que los espesores de diseño deberán cumplir con dos solicitudes diferentes con relación a deformaciones: una vertical de compresión en la superficie de la subrasante y otra horizontal de tensión en la parte inferior de las capas ligadas con material bituminoso. Las gráficas presentadas a continuación indican el mayor valor de los espesores asociados con las solicitudes y suponen un tránsito hasta cerca de  $10E8$  repeticiones de ejes simples equivalentes de 8.2 toneladas, pudiéndose emplear para los niveles de tránsito de diseño para vías colombianas.

Con este procedimiento diseñamos el pavimento:

- Estimamos el número acumulado de ejes simples equivalente de 8.2 toneladas, esperado en el carril de diseño durante el periodo de diseño.
- Determinamos la resistencia de diseño de los suelos de subrasante expresada por el módulo resiliente correspondiente.
- Elegimos el tipo de base. Para cada tipo de base elegida se obtiene mediante la gráfica de diseño correspondiente los espesores de las diferentes capas de

pavimento.

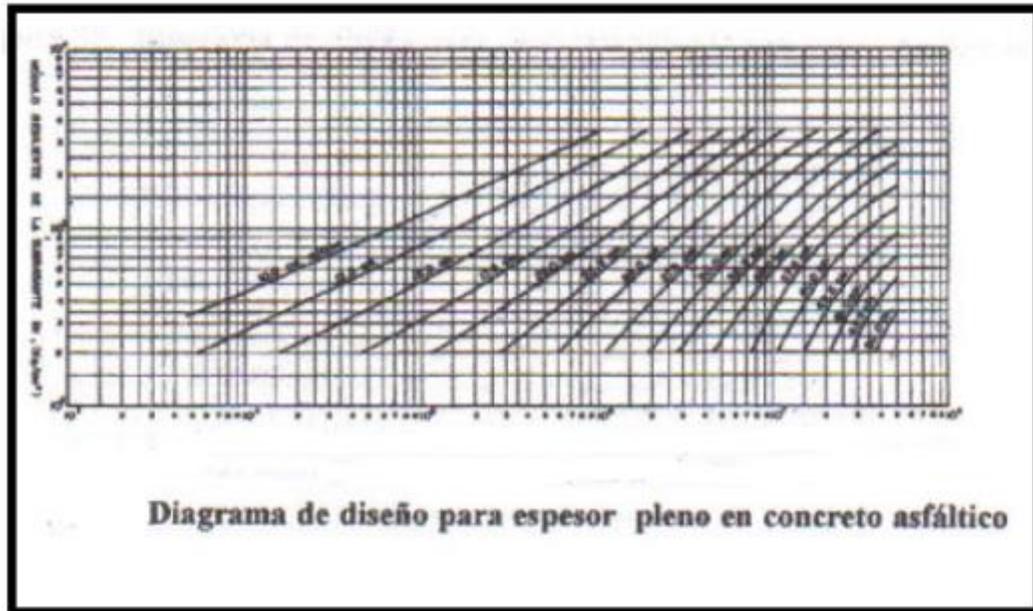
1. En cuanto a la Estimación del tránsito proyectado:  $4.23 \cdot 10^6$  ejes equivalentes de capacidad de 8.2 toneladas
2. CBR: 5.1 %

Módulo resiliente. 510 kg/cm<sup>2</sup>

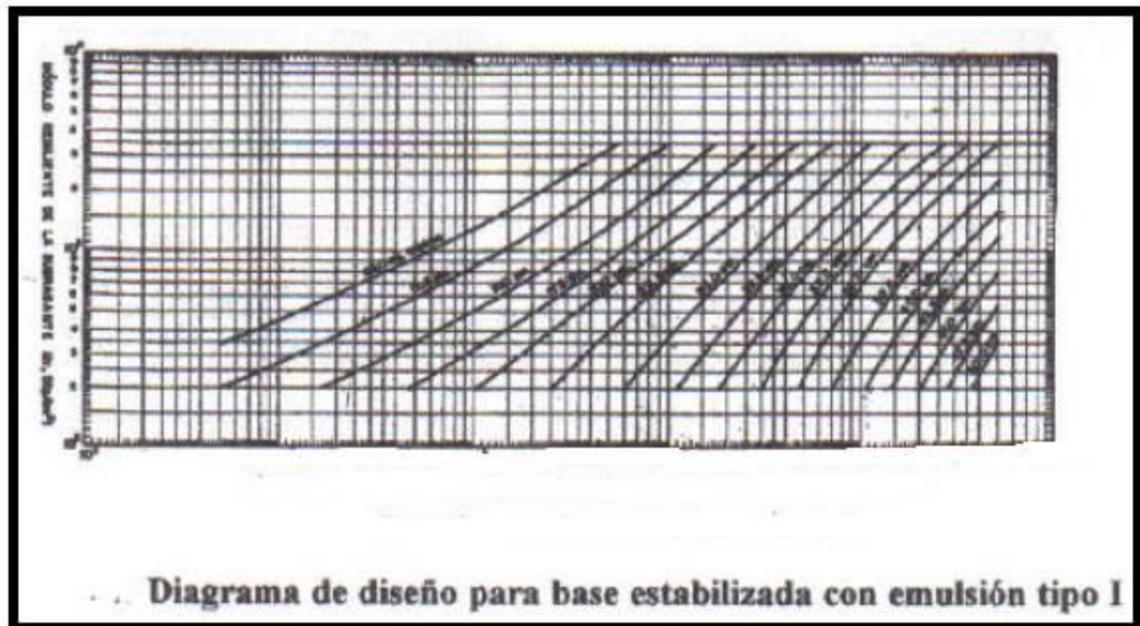
3. Alternativas de estructura ( correspondiente a los gráficos de diseño)

Las siguientes cartas son las utilizadas para realizar el diseño, mostrando las diferentes alternativas:

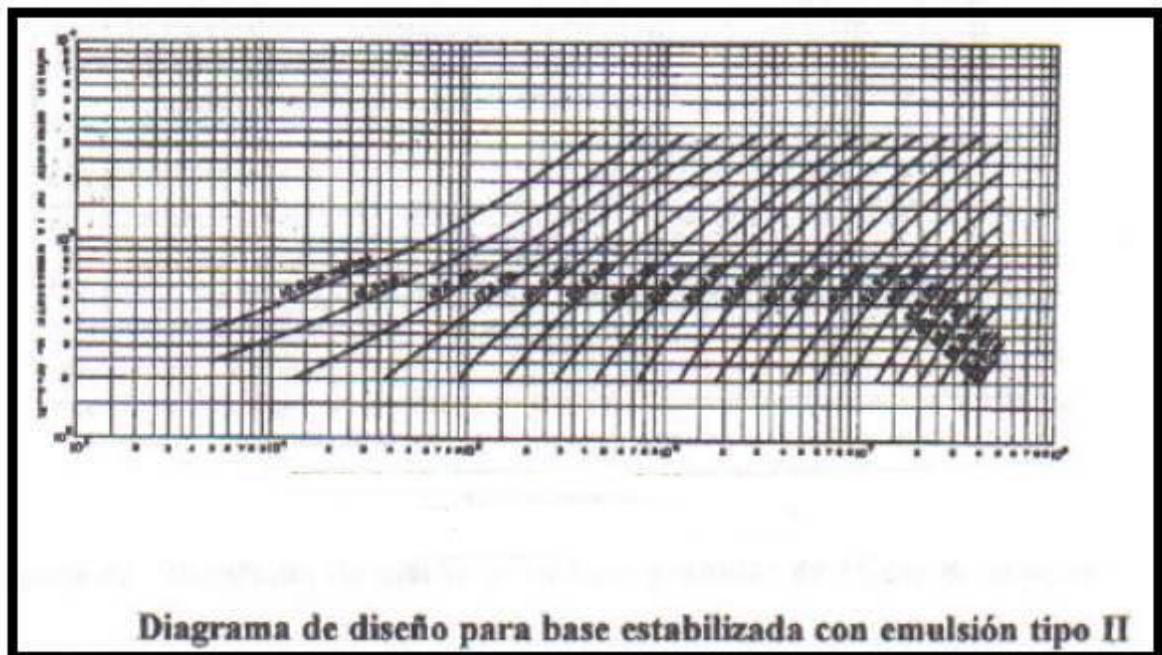
### Gráfica 2. Diagrama de diseño para espesor pleno en concreto asfáltico



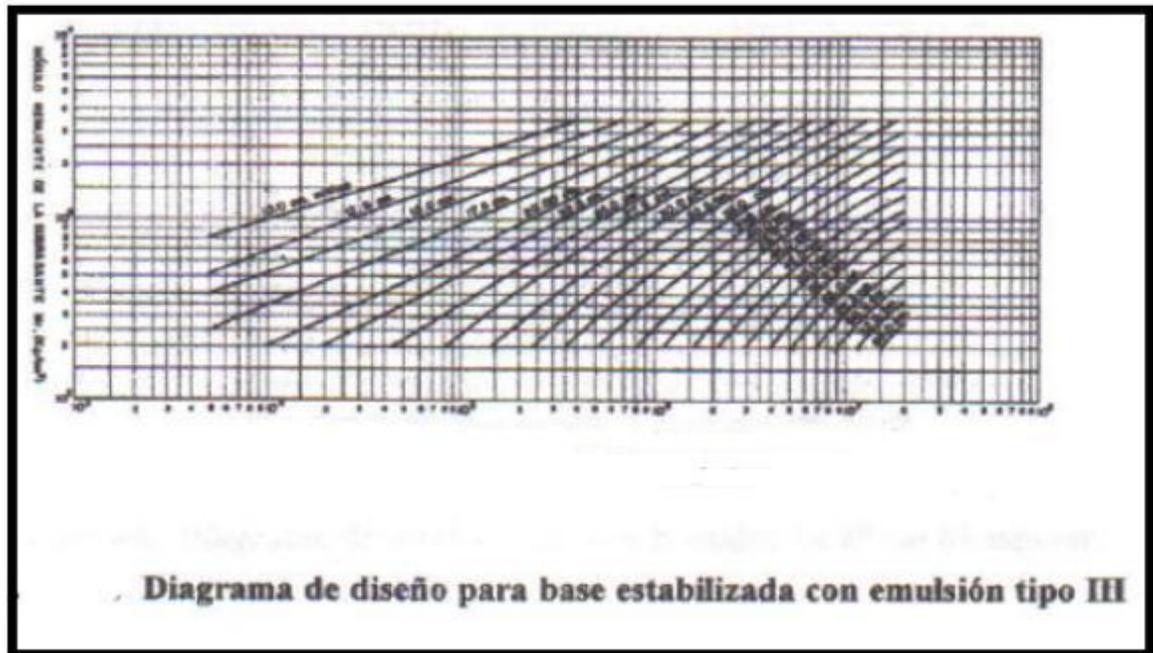
Gráfica 3. Diagrama de diseño para base estabilizada con emulsión tipo I.



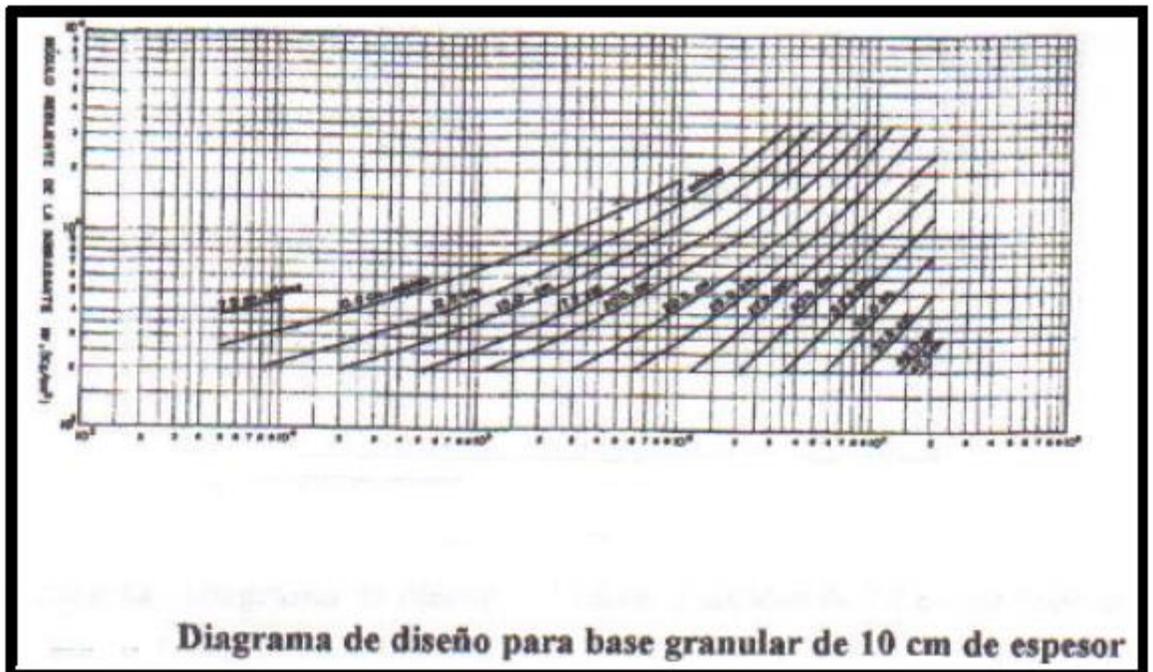
Gráfica 4. Diagrama de diseño para base estabilizada con emulsión tipo II.



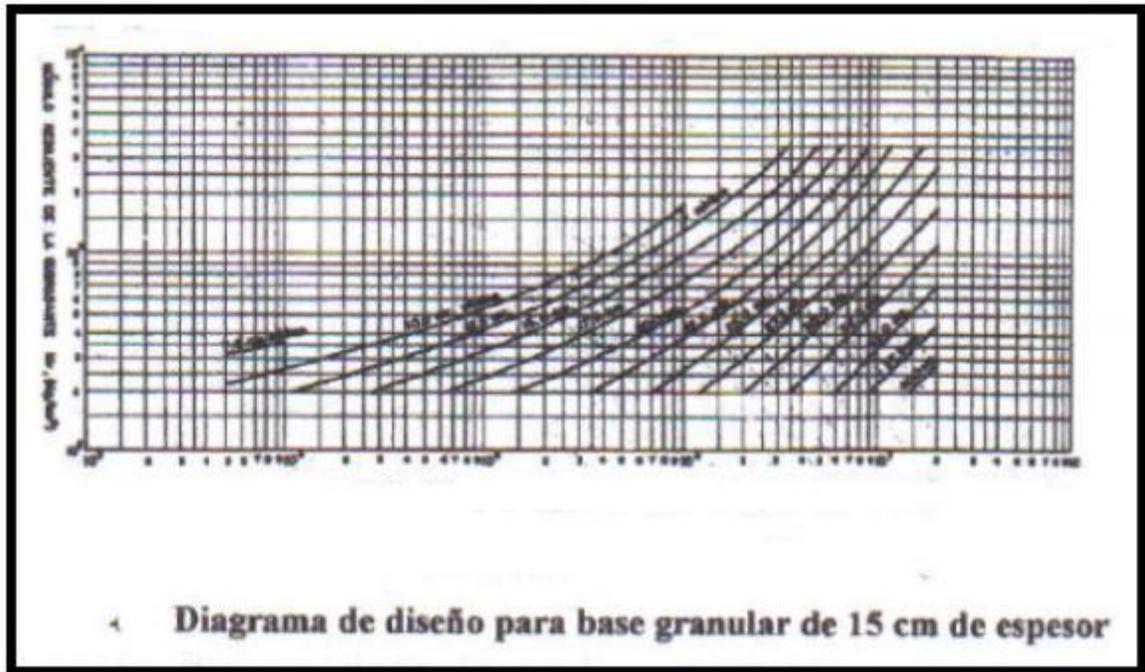
Gráfica 5. Diagrama de diseño para base estabilizada con emulsión tipo III.



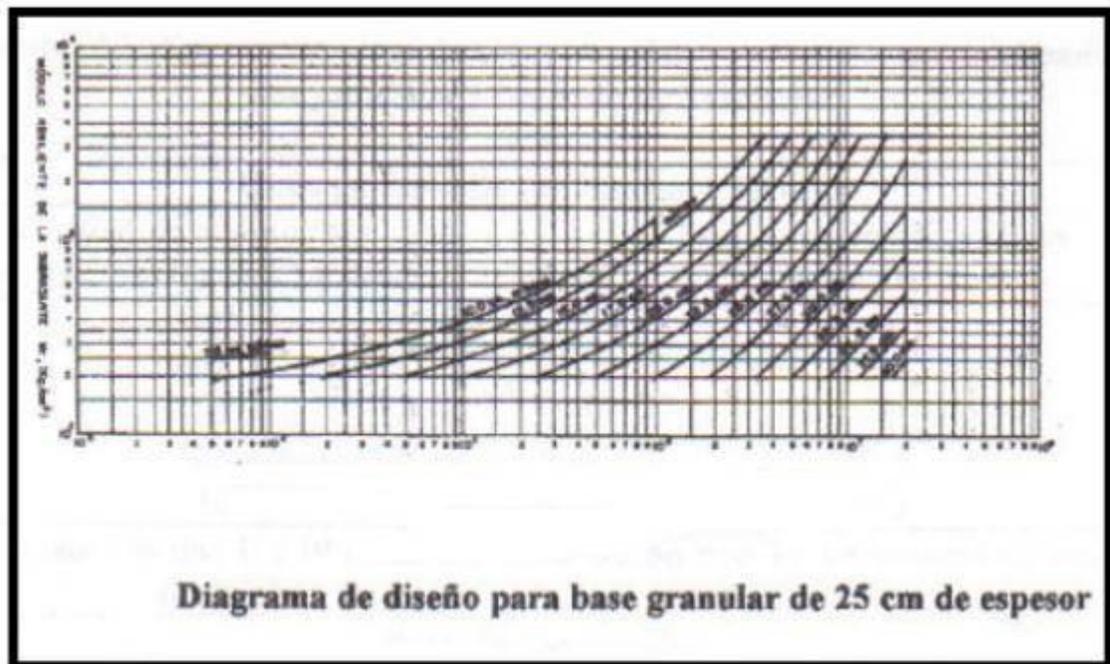
Gráfica 6. Diagrama de diseño para base granular de 10 cm de espesor



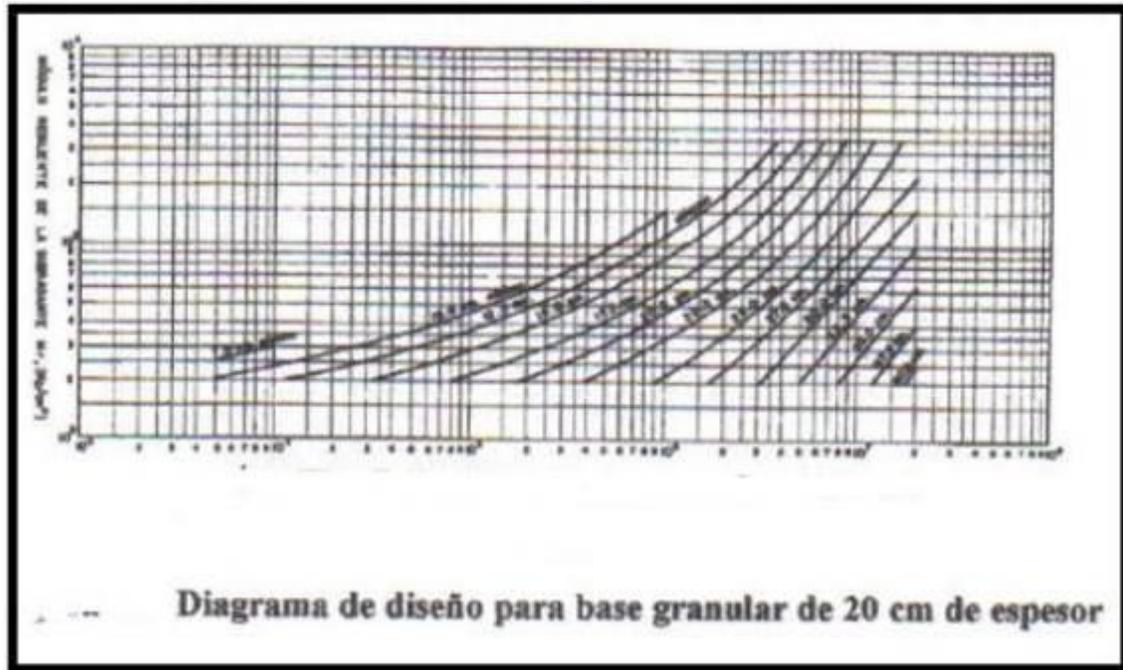
Gráfica 7. Diagrama de diseño para base granular de 15 cm de espesor



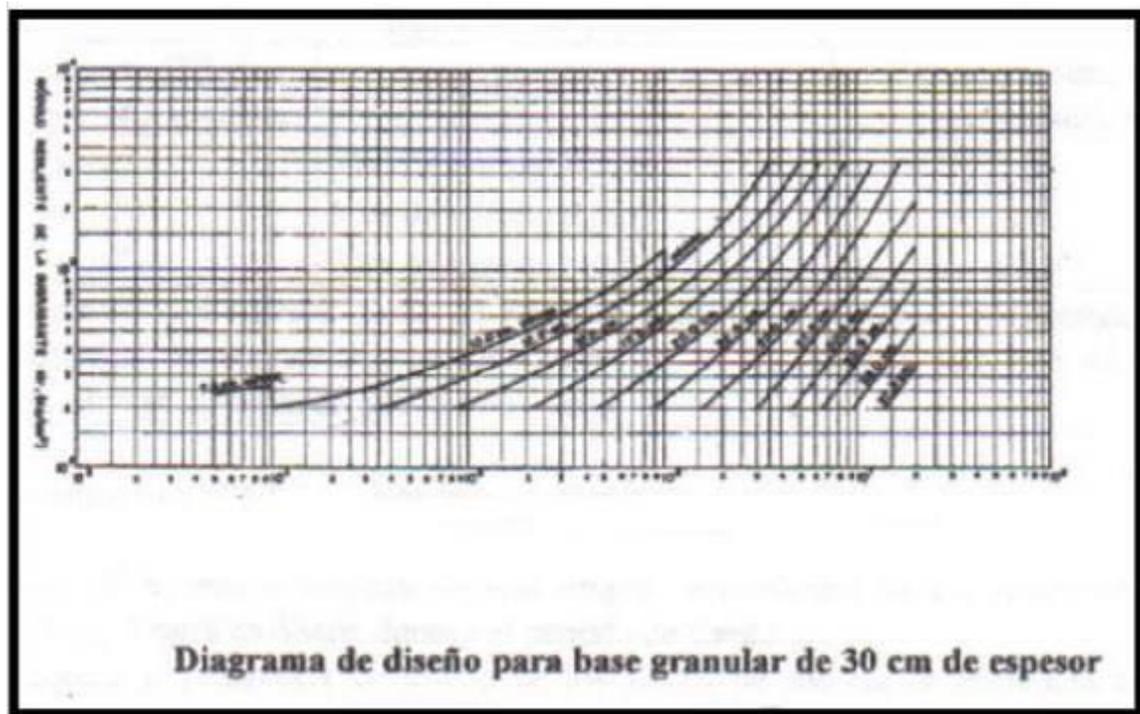
Gráfica 8. Diagrama de diseño para base granular de 25 cm de espesor



Gráfica 9. Diagrama de diseño para base granular de 20 cm de espesor



Gráfica 10. Diagrama de diseño para base granular de 30 cm de espesor



Gráfica 11. Diagrama de diseño para base granular de 45 cm de espesor

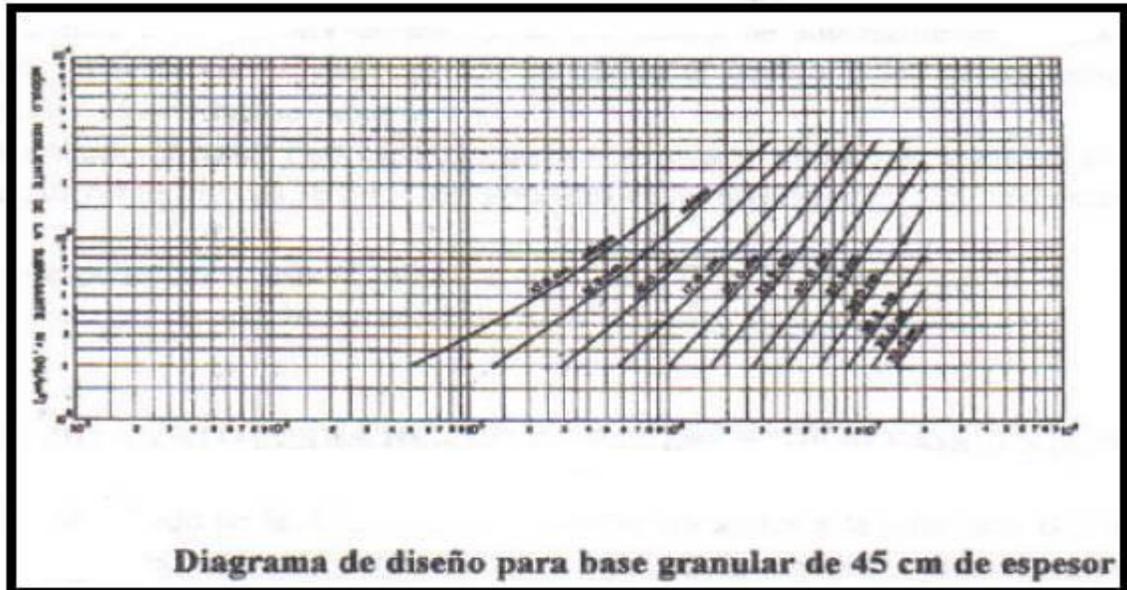


Tabla 22. Estructuras calculadas para las diferentes cartas

TIPO DE ESTRUCTURA	Lectura Grafico (cm)	Concreto Asfáltico	Tratamiento Superficial	Base Estabilizada	Base Estabilizada	Base Estabilizada Tipo III	Base Granular	Subbase Granular	Espesor Total (cm)
Espesor en pleno concreto asfáltico	30								30
Base estabilizada con emulsión Tipo I	32.5			32.5					32.5
Base Estabilizada con emulsión Tipo II	40	10			30				40
Base Estabilizada con emulsión Tipo III	42.5	10				32.5			42.5
Base Granular de 10 cm. de espesor	30	30					10		40
Base Granular de 15 cm. de espesor	30	30					15		45
Base granular de 20 cm. de espesor	30	30					20		50
Base Granular de 25 cm. de espesor	27.5	27.5					25		52.5
Base Granular de 30 cm. de espesor	25	25					15	15	55
Base Granular de 45 cm. De espesor	25	25					15	30	70

## 8.4 REVISIÓN DE ESFUERZOS POR EL PROGRAMA DEPAV

Creado por la Universidad del Cauca, para calcular los esfuerzos y las deformaciones máximas que una rueda doble colocada en la superficie del pavimento produce en los niveles de interface de un sistema elástico multicapa, conformado de dos a seis capas caracterizadas por los espesores, módulos de elasticidad y relación de Poisson.

También calcula la deflexión y el radio de curvatura al centro de la rueda doble. Entre los parámetros usados en este proceso son:

- Radio de curvatura: 10.78 cm
- Presión de contacto: 5.61 kg/cm<sup>2</sup>
- Distancia entre llantas: 32.41 cm
- Módulo de elasticidad  $E_i$  en kg/cm<sup>2</sup> de las diversas capas
- Relación de Poisson  $\nu_i$  de las distintas capas
- Espesores de las capas  $H_i$
- Tipo de interface entre las capas

Una vez calculado las deformaciones y esfuerzos máximos calculados con el programa se hace una comparación con los admisibles, que son calculados por los diferentes métodos, entre los que tenemos:

Deformación específica horizontal de tracción admisible en la fibra interior de la capa asfáltica.

$$e_t = -0.00348 N^{-0.0204} \text{ (Nottingham University)}$$

Deformación Admisible en la subrasante

$$e_z = 0.0116 N^{-0.21} \text{ (Kerhoven y Dormon)}$$

Esfuerzo vertical admisible en la superficie de la subrasante

$$S_z = 0.007 E_{sr} / (1 + 0.07 \log N) \text{ (Dormon y Metcalf)}$$

Podemos encontrar múltiples soluciones

Procedimiento de cálculo y anexo y resultados del programa DEPAV que corresponde a la alternativa determinada por el método AASHTO:

- 18 cm de concreto asfáltico.
- 20 cm de base granular.
- 25 cm de subbase granular.

1. Solicitud de carga

$N = 4.23E 6$  ejes equivalentes simples de 8.2 tn

Características de las capas

Encontramos cuatro capas: concreto asfáltico, base granular, subbase granular y subrasante

#### SUBRASANTE

$$E_{sr} = 130 \text{ CBR}^{0.714}$$

$$E_{sr} = 130(5.1)^{0.714} = 416 \text{ kg/cm}^2$$

Relación de Poisson  $u = 0.45$  (Asumido)

#### SUBBASE

$$E_{sb} = E_{sr} * (5.35 * \text{Log}(H_{sb}) + 0.62 * \text{Log}(E_{sr}) - 1.56 * \text{Log}(H_{sb}) * \text{Log}(E_{sr}) - 1.13)$$

$$E_{sb} = 940 \text{ kg/cm}^2$$

Relación de Poisson  $u = 0.4$  (Característico)

#### BASE

$$E_b = E_{sb} * (8.05 * \text{Log}(H_b) + 0.84 * \text{Log}(E_{sb}) - 2.1 * \text{Log}(H_b) * \text{Log}(E_{sb}) - 2.21)$$

$$E_b = 2472 \text{ kg/cm}^2$$

Relación de Poisson  $u = 0.40$  (Característico)

#### CARPETA ASFALTICA

$$E = 20000 \text{ kg/cm}^2$$

Relación de Poisson = 0.35 (Característico)

Esfuerzos y deformaciones

Deformación por tracción admisible  $e$

$$e = -0.0348 N^{-0.0204}$$

$$e = -2.549E - 3$$

Deformación vertical admisible  $e_z$

$$e_z = 0.0116 N^{-0.21}$$

$$e_z = 4.71E - 4$$

Esfuerzo Vertical Admisible  $S_z$

$$S_z = 0.007 E_{sr} / (1 + 0.7 \text{Log} N)$$

$$S_z = 5.16 E - 1$$

#### CHEQUEO DE ESTRUCTURA

Concreto Asfáltico = 18 cm

Base Granular = 20 cm

Subbase Granular = 25 cm

Deformación por tracción esperada  $e = -2.25 E - 4$ , menor que la admisible

Deformación vertical esperada  $e_z = 7.83 E - 5$  menor que la admisible

Esfuerzo vertical esperado  $S_z = 2.24 E - 1$  menor que la admisible

## 9. CONCLUSIONES

De acuerdo al diagnóstico vial que se realizó gracias al procedimiento de Índice de Condición del Pavimento – PCI, en la zona de estudio podemos concluir que las vías presentan buenas condiciones de su estructura de pavimento y en su superficie de rodadura de acuerdo con los criterios rangos de clasificación planteados en este exceptuando algunos puntos donde el nivel freático es alto.

De acuerdo a la inspección visual y diagnóstico vial realizado al tramo objetivo de estudio mediante el procedimiento PCI (Índice de condición del Pavimento), se pudo concluir que el estado actual de las vías vecinas a la vía Platanillo se encuentran en buen estado, de acuerdo a los rangos de clasificación anteriormente enunciados y confirmados al realizar un recorrido de las vías aledañas. Sin embargo se observaron una serie de fallas en la superficie de rodadura alguna de las cuales se mencionaron en el documento.

Dentro de las conclusiones se puede deducir que el valor tomado de la subrasante, es recomendable la presencia de un material de subbase que mejore la interacción entre la carpeta de rodadura y la subrasante en cuanto a la transmisión de cargas; la capa granular de subbase permite mejorar el módulo de reacción de la subrasante.

Las diferentes estructuras de las vías aledañas encontradas en los diferentes métodos presentan mucha variabilidad en cuanto a sus valores.

Tomando el método AASHTO es el que presenta el mayor valor de carpeta asfáltica con un valor de 18 cm, en relación con la nota vial que presenta un valor de 5 cm. Teniendo en cuenta las condiciones del tránsito de las vías aledañas se decidió tomar el valor de 18 cm como valor para su diseño.

Hay una gran diferencia de los métodos de diseño se presentan en el espesor de la carpeta asfáltica, que varía considerablemente para cada uno de ellos; con respecto a las capas granulares los espesores encontrados poseen valores un tanto similares.

En cuanto al método de revisión de esfuerzos por medio del programa DEPAV, permite realizar simplificaciones, explorando múltiples alternativas y de esta forma encontrar una que permita optimizar los materiales con muestreos muy simples.

En los puntos donde el nivel freático es alto se utilizaran tallos de helechos para reforzar la estabilidad de la base y subbase granular y así mismo la carpeta asfáltica, cabe anotar que los tallos de los helechos son cultivados para evitar un

impacto ambiental negativo ya que estos presentan gran resistencia para descomponerse en cualesquier medio.

Con la pavimentación de la vía Platanillo se contribuye a mejorar el desarrollo socio – económico de la región.

El conocer las diversas fallas que se presentan en los pavimentos nos permiten tratar estos problemas y de esta forma aumentar la vida útil de los pavimentos.

## BIBLIOGRAFÍA

AASHTO, “ Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimentos”, 1993

AASHTO. Guide for design of Pavement Structures. Washington, D.C: American Association of State highway and Transportation Officials, 1993.

BENAVIDES, Carlos Alberto; MURGUEITIO, Alfonso y Solano, Efraín. Diseño Estructural de Pavimentos, DEPAV. Popayán: Universidad del Cauca, 1994.

CARDONA BOTERO, Alberto; RAMÍREZ ROA, Álvaro. Análisis comparativo de método de diseño de pavimento flexible, Tesis de grado desarrollada. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 1999.

Catálogo de Deterioro de Pavimentos Rígidos, publicado en la página web [www.cedex.es](http://www.cedex.es).

COLOMBIA. MINISTERIO DE TRANSPORTE INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Manual de diseño de pavimentos asfálticos en vías con altos y medios volúmenes de tránsito. Bogotá: Instituto Nacional de Vías, 1997.

FERIA TORRES, Rafael. Técnicas de análisis de accidentes de tránsito con alguna aplicación en la ciudad de Piura. (Trabajo de grado). Perú, 2000.  
Manual de rehabilitación de pavimentos, publicado en la página web [www.carreros.org](http://www.carreros.org).

ROMDAS. for Windows Users Guide, versión 0.9e. Prepared By C.R. Bennet and Reviewed by P. Hunter. Incremental Encoders. CoreTechSick.

SALVO TIERRA, Enrique. Ingeniería de Pavimentos para carreteras. 2ª ed. Piramide, 1990. Disponible en: <http://es.slideshare.net/carlonchosuicida/alfonso-montejo-fonseca-ingenieria-de-pavimentos> (20/08/2016)

VÁSQUEZ VARELA, Luis Ricardo. Notas sobre diseños de pavimentos flexibles

# ANEXOS

## Anexo A. Presupuesto

<b>CRONOGRAMA Y FLUJO DE INVERSIONES - PRESUPUESTO DE OBRA</b>					
<b>ITEM</b>	<b>ACTIVIDAD</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>P. UNITARIO</b>	<b>VALOR</b>
1	LOCALIZACION Y REPLANTEO	Km	1,5	\$ 2.000.000	\$ 3.000.000
<b>SUBTOTAL PRELIMINARES</b>					<b>\$ 3.000.000</b>
2	DESMONTE ZONAS BOSCOSAS	Has	3	\$ 1.800.000	\$ 5.400.000
3	DEMOLICION ESTRUCTURAS CTO.	m3	100	\$ 70.000	\$ 7.000.000
4	EXCAVACION EN ROCA	m3	20	\$ 30.000	\$ 600.000
5	EXCAVACION EN MATERIAL COMUN	m3	35	\$ 8.000	\$ 280.000
6	DESCAPOTE	m3	1800	\$ 7.500	\$ 13.500.000
7	REMOCION DERRUMBES	m3	1450	\$ 6.000	\$ 8.700.000
8	TERRAPLENES	m3	9500	\$ 5.500	\$ 52.250.000
9	DESALOJO DE MATERIALES	m3	8500	\$ 1.000	\$ 8.500.000
10	COMFORMACION DE CALZADA	m2	9000	\$ 3.500	\$ 31.500.000
11	AFIRMADO	m3	9000	\$ 3.450	\$ 31.050.000
<b>SUBTOTAL EXPLANEACION</b>					<b>\$ 158.780.000</b>
<b>ESTRUCTURA SOPORTE DE PAVIMENTO</b>					
12	SUBBASE GRANULAR TIPO INVIAS	m3	2250	\$ 62.500	\$ 140.625.000
13	BASE GRANULAR TIPO INVIAS	m3	1350	\$ 64.000	\$ 86.400.000
14	IMPRIMACION	m2	9000	\$ 3.600	\$ 32.400.000
<b>PAVIMENTO</b>					
15	PAVIMENTO EN ASFALTO MCD 2	m3	950	\$ 500.000	\$ 475.000.000
<b>SUBTOTAL PAVIMENTO</b>					<b>\$ 475.000.000</b>
<b>OBRAS DE ARTE</b>					
16	EXCAVACIONES ROCA EN SECO	m3	80	\$ 45.000	\$ 3.600.000
17	EXCAVACIONES ROCA BAJO AGUA	m3	580	\$ 47.500	\$ 27.550.000
18	EXCAVACIONES MATERIAL COMUN	m3	280	\$ 16.580	\$ 4.642.400
19	EXCAVACIONES MATERIAL COMUN EN AGUA	m3	50	\$ 20.550	\$ 1.027.500
20	RELLENOS PARA ESTRUCTURAS	m3	68	\$ 33.500	\$ 2.278.000
21	MATERIAL FILTRANTE	m3	550	\$ 49.560	\$ 27.258.000
22	CONCRETO CLASE D 210 KG/CM2	m3	900	\$ 317.800	\$ 286.020.000
23	CONCRETO CLASE D 140 KG/CM2	m3	1800	\$ 403.840	\$ 726.912.000
24	ACERO DE REFUERZO GRADO 60 KG	KG	220	\$ 2.850	\$ 627.000
25	APOYOS ELASTOMERICOS TIPO 1	UN	10	\$ 318.500	\$ 3.185.000
26	JUNTAS DEEXPANCIION PUENTES TIPO1	ML	30	\$ 289.500	\$ 8.685.000
27	ACERO PRE ESFUERZO	ton-m	80	\$ 656	\$ 52.480
28	BARANDA METALICA PEATONAL h=1.0	ML	120	\$ 225.000	\$ 27.000.000
29	TUBERIA CTO REFORZADO 900 MM	ML	100	\$ 324.500	\$ 32.450.000
30	GEOTEXTIL TIPO NT. 3.000	M2	1325	\$ 3.250	\$ 4.306.250
31	SUBDRENES HORIZONTALES EN ROCA MEDIA Y DURA D = 4"	ML	180	\$ 95.520	\$ 17.193.600
32	SUBDRENES HORIZONTALES EN SUELOS DUROS Y ROCA BLANDA D =4"	ML	900	\$ 67.500	\$ 60.750.000
<b>SUBTOTAL OBRAS DE ARTE</b>					<b>\$ 1.233.537.230</b>
<b>OBRAS DE CONSERVACION</b>					
33	LINEAS DE DEMARCAACION	ML	3950	\$ 2.820	\$ 11.139.000
34	TACHA REFLECTIVA	UN	250	\$ 23.500	\$ 5.875.000
35	SEÑAL DE TRANSITO GRUPO I	UN	12	\$ 164.500	\$ 1.974.000
36	SEÑAL DE TRANSITO TIPO IV	UN	6	\$ 205.500	\$ 1.233.000
37	DEFENSA METALICA	UN	10	\$ 250.000	\$ 2.500.000
	SECCION FINAL	UN	6	\$ 88.600	\$ 531.600
<b>SUBTOTAL OBRAS DE CONSERVACION</b>					<b>\$ 23.252.600</b>
<b>OBRAS COMPLEMENTARIAS</b>					
37	CONFORMACION Y COMPACTACION DE ZONAS DE DEPOSITO	M3	40500	\$ 750	\$ 30.375.000

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA  
FACULTAD DE ESTUDIOS A DISTANCIA – FAEDIS**



<b>CRONOGRAMA Y FLUJO DE INVERSIONES - PRESUPUESTO DE OBRA</b>						
38	CERCA DE ALAMBRE DE PUA CON POSTES DE MADERA	ML	1300	\$ 5.900	\$ 7.670.000	
39	EMPRADIZACION DE TALUDES CON TIERRA ORGANICA Y SEMILLAS	M2	8300	\$ 3.500	\$ 29.051.660	
<b>SUBTOTAL OBRAS COMPLEMENTARIAS</b>					<b>\$ 67.096.660</b>	
<b>OBRAS ELECTRICAS</b>						
40	SUMINISTRO E INSTALACION DE LUMINARIA DE 150 W. DE SODIO, ROY ALPHA, CALIMA 2 INCLUYE BOMBILLO, FOTOCELDA BRAZO, COLLARIN 4 MTS DE ALAMBRE No. 12 Y DOS CONECTORES DE PERFORACION DE AISLAMIENTO	UN	60	\$ 470.000	\$ 28.200.000	
41	SUMINISTRO E INSTALACION DE LUMINARIA DE 250 W. DE SODIO, ROY ALPHA, CALIMA 2 INCLUYE BOMBILLO, FOTOCELDA BRAZO, COLLARIN 4 MTS DE ALAMBRE No. 12 Y DOS CONECTORES DE PERFORACION DE AISLAMIENTO DER No. 6 A 12	UN	2	\$ 470.000	\$ 940.000	
42	SUMINISTRO E INSTALACION DE POSTE DE FERROCONCRETO 12 M. PARA ALUMBRADO PUBLICO INCLUYE INSTALACION DE PERCHA	UN	126	\$ 410.000	\$ 51.660.000	
43	SUMINISTRO E INSTALACION DE TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCION DE 30 KVA MONOFACICO TRIFILAR INCLUYE VESTIDA Y ACCESORIOS	UN	1	\$ 8.100.000	\$ 8.100.000	
44	SUMINISTRO, TENDIDO E INSTALACION DE CABLE COBRE No.6 AWG THW	UN	4000	\$ 1.600	\$ 6.400.000	
45	SUMINISTRO E INSTALACION DE POSTE PRIMARIO DE FERROCONCRETO 14M.	UN	2	\$ 555.000	\$ 1.110.000	
42	SUMINISTRO, TENDIDA E INSTALACION DE CABLE RETENIDA 1/4 INCLUYE VARILLA DE ANCLAJE DE 5/8"X1.5 M. GUARDACABO DE 1/2" BLOQUE DE CONCRETO DE 30 CM. DE DIAMETRO.	UN	6	\$ 45.000	\$ 270.000	
<b>SUBTOTAL OBRAS ELECTRICAS</b>					<b>\$ 96.680.000</b>	
<b>COSTO DIRECTO DE LAS OBRAS DE PAVIMENTACION</b>					<b>\$ 2.057.346.490</b>	
<b>AUI</b>				25%	\$ 514.336.623	
<b>UTILIDAD</b>				5%	\$ 102.867.325	
<b>IVA</b>						
<b>VALOR TOTAL DE OBRAS</b>						

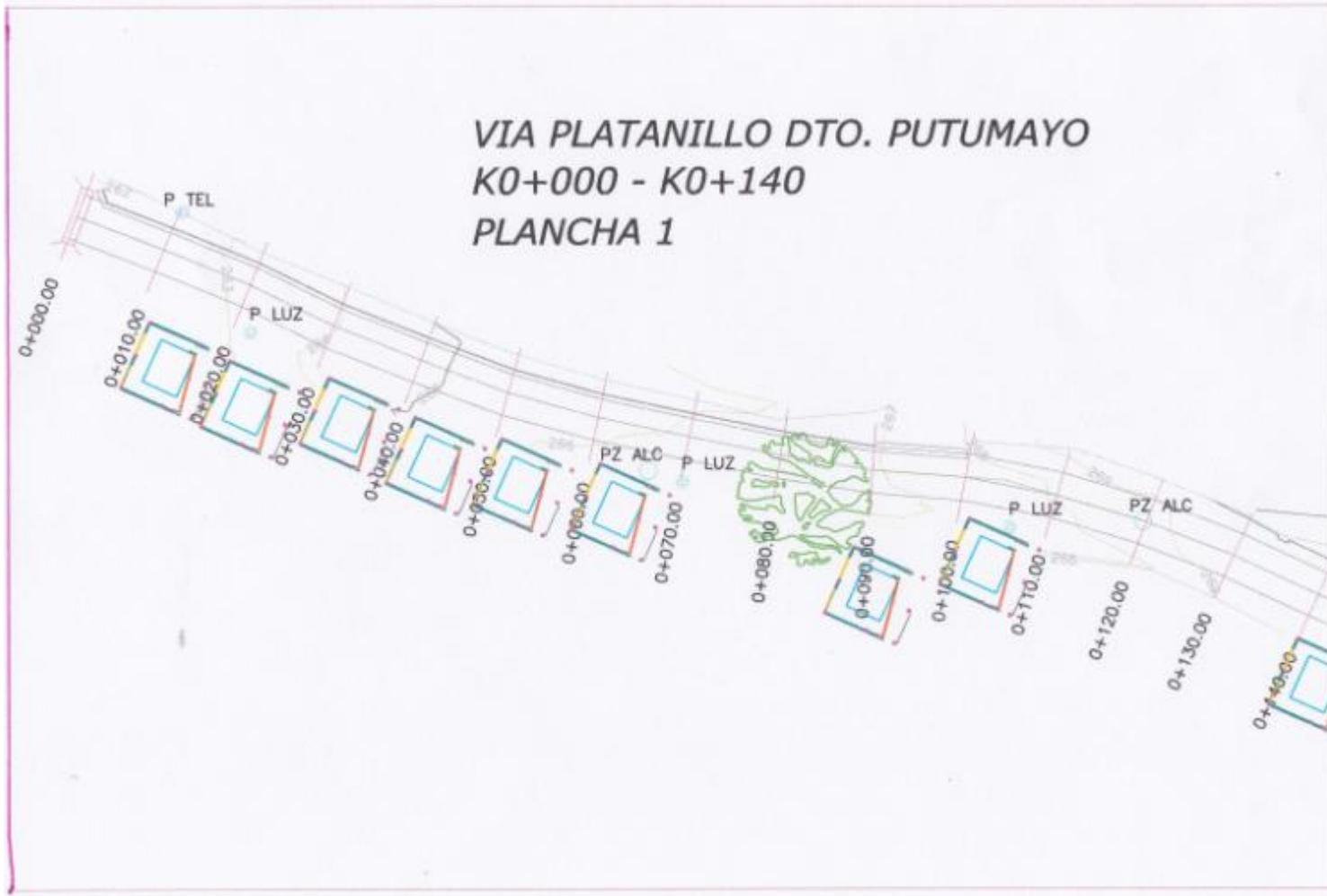


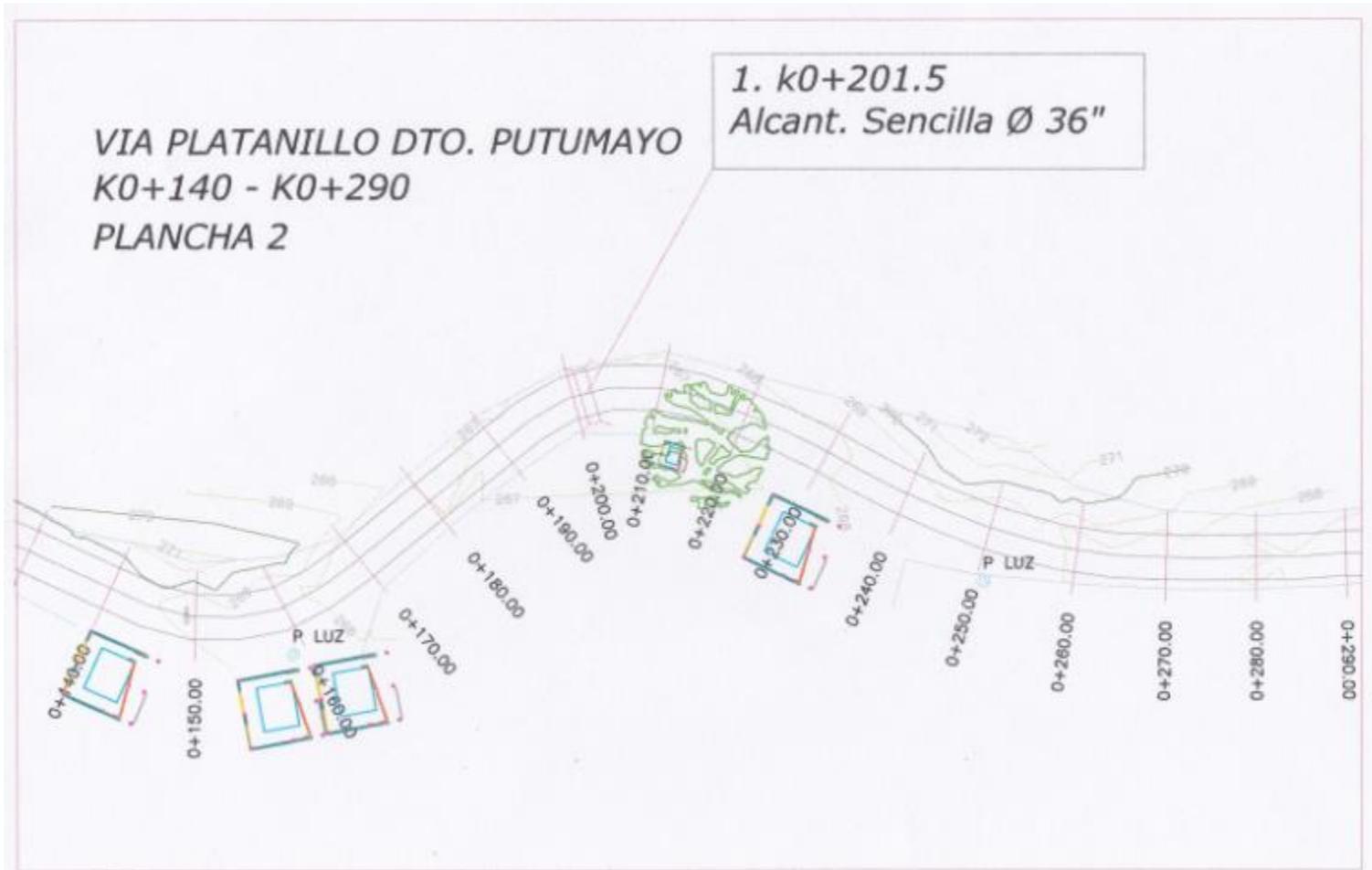
Anexo B. Cronograma

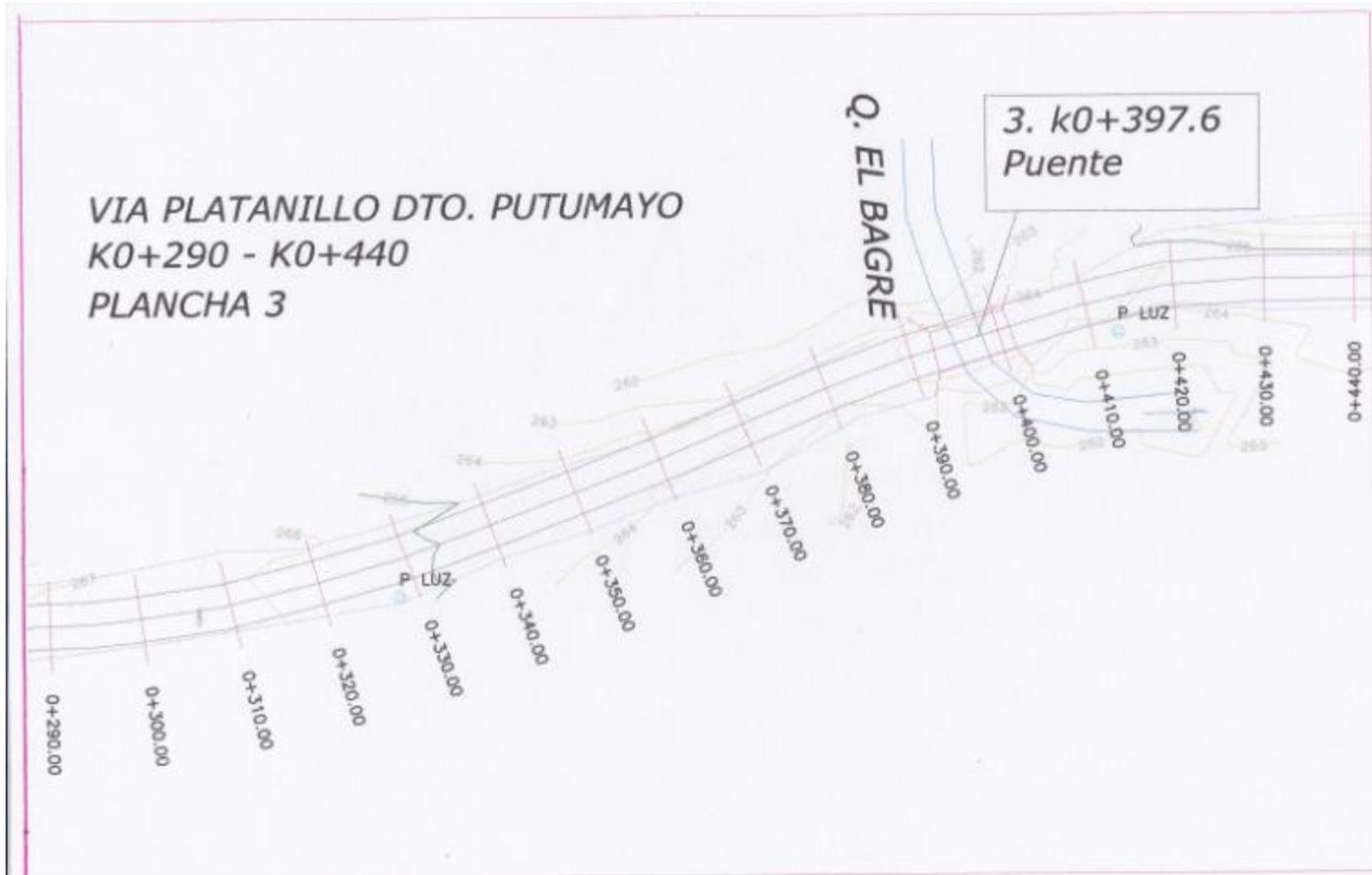
NUMERACION	ACTIVIDADES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL
1	LOCALIZACION Y REPLANTEO				
2	DEMONTAJE ZONAS BORGOSAS				
3	DEMOLICION ESTRUCTURAS C/O				
4	EXCAVACION EN ROCA COMUN				
5	EXCAVACION EN MATERIAL COMUN				
6	DESCAPOTE				
7	REMOCION DERRUMBES				
8	TERRAPLENES				
9	DESALCOLO DE MATERIALES				
10	COMFORMACION DE CALZADA				
11	AFIRMADO				
12	SUBBASE GRANULAR TIPO INVIAS				
13	BASE GRANULAR TIPO INVIAS				
14	IMPRIMACION				
15	PAVIMENTO EN ASFALTO MC/D				
16	EXCAVACIONES ROCA EN SECO				
17	AGUILLACIONES ROCA BAJA				
18	EXCAVACIONES MATERIAL COMUN				
19	EXCAVACIONES MATERIAL COMUN EN AGUA				
20	ESTRUCTURAS PARA ESTRUCTURAS				
21	MATERIAL FILTRANTE				
22	CONCRETO CLASE D 210				
23	CONCRETO CLASE D 140				
24	ACERO DE REFUERZO GRADO 60 KG				
25	APROYOS ELASTOMERICOS				
26	UNION DE JUNTAS DE EXPANSION				
27	ACERO PRE ESFUERZO				
28	BARANDA METALICA				
29	PEATONAL n=1.0				
30	TUBERIA C/O REFREZADO 500 MM				
31	GEOTEXTIL TIPO NT. 3.000				
32	SUBDRENEJES HORIZONTALES EN ROCA MEDIA Y DURAD=4mm EN SUELOS DUREOS Y ROCA BLANDA D				
33	LINEAS DE DEMARCACION				
34	TACHA REFLECTIVA				
35	SEÑAL DE TRANSITO GRUPO I				
36	SEÑAL DE TRANSITO TIPO IV				
37	DEFENSA METALICA				
38	SECCION FINAL				
39	CONFIRMACION Y CANTONAMIENTO DE ZONAS DE DEPOSITO CON POSTES DE MADERA. TALLERES DE ZONAS DE TALLERES PARA ORGANICA Y SEMILLAS				
40	SUMINISTRO E INSTALACION DE LUMINARIA DE 150 W DE SONO, ROY AEREA, 2 BOMBILLO, FOTOCELDA BRAZO, COLLARIN 4 MTS DE ALAMBRE No. 12 Y DOS PERFORACION DE AISLAMIENTO				
41	SUMINISTRO E INSTALACION DE LUMINARIA DE 150 W DE SONO, ROY AEREA, 2 BOMBILLO, FOTOCELDA BRAZO, COLLARIN 4 MTS DE ALAMBRE No. 12 Y DOS PERFORACION DE AISLAMIENTO DER No. 5 A 12"				
42	SUMINISTRO E INSTALACION DE POSTE DE ALUMBRADO PUEBLON INCLUYE INSTALACION DE PERCHA				
43	SUMINISTRO E INSTALACION DE LUMINARIA DE 150 W DE SONO, ROY AEREA, 2 BOMBILLO, FOTOCELDA BRAZO, COLLARIN 4 MTS DE ALAMBRE No. 12 Y DOS PERFORACION DE AISLAMIENTO DER No. 5 A 12"				
44	SUMINISTRO E INSTALACION DE CABLE COBRE No. 6 AWG THW				
45	SUMINISTRO E INSTALACION DE CABLE COBRE No. 6 AWG THW				
46	SUMINISTRO, TENDIDA E INSTALACION DE CABLE RETENIDA 1/4 INCLUYE 500X1.5 M GUARDACABO DE 1/2" BL. COQUE DE CONCRETO DE 30 CM. DE DIAMETRO.				



Anexo C. Planchas





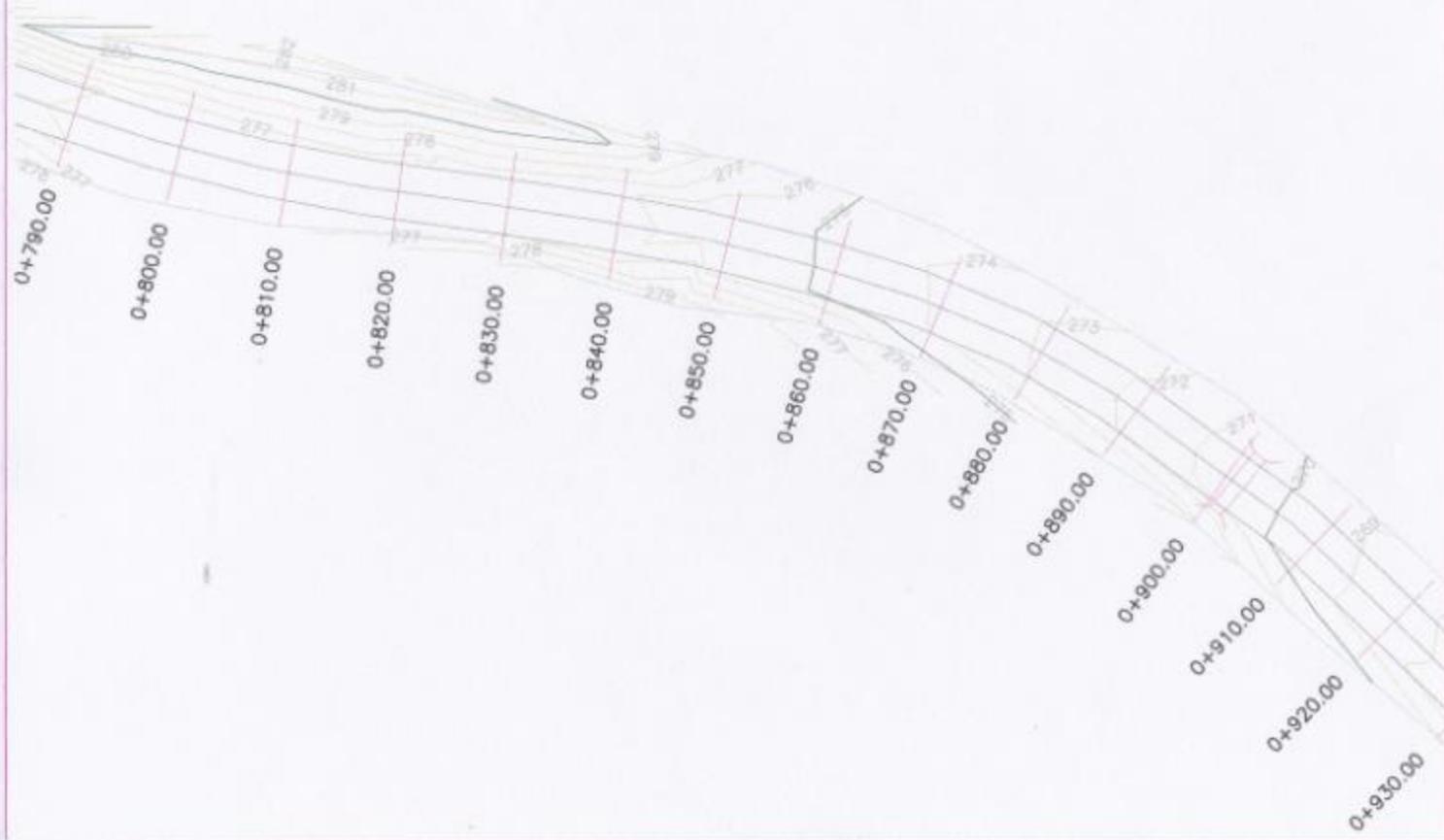








VIA PLATANILLO DTO. PUTUMAYO  
K0+780 - K0+930  
PLANCHA 6

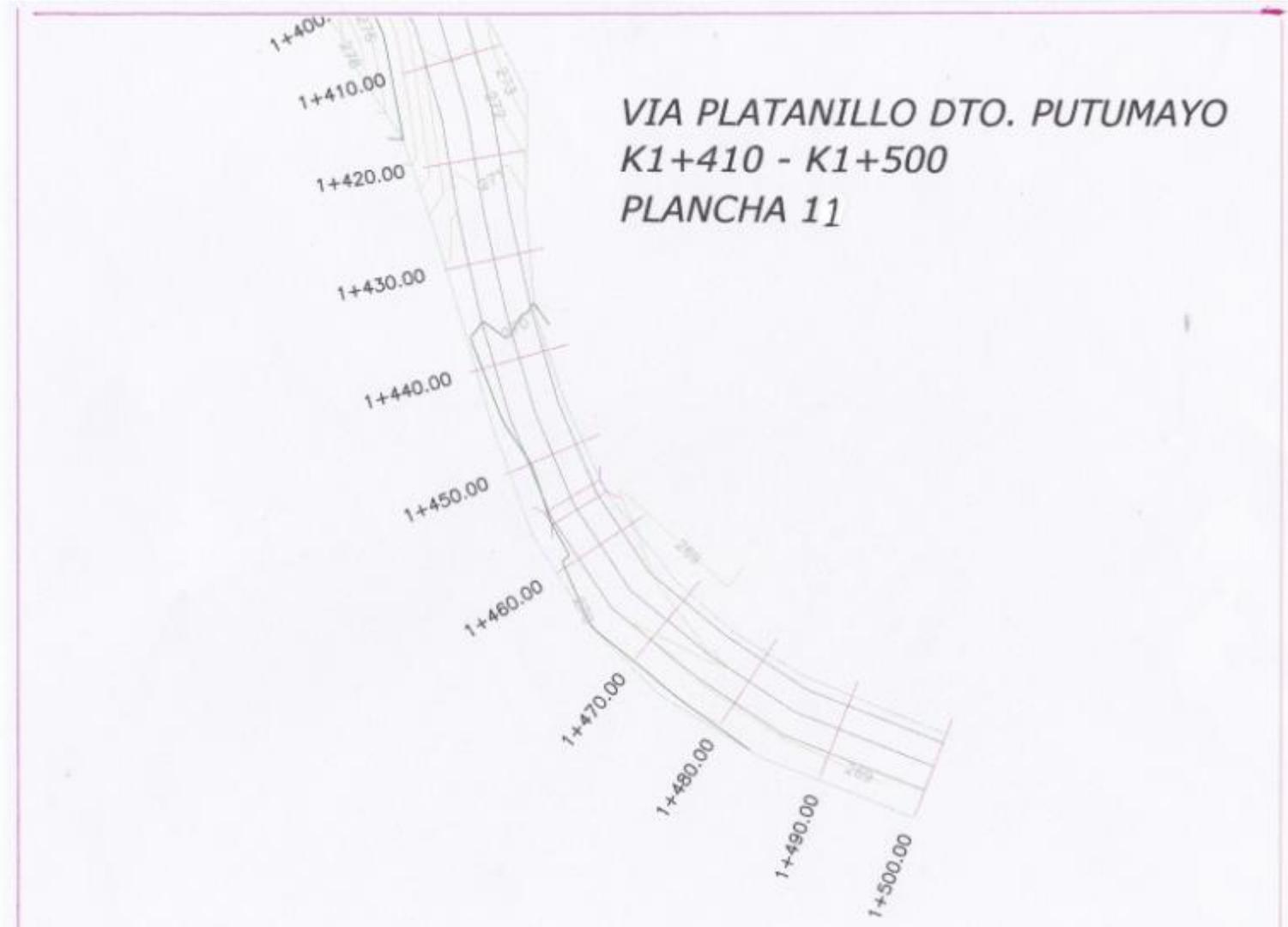












### Anexo D. Corte Transversal

