

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO



## FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA UNIDAD ACADÉMICA DE TITULACIÓN

### MAESTRÍA EN VÍAS TERRESTRES

#### Problema Profesional

---

Tema: “EL DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES, SU COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL, E INCIDENCIA EN EL DETERIORO TEMPRANO DE LA RED VIAL EN LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA”.

---

Resolución de un Problema Profesional, previa a la obtención del Grado Académico de Magister en Vías Terrestres a través del Examen Complexivo

Autor: Ingeniero Juan Santiago López Valencia

Ambato – Ecuador

2016

A la Unidad Académica de Titulación de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica

El Tribunal receptor del Problema Profesional precitado por el Ing. Segundo Francisco Pazmiño Gavilanes, Mg. Presidente y Miembro del Tribunal y grado académico, e integrado por los señores Ing. Ruth Lorena Pérez Maldonado, Mg. y el Ing. Vinicio Fabián Almeida Lema, Mg. Miembros del Tribunal y grado académico, designados por la Unidad Académica de Titulación de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, la Maestría en Vías Terrestres, de la Universidad Técnica de Ambato, para receptrar la Resolución del Problema Profesional con el tema: EL DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES, SU COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL, E INCIDENCIA EN EL DETERIORO TEMPRANO DE LA RED VIAL EN LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA, elaborado y presentado por el Ing. Juan Santiago López Valencia, para optar por el Grado Académico de Magister en Vías Terrestres a través del Examen Complexivo; una vez escuchada la defensa oral el Tribunal aprueba y remite el trabajo para uso y custodia en las bibliotecas de la UTA.

-----  
Ing. Segundo Francisco Pazmiño Gavilanes, Mg.  
Presidente y Miembro del Tribunal

-----  
Ing. Ruth Lorena Pérez Maldonado, Mg.  
Miembro del Tribunal

-----  
Ing. Vinicio Fabián Almeida Lema, Mg.  
Miembro del Tribunal

## **AUTORIA DEL PROBLEMA PROFESIONAL**

La responsabilidad de las opiniones, comentarios y críticas emitidas en la Resolución del Problema Profesional presentado con el tema: EL DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES, SU COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL, E INCIDENCIA EN EL DETERIORO TEMPRANO DE LA RED VIAL EN LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA, me corresponde exclusivamente a: Ing. Juan Santiago López Valencia

-----  
Ing. Juan Santiago Lopez Valencia

**Autor**

## **DERECHOS DE AUTOR**

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que la Resolución del Problema Profesional, sirva como un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos de mi trabajo, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este, dentro de las regulaciones de la Universidad.

-----  
Ing. Juan Santiago López Valencia  
c.c. 180287843-7

## INDICE:

A LA UNIDAD ACADÉMICA DE TITULACIÓN.....	ii
AUTORÍA DEL PROBLEMA PROFESIONAL.....	iii
DERECHOS DE AUTOR.....	v
ÍNDICE .....	v
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS.....	vi

## Contenido

1. TEMA.....	1
2. CONTEXTUALIZACION .....	2
3. ANALISIS CRITICO.....	4
4. OBJETIVOS.....	6
4.1 Generales.....	6
4.2 Específicos .....	6
5. MARCO TEORICO .....	7
6. METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION .....	19
6.1 ENFOQUE.....	19
6.2 MODALIDAD BASICA DE LA INVESTIGACION .....	19
6.3 NIVEL O TIPO DE INVESTIGACION.....	19
6.4 POBLACION Y MUESTRA.....	20
6.5 RECOLECCION DE INFORMACION .....	21
6.6 PLAN DE PROCESAMIENTO DE LA INFORMACION.....	24
7. ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS.....	25
8. CONCLUSIONES.....	27
9. PROPUESTA DE SOLUCION.....	28
BIBLIOGRAFIA.....	30
ANEXOS.....	31

## **INDICE DE GRAFICOS**

GRAFICO 1.....	26
----------------	----

## **INDICE DE TABLAS**

TABLA 1.....	22
TABLA 2.....	24
TABLA 3.....	25
TABLA 4.....	29
TABLA 5.....	31
TABLA 6.....	32
TABLA 7.....	32
TABLA 8.....	33

## **1. TEMA**

El Diseño de Pavimentos Flexibles, su Comportamiento Estructural, e Incidencia en el Deterioro Temprano de la Red Vial en la Provincia de Tungurahua.

## 2. CONTEXTUALIZACIÓN

Por su aportación en las diversas actividades sociales, la ingeniería ocupa un lugar muy importante en el desarrollo económico de los pueblos, debido a lo cual ésta se ha superado con el fin de aplicar la mejor técnica en las diferentes ramas que la forman. Lo que ha permitido el desarrollo económico, político y social de los pueblos.

En nuestro País El Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO) publicó por el año de 1979 un Manual de Diseño de Caminos Vecinales para varias provincias del Ecuador como El oro, Guayas, Los Ríos, en la que clasifican a los caminos en tres grupos principales: caminos de base, de sub-base y de tierra.

El MTO 1985 actualiza el Manual de Diseño de Caminos Vecinales que tiene vigencia a nivel nacional, considerando seis tipos de caminos para diferentes afluencias de tráfico:

- Caminos empedrados (caminos tipo 4E y 5E).
  
- Caminos con capa granular de rodadura sin revestimiento para demandas de tráfico entre 100 y 150 vehículos pesados día (vpd), aproximadamente y periodo de diseño de 7 años (caminos tipos 4 y 5).
  
- Camino con capa granular de rodadura sin revestimiento sobre una capa de refuerzo de material seleccionado, para tráfico del orden de 150 vpd, y periodo de diseño de 7 años (camino tipo 6)
  
- Camino compuesto de un Doble Tratamiento Superficial Bituminoso (DTSB), sobre una capa de base y material seleccionado, para demandas de tráfico mayores de 250 vpd. y periodo de 10 años. (camino tipo 7).

En la Provincia del Tungurahua con la colaboración de todos los Municipios Cantonales y bajo el desarrollo tecnológico en el área vial ha provocado que las

capas de rodadura que se utilizaban anteriormente en los caminos vecinales como: empedrados, bases granulares sin revestimiento y con tratamientos superficiales, sean remplazados por hormigón asfáltico teniendo en cuenta el gran aporte estructural del suelo que este provee a la estructura del pavimento y su durabilidad como capa impermeabilizante.

Un conjunto de profesionales técnicos en diseño de vías, bajo la organización del Gobierno Provincial de Tungurahua bajo una realidad nacional han tenido que recurrir ya no a los manuales del MTOP existentes, sino al uso de metodologías como la AASHTO '93 para el diseño de la estructura de sus pavimentos, encontrándose con el inconveniente que la misma fue concebida para volúmenes de tráfico medios y altos, este particular induce a sobredimensionamientos en la estructura del pavimento.

Una gran red vial de aproximadamente 1700 Km hasta el año 2016 se ha venido asfaltando sobre empedrado y una capa de base; esta metodología resulta ser nueva dentro de la construcción de pavimentos, la misma merece ser estudiada y analizada en el transcurso del tiempo y observar su deterioro y durabilidad en el tiempo.

### 3. ANÁLISIS CRÍTICO

La Provincia del Tungurahua estando situada en la cadena montañosa de los Andes presenta una gran variedad de estándares geométricos, altas pendientes y varios tipos de superficies de rodadura. La capa de rodadura de los caminos de poco tránsito está conformados por tierra, lastre, empedrado y hormigón asfáltico.

Las capas estructurales del pavimento en la provincia están expuestas a diferentes agentes, por lo que presentan una gran cantidad de deficiencias conllevando a problemas como:

- Las continuas erupciones del Volcán Tungurahua deja una gran cantidad de ceniza en la capa de rodadura, destruyendo la señalización horizontal en vías cercanas al volcán.
- Por tener un clima no definido de estaciones climáticas se puede observar que la gran cantidad de obras de arte de tipo hidráulico no funcionan a su cabalidad presentando restricciones para ser utilizadas en todas las estaciones del año y conlleve a deteriorarse la estructura misma del pavimento.
- En algunas vías consideradas con un TPDA medio, se puede observar un deterioro de la capa de rodadura en diferentes tipos de fallas como fisuras, desprendimientos en bloques, piel de cocodrilo, fallas longitudinales y transversales etc. Dándose así un alto costo de mantenimiento.
- La poca oportunidad de realizar proyectos de investigación en ingeniería que homogenicen las soluciones de diseño en nuestro medio y así buscar estándares similares de diseños deben ser propios considerando las situaciones particulares de cada región, tales como suelo, clima, materiales, etc.

Muchas de las vías de la red provincial son consideradas como de bajo volumen de tránsito donde se proponen soluciones relativamente económicas en

comparación a caminos que soportan altos volúmenes, teniendo como consecuencias una baja calidad de durabilidad y más aún una temprana deficiencia del hormigón asfáltico con presencia de diferentes tipos fallas.

La inversión realizada puede o no justificarse debido a un tipo estandarizado de diseño en nuestra provincia con estándares mínimos de diseño geométrico (longitudinal y transversal), y una ingeniería de diseño estructural de pavimentos mínima que permita satisfacer el periodo de diseño y a su vez se justifique económicamente.

El diseño propuesto como modelo pretende dar una solución mediante una estructura no transitoria, es decir considera que soportará el tránsito de diseño y, que en la eventualidad de aumentar el volumen de tránsito, ésta puede ser reforzada sin modificar significativamente la estructura del pavimento existente.

En la red vial de Tungurahua en los cantones Ambato, Cevallos Píllaro, Patate, Quero, Pelileo, Tisaleo, Baños y Mocha se realizara el estudio y análisis de las estructuras viales existentes.

El estudio de campo y determinación del modelo se lo realizara en el periodo comprendido entre marzo de 2016 y Marzo de 2017, una vez iniciado, estará siendo aplicado en el Gobierno Provincial de Tungurahua y se aspira que sea aplicada en un lapso de 7 años.

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1. General**

Elaborar un modelo de diseño de pavimentos para mejorar su comportamiento estructural, y evitar el deterioro temprano de la red vial en la provincia de Tungurahua.

### **4.2. Específicos**

- Determinar y estandarizar los parámetros de diseño de pavimentos, con posibles correcciones para el temprano deterioro de pavimentos.
- Evaluar los manuales de diseño estructural de pavimentos, en caminos con poco volumen de tránsito.
- Proponer un modelo de diseño de pavimentos para mejorar su comportamiento estructural o modificarlos.
- Elaborar un modelo de diseño de pavimentos en la provincia para determinados tipos de subrasante y niveles de tránsito.
- Proponer correcciones en las estructuras viales para posteriores diseños y evitar daños tempranos y severos en las capas de rodadura.

## 5. MARCO TEÓRICO

### 5.1 Antecedentes Investigativos

El MTOP hasta la presente fecha, como actualización desde el año 1993 no ha publicado ningún documento o manual de diseño, en especial para pavimentos en vías con poco volumen de tráfico y en terreno montañoso, se conoce que en los países vecinos como Colombia, Perú, Chile, y varios países centroamericanos tienen manuales de diseño de pavimentos para caminos o vías poco transitadas.

El Instituto Nacional de Vías (**INVIAS**) es la entidad Colombiana encargada del mejoramiento y mantenimiento de la infraestructura vial no concesionada. Está adscrito al Ministerio de Transporte y en conjunto elaboran los planes, programas y proyectos tendientes a la construcción, reconstrucción, mejoramiento, rehabilitación y conservación en el sector de infraestructura vial de bajo volumen tránsito.

Manual de carreteras **Chile** es un documento de carácter normativo, que sirve de guía a las diferentes acciones que son de competencia técnica del Servicio, en él se establecen políticas, criterios, procedimientos y métodos que indican las condiciones por cumplir en los proyectos viales y que guardan relación con la planificación, estudio, evaluación, diseño, construcción, seguridad, mantenimiento, calidad e impacto ambiental para caminos vecinales.

El Ministerio de Transportes y Comunicaciones del **Perú** (MTC) a través de la Dirección General de Caminos y Ferrocarriles, dentro de su rol normativo, tiene como funciones entre otras, la de formular las normas sobre el uso y desarrollo de la infraestructura de carreteras y ferrocarriles, así como emitir los manuales de diseño y especificaciones técnicas para la ejecución de los proyectos viales, en este contexto, el MTC ha elaborado el “Manual de Diseño de Carreteras Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito”; que define que estas carreteras son aquellas que tienen demandas proyectadas hasta 350 vehículos/día que

corresponderán al Sistema Nacional de Carreteras, el MTC considera necesario normar un manual que proporcione criterios técnicos sólidos y coherentes, para posibilitar el diseño y construcción de carreteras eficientes, optimizados en su costo e impulsar la extensión técnica masiva de su conocimiento en sus estamentos políticos, técnicos y sociales involucrados en el tema. Para este efecto, el manual, presenta tecnologías apropiadas a la realidad del país favoreciendo el uso de los recursos locales y en especial, el cuidado de los aspectos de seguridad vial y de preservación del medio ambiente, debiendo las entidades responsables de la gestión vial exigir su uso adecuado.

## **5.2. Fundamentación legal**

Algunos de los manuales existentes dentro de los países vecinos como: Manual de Diseño de Pavimentos Asfálticos para Vías con Bajos Volúmenes de Tránsito de Colombia, Guía de Diseño Estructural de Pavimentos para Caminos de Bajo Volumen de Tránsito de Chile, Manual para Diseño de Carreteras Pavimentadas de bajo Volumen de Tránsito de Perú y el Manual AASHTO '93, Normas de la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM), Manual de diseño de Caminos vecinales para las provincias de El Oro, Los Ríos y Guayas. MOP. Ecuador 1979, Aspectos del diseño volumétrico de mezclas asfálticas. SCTIMT serán una ayuda y guía para nuestra investigación.

## **5.3. Categorías Fundamentales**

### **5.3.1 Condiciones particulares**

Las condiciones de los caminos no pavimentados suelen ser:

- Los caminos de grava y tierra varía significativamente en cortos periodos de tiempo, por ejemplo: una lluvia intensa puede ser interrumpido uno o más días.

- Los caminos en mal estado no incentivan la integración social, acceso a la salud, educación, cultura y turismo.
- Un deterioro ambiental sería el impacto del polvo y material suelto en el entorno natural (árboles, plantas, cultivos, lagos, otros).
- El aumento de los costos depende del tipo de vehículo (liviano o pesado), velocidad de circulación, tipo de camino no pavimentado (tierra o ripio) y del nivel de deterioro.
- La presencia de deterioros superficiales se traduce en un mayor número de accidentes.
- La vida útil de los pavimentos que se utiliza es relativamente corta.
- La calidad de los procesos constructivos al utilizar técnicas constructivas semi-artesanales.
- Los sistemas de drenaje que se diseñan tienden a ser insuficientes en parte importante a lo largo del proyecto.
- Al término de su vida útil, por lo general, requieren ser reconstruidos perdiendo gran parte de la inversión realizada.

### **5.3.2. Variables de diseño de la estructura del pavimento**

El modelo propuesto se basa en el método de la AASHTO, versión 1993, para el diseño de la sección estructural de los pavimentos flexibles de carreteras, estableciendo que la superficie de rodamiento se resuelve solamente con concreto asfáltico, pues asume que tal estructura soportará niveles significativos de tránsito.

El diseño está basado primordialmente en identificar o encontrar un “número estructural SN” para el pavimento flexible que pueda soportar el nivel de carga solicitado. Para determinar el número estructural SN requerido, el método proporciona la ecuación general:

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

donde:

SN = número estructural (pulg).

$W_{18}$  = número de cargas de 18 kips (80 kN) previstas.

$Z_R$  = abscisa correspondiente a un área igual a la confiabilidad R en la curva de distribución normalizada.

$S_0$  = desviación estándar global.

$\Delta \text{PSI}$  = pérdida de serviciabilidad

$M_R$  = Módulo de resiliencia de la subrasante.

### 5.3.3 Período de diseño estructural

El periodo de diseño puede ser definido como el lapso de tiempo transcurrido desde que se entrega al servicio la estructura, hasta que los deterioros producidos por el tránsito y los agentes ambientales normales hacen que la vía pierda su funcionalidad.

### 5.3.4. El tránsito, Categorías, Composición, Volumen

La duración o el daño de las instalaciones viales (pavimentos y puentes) dependen tanto de los pesos de los vehículos como de la frecuencia de la aplicación de esas cargas en dichas estructuras.

Los métodos usuales para el diseño de pavimentos asfálticos para vías de tránsito medio y alto, consideran esta variable en términos de repeticiones de ejes patrones de diseño, generalmente ejes sencillos de 80 KN, cuya valoración con cierto grado de confiabilidad exige un conocimiento más o menos preciso de la magnitud de las cargas pesadas circulantes, a efectos de establecer su respectiva equivalencia con el eje patrón de diseño.

En los estudios de volúmenes de tránsito es necesario conocer la composición de los distintos tipos de vehículos. La composición vehicular se mide en términos de porcentajes sobre el volumen total. Por ejemplo, porcentaje de automóviles, de autobuses y de camiones.

En caso de no disponer de datos de composición de tránsito, se puede utilizar la información registrada a continuación, obtenida del análisis de las series históricas del Instituto Nacional de Vías, que representa la composición promedio registrada en las vías de bajo tránsito con estación de conteo.

Las vías se diseñan para un volumen de tránsito que se determina como demanda diaria promedio a servir al final del periodo de diseño, calculado como el número de vehículos promedio que utilizan la carretera por día actualmente y que se incrementa con una tasa de crecimiento anual.

Se puede calcular el crecimiento de tránsito utilizando una fórmula simple:

$$TPDA_{FINAL} = TPDA_o (1+i)^t$$

en la que:

$TPDA_{FINAL}$  = Tráfico promedio diario anual inicial

$TPDA_o$  = Tráfico promedio diario anual inicial

$i$  = Tasa de crecimiento vehicular general o por tipo de vehículo

t = Periodo de diseño

La demanda o volumen de tráfico requiere ser expresado en términos de ejes equivalentes acumulados para el periodo de diseño. Un eje equivalente (EE) equivale al efecto de deterioro causado sobre el pavimento, por un eje simple de dos ruedas cargado con 8.2 tn de peso, con neumáticos con presión de 80 lb/pulg.

Para el cálculo del número de repeticiones de ejes equivalentes de 8.2 ton, se usa la siguiente expresión:

$$EE_{8.2 \text{ tn}} = \text{No. vehículos} * FD * fd$$

donde:

$EE_{8.2 \text{ tn}}$  = Número de repeticiones de ejes equivalentes

FD = Factor de daño

fd = Factor direccional

Es necesario conocer las tasas de crecimiento o incremento anual del tránsito, la distribución por dirección en cada sentido del camino y si fuera en carreteras con más de dos vías, la distribución vehicular en cada una de ellas.

### **5.3.5. Factores de equivalencia de carga de rueda**

Se determinó que el factor de equivalencia de daño es función del número de aplicaciones a la falla. Esta a su vez es una función directa de cómo ha sido desarrollado el criterio de diseño (empírica o teóricamente). Pueden obtenerse del cálculo de esfuerzos o deformaciones y toman en cuenta el comportamiento a la fatiga de los materiales. Asimismo, dependen del material, de la clase de daño estructural considerado y de la clase de pavimento.

Algunas investigaciones han establecido estos factores usando el criterio de las deformaciones unitarias principales de tensión en el fondo de la capa asfáltica; las equivalencias así derivadas implican un daño de agrietamiento por fatiga.

### **5.3.6 Tránsito en el carril de diseño en función del ancho de la calzada.**

#### **Factor direccional (fd)**

Cuando la calzada va a tener menos de cinco (5) metros de ancho, se deberá considerar en el cálculo todo el tránsito esperado en los dos sentidos, pues salvo en el momento en que se crucen, los vehículos circularán centrados y tenderán a producir una sola zona de canalización. Si la calzada va a tener seis (6) metros o más, se considerará como tránsito de diseño la mitad del total, y si el ancho es igual o mayor de cinco (5) metros y menos de seis metros, se tomará el 75% del total.

### **5.3.7. Confiabilidad**

Confiabilidad es la probabilidad de que el sistema estructural que forma el pavimento cumpla su función prevista dentro de su vida útil bajo las condiciones (medio ambiente) que tiene lugar en ese lapso.

En el método AASHTO se usan como variables de entrada los módulos resilientes de la sub-rasante y de las distintas capas que forman el paquete estructural, coeficiente de drenaje, datos de tránsito, etc., que son variables que pueden cambiar, cada una de ellas en un amplio rango.

#### **5.3.7.1. La sub-rasante**

La Sub-rasante es definida como el suelo preparado y compactado para soportar la estructura de un sistema de pavimento.

Las propiedades físico-mecánicas son las características utilizadas para la selección de los materiales, las especificaciones de construcción y el control de

calidad. La calidad de los suelos en el caso de las subrasantes, se puede relacionar con el módulo de resiliencia, módulo de Poisson, valor soporte del suelo (CBR) y el módulo de reacción de la subrasante.

### **5.3.7.2. Clasificación de suelos**

Para determinar las propiedades de un suelo a usarse como subrasante se usa la clasificación de AASHTO M-145; las primeras variables son: la granulometría y la plasticidad. En términos generales, un suelo conforme a su granulometría se clasifica así:

- Grava: de un tamaño menor a 76.2 mm (3") hasta tamiz N° 10
- Arena Gruesa: de un tamaño menor a 2 mm hasta tamiz N° 40
- Arena fina: de un tamaño menor a 0.425 mm hasta tamiz N° 200
- Limos y arcillas: tamaños menores de 0.075 mm

### **5.3.7.3. Ensayos de suelos**

Existen diferentes métodos para determinar la resistencia de los suelos de la subrasante que han sido sometidos a cargas dinámicas de tránsito, entre los cuales están los siguientes: Relación de Valor de Soporte de California (CBR, California Bearing Ratio), Valor de resistencia Hveem (Valor R), Ensayo de plato de carga (Valor k), Penetración dinámica de cono, Módulo de resiliencia (MR) para pavimentos flexibles, Módulo de reacción (Mk) para pavimentos rígidos.

#### **a). Valor de soporte California (CBR, AASHTO T-193)**

El método del CBR para diseño de pavimentos, fue uno de los primeros en utilizarse y se basa principalmente en que a menor valor de CBR de la sub-rasante

es necesario colocar mayores espesores en la estructura de pavimento para protegerlo de la frecuencia de las cargas de tránsito.

#### **b). Módulo de resiliencia (Mr, AASHTO T -294)**

Este ensayo se desarrolló con el objeto de analizar la propiedad que tienen los materiales de comportarse bajo cargas dinámicas como las ruedas de tránsito.

Convenientemente se han reportado factores que pueden ser usados para estimar el módulo de resiliencia (Mr) con el CBR.

$$Mr = 2555 \times (CBR)^{0.64}$$

Mr : Valor del Módulo de Resiliente, en libras por pulgada cuadrada (PSI)

CBR: en porcentaje

### **5.3.8. Características de la estructura del pavimento**

#### **5.3.8.1. Sub-base**

Es la capa de la estructura de pavimento destinado fundamentalmente a soportar, transmitir y distribuir con uniformidad las cargas aplicadas a la superficie de rodadura de pavimentos se utiliza además como capa de drenaje y contralor de ascensión capilar de agua, protegiendo así a la estructura de pavimento.

Los materiales de sub-base deben ser suelos del tipo granular que llenen los siguientes requisitos: el valor soporte (CBR) debe determinarse según AASHTO T-193 sobre muestra saturada según AASHTO T-180, el tamaño de las piedras que contenga el material de sub-base no debe ser mayor de 2/3 del espesor de esta y los porcentajes que pasan los tamices N° 40 y N° 200, deben ser según AASHTO T-11 y T-27, el índice de plasticidad debe determinarse según AASHTO –T-90, y el límite Líquido según AASHTO T-89, determinados ambos sobre una muestra preparada en húmedo, según AASHTO T-146, el equivalente de arena es determinado por el método AASHTO T-176, el material debe estar

libre de impurezas tales como: basura, material orgánica, terreros de arcilla y cualquier otro material que pueda ocasionar problemas específicos al pavimento.

El sistema de compactación del material de sub-base debe ser tendido en capas no mayores de 20 centímetros de espesor. Este debe homogenizarse y conformarse, agregándole la cantidad de agua que sea necesaria para lograr la compactación en su totalidad, hasta alcanzar su máxima por el método AASHTO T-180.

#### **5.3.8.2. Base**

Es la capa de pavimento que tiene como función primordial, distribuir y transmitir las cargas ocasionadas por el tránsito, a la sub-base y a través de ésta a la sub-rasante, y es la capa sobre la cual se coloca la capa de rodadura.

Está constituida por piedra de buena calidad, triturada y mezclada con material de relleno o bien por una combinación de piedra y grava, con arena y suelo, en su estado natural. La estabilidad dependerá de la graduación de las partículas, forma, densidad relativa, fricción interna y cohesión, las propiedades dependerán de la proporción de finos con respecto al agregado grueso.

#### **5.3.8.3. Capa asfáltica**

Es la mezcla de agregados pétreos con aglomerantes bituminosos, materiales que deben cumplir con los requisitos aquí especificados, los cuales mezclados mediante procedimientos controlados en caliente, darán como resultado un material con propiedades y características definidas.

#### **5.3.9. Cementos Asfálticos**

Son residuos de la destilación del petróleo y se caracterizan por permanecer en estado semisólido a la temperatura del ambiente, al ser mezclados con agregados

forman el hormigón asfáltico, empleado en pavimentos, en las capas de rodadura o base.

#### **5.3.9.1 Agregados pétreos**

Para los requisitos de la mezcla, se adoptará el método Marshall según AASHTO T45.

La porción de agregados minerales gruesos retenida en la malla N° 8 se denominará agregado grueso y se compondrá de piedras o gravas trituradas.

La porción de agregados minerales que pasa la malla N° 8 se denominará agregado fino y podrá estar compuesto por arena natural, tamizados de piedra o de una combinación de ambos.

La piedra o grava triturada debe ser limpia, compactada y durable, carente de suciedad o otras materias inconvenientes y debe tener un desgaste no mayor de 40% a 500 revoluciones al ensayarse por el método de AASHTO T-96.

#### **5.3.9.2. Drenaje**

El agua penetra dentro de la estructura del pavimento por muchos medios tales como grietas, juntas o infiltraciones del pavimento o como corriente subterránea de un acuífero interrumpido, elevando el nivel freático o como fuente localizada (sin dren, atrapada, etc). Los efectos de esta agua sobre el pavimento son: reduce la resistencia de los suelos de la subrasante cuando ésta se satura y permanece en similares condiciones durante largos periodos y succiona los finos de los agregados de las bases que están bajo los pavimentos flexibles, haciendo que las partículas de suelo se desplacen con los resultados de pérdida de soporte por la erosión provocada.

### **5.3.10. Comportamiento de pavimentos**

El comportamiento y durabilidad de un pavimento puede definirse como la capacidad estructural o funcional medible a lo largo de su periodo de diseño. El público usuario le asigna valores subjetivos de acuerdo a su calidad de rodadura, seguridad, aspecto y conveniencia.

### **5.3.11. Indicadores del comportamiento**

Las características del pavimento pueden medirse cuantitativamente y correlacionarse con las consideraciones subjetivas de los usuarios, estas se denominan indicadores de comportamiento y son: fallas visibles, capacidad estructural, fricción superficial y rugosidad.

### **5.3.12. Evaluación de fallas visibles. Sistema PAVER**

El sistema PAVER es un instrumento de evaluación y administración de pavimentos de extremo valor siendo propiamente usado e implementado, incluye la recopilación de datos y su actualización, ya que de ésta dependerá la exactitud de los resultados a ser obtenidos de su procesamiento y las estrategias de mantenimiento y rehabilitación a adoptar a corto y largo plazo.

#### **5.3.12.1. Identificación de fallas en el pavimento**

El concepto básico del sistema PAVER puede resumirse en los siguientes pasos:

- Identificación de tramos y secciones que serán objeto de un inventario de fallas por muestreo.
  
- Evaluación de las fallas en el pavimento: el tipo, intensidad y cantidad.

## 6. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

### 6.1. ENFOQUE

El presente trabajo es cuantitativo y cualitativo ya que en la investigación predominan cálculos y valores numéricos, busca las causas y la explicación del comportamiento del pavimento, tiene un enfoque generalista, la perspectiva está orientada a la comprobación de la hipótesis, da énfasis, analiza factores donde se enfatiza a resolver problemas técnicos dentro de la ingeniería civil.

### 6.2. MODALIDAD BÁSICA DE LA INVESTIGACIÓN

Dentro de esta investigación incluye los trabajos siguientes a seguir:

- **De campo.-** Analiza el comportamiento estructural del pavimento donde es necesario evaluar en el sitio las características de las vías en la provincia del Tungurahua.
- **Laboratorio.-** Se toman muestras de suelos y se analizan sus propiedades físicas mecánicas mediante ensayos de laboratorio.
- **Documental bibliográfico.-** El marco teórico está basado en la bibliografía existente, además el trabajo contiene la aplicación de normas y conceptos específicos.

### 6.3. NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN

La investigación ha desarrollarse contiene los siguientes niveles:

- **Exploratorio.-** Busca dentro del campo de la ingeniería vial las variables de diseño para pavimentos de poco tráfico.

- **Descriptivo.-** Detalla las variables de diseño utilizadas en las normas de diseño de otros países y describe las fallas que se presentan en los pavimentos existentes.
- **Explicativo.-** Mediante la explicación se propone soluciones al diseño de pavimentos su corrección y posibles soluciones actuales para extender la vida útil de los mismos.

## 6.4. POBLACIÓN Y MUESTRA

### 6.4.1. Población

La provincia del Tungurahua consta con una red vial de 1700 Kilómetros de vías asfaltadas distribuidas en siete cantones y cuarenta y cuatro parroquias.

### 6.4.2. Muestra

Para establecer la muestra se utiliza la siguiente fórmula:

$$n = \frac{N \sigma^2 Z^2}{(N - 1) E^2 + \sigma^2 Z^2}$$

Donde:

n = Tamaño de la muestra

N = Universo o Población

$\sigma$  = Varianza

Z = Nivel de confianza deseado (95 %)

E = Límite aceptable de error muestral

La varianza será igual a  $(0.5)^2$ , por considerar el 0.5 de probabilidad de éxito y 0.5 de probabilidad de fracaso, en conclusión:

$$\sigma^2 = p * q = (0.5) (0.5) = (0.5)^2$$

donde:

$$\begin{aligned} \sigma^2 &= \text{varianza} \\ p &= \text{Probabilidad de éxito} = 0.5 \\ q &= \text{Probabilidad de fracaso} = 0.5 \end{aligned}$$

Con respecto al nivel de confianza, se presenta los más comunes y su valor de Z

Coeficientes de confianza	50%	90%	95%	99%
Z	0.647	1.645	1.96	2.58

Para el siguiente caso asumimos un nivel de confianza del 90% y un límite aceptable de error muestral igual al 8%, obteniendo una muestra de:

$$n = \frac{1700 * 0.25 * 1.96^2}{(530 - 1) * 0.08^2 + 0.25 * (1.96)^2}$$

$$n = 375.67 \text{ km}$$

## 6.5. RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Para recolectar información de forma directa se requiere de la participación de cuatro ayudantes y un ingeniero laboratorista, para ello se ha utilizado una serie de formularios preparados con anterioridad, más los formulario del sistema Paver en estos se registraran la información de campo concerniente a datos generales de las

vías, medición de tráfico y suelos, posteriormente en el laboratorio se procederá a determinar la clasificación de suelos y en la oficina con ayuda de diversos softwares a procesar la información.

Se investigara sobre programas y técnicas de medición, control de calidad, inventario y monitoreo realizados en vías representativas del Tungurahua, mediante métodos destructivos y/o de bajo rendimiento, y otros obtenidos con equipos de alto rendimiento y mayor precisión, que permitirán obtener información de los elementos viales, en lo posible sin destruir la capa del pavimento, espaldones, cunetas, etc. Se realizara también consultas sobre costos de construcción vial para diferentes tipos y regiones de la provincia; costos de mantenimiento de carreteras; costos de mantenimiento de vehículos y de combustibles.

### 6.5.1 Variable independiente

**Tabla 1**

**Modelo de diseño de pavimentos.**

	DIMENSIONES	INDICADORES	ITEMS	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
<p><b>Modelo de diseño de pavimentos.-</b> Manual a seguir para determinar el sistema de capas</p>	- Tránsito	<p>- Categorías - Volúmenes.</p> <p>- Categorías</p>	<p>- Ejes equivalentes - Composición - Tasas de crecimiento - Factor direccional - Ejes equivalentes - Periodo de diseño estructural - Valor de</p>	<p>- Investigación - Encuesta.</p> <p>- Ensayos de</p>

<p>(estructura) de la sección transversal de una vía con el objetivo de darle permanencia mediante la selección de variables de diseño.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Subrasante</li> <li>-Componentes de la estructura</li> <li>- Clima</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Módulo resiliente</li> <li>- Propiedades físico mecánicas</li> <li>- Subbase</li> <li>- Base</li> <li>- Capa asfáltica</li> <li>- Drenaje</li> </ul>	<p>soporte California (CBR).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Materiales</li> <li>- Sistema de Compactación</li> <li>- Grado de saturación</li> </ul>	<p>campo y laboratorio.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Investigación</li> <li>-Investigación</li> </ul>
---	--	---	--	--

### 6.5.2. Variable dependiente

**Tabla 2**

#### **Mejorar el comportamiento estructural**

CONCEPTUALIZACIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	ITEMS	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
<p><b>El comportamiento o performance de un pavimento.</b>- es la capacidad estructural o funcional medible a lo largo de su periodo de diseño.</p>	<p>- Estructural.</p> <p>- Funcional.</p>	<p>-Deterioro estructural.</p> <p>-Calidad aceptable de rodadura</p> <p>- Fricción superficial</p> <p>- Geometría apropiada</p>	<p>- Fallas visibles</p> <p>- Capacidad estructural</p> <p>- Fricción superficial</p> <p>- Rugosidad</p> <p>-</p> <p>Serviciabilidad</p> <p>- Mediciones</p>	<p>-Observación experimental.</p> <p>-Uso de equipo de laboratorio.</p> <p>-Observación experimental.</p> <p>-Uso de equipo de laboratorio.</p>

### 6.6. PLAN DE PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

Para el procesamiento de datos generales de la vía, medición de tráfico y suelos se lo somete a un análisis y calificación con el objeto de que sea representativa de la realidad, posteriormente estos datos se tabulan en cuadros de resumen que permitan el estudio estadístico de las variables para analizar e interpretar los resultados relacionándolos con las diferentes partes de la investigación, principalmente con los objetivos de la hipótesis.

## 7. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Cuando se realice el análisis de las variables de diseño en la estructura del pavimento que se aplican en países vecinos y la metodología AASHTO '93, Se presentara el inventario vial, estudio de tráfico vehicular, evaluación de la subrasante, y una evaluación funcional del pavimento existente, posibles soluciones para mayor durabilidad de la red vial asfaltada de la provincia de Tungurahua.

Toda esta información nos permitirá crear un modelo donde se muestre y explique bajo cálculos se realicen proyectos próximos con altos estándares de calidad.

La red vial de Tungurahua ha venido funcionando desde hace muchos años atrás sin embargo en algunas vías se han destruido casi en su totalidad donde ya se debe presentar este tipo de modelos de investigación para poder repararlas o encimar una sobrecapa.

Para este trabajo se ha considerado como muestra veinte tramos viales los cuales son:

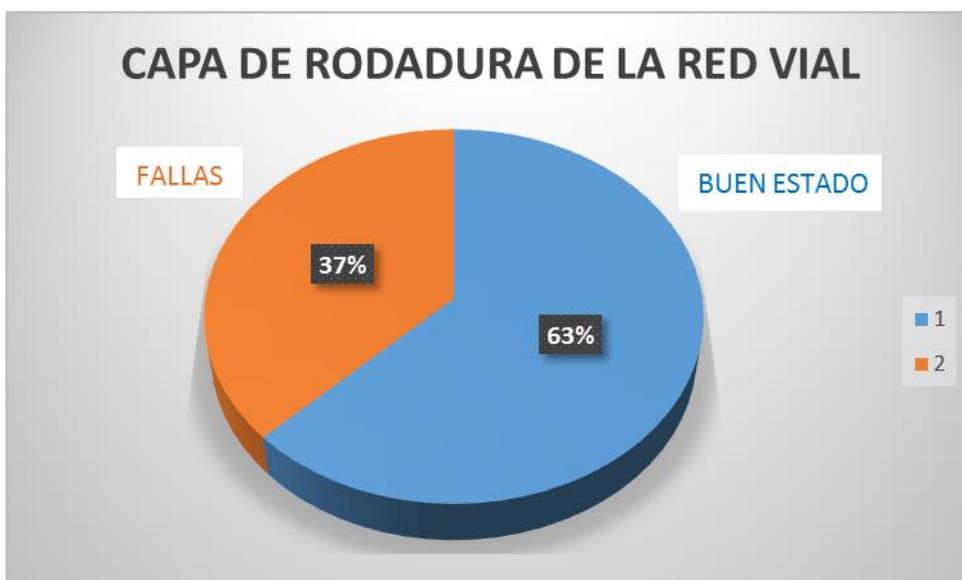
Tabla 3

<b>ITEM</b>	<b>NOMBRE CAMINO</b>
1	A.N. Martínez-Constantino Fernández-San José
2	Pinllo-Quisapincha-Ambatillo
3	Alobamba-Montalvo-Totoras
4	Quindivana-Pasa-San Fernando
5	La Magdalena-Huachi La Libertad-San Francisco
6	Juan Beningo Vela-Tisaleo
7	Tisaleo-Quinchicoto-Santa Marianita
8	San Miguelito-Los Andes-empate vía Pelileo-Patate
9	San Andrés-San Pedro El Capulí
10	San Andrés-San José de Poaló
11	Pelileo-La Paz-Huasimpamba

12	Pelileo-Patate -San Javier
13	La Florida-empate vía Cahujá-Pillate-Cotaló
14	Benítez-El Corte
15	Quero-Yayulilhuí-Yanayacu
16	Benítez-Llimpe-Quero
17	Pelileo-Cevallos-Quero
18	Miraflores-Quindivana-Escaleras
19	Mocha Querochaca
20	Ulba-Viscaya-El Triunfo

Estos caminos tienen una longitud total de 206,60 Km de longitud y arrojan el siguiente resumen de su situación actual:

Grafico 1



## **8. CONCLUSIONES**

Como posibles conclusiones en las vías que cuentan con una estructura de pavimento: capa de sub-base o base y carpeta asfáltica podrán ser sometidas a procesos de rehabilitación mediante un refuerzo de su estructura o una sobre capa.

Las vías que no cuentan con estructura de pavimento es decir que poseen únicamente capas de recubrimiento: empedrados y carpeta asfáltica, deberán ser sometidas a procesos de reconstrucción general y no desperdiciar recursos económicos.

Las vías que se encuentran en tierra deberán ser técnicamente evaluadas para después ser sometidas a un diseño para finalmente realizar el proceso de construcción.

## 9. PROPUESTA DE SOLUCIÓN

- **Detalle de acciones**

Para un funcionamiento de calidad en las vías es recomendable realizar estudios de diseño geométrico y estructural, con ello se tomará en cuenta la variación que necesariamente tienen los diferentes actores.

Varios parámetros de diseño y calidad de los materiales deben ser revisados en el momento de construcción de la obra ya que es de vital importancia para la durabilidad del proyecto.

Muchos de los materiales como el empedrado pueden ser utilizados en la obra pero tomando en cuenta que el aporte estructural con respecto a una capa de material de mejoramiento es mucho menor, y necesariamente deberá ser utilizado conjuntamente con una capa mínima de subbase o base.

Es necesario emprender y aprender que el desarrollo de una normativa debe regular la construcción o reconstrucción de las vías existentes.

- **Recursos necesarios**

Institucionales:	H. GOBIERNO PROVINCIAL DE TUNGURAHUA
Humanos:	Ing. Juan Santiago López Valencia.
Materiales:	de Oficina, Internet, Bibliografías.
Económicos:	\$20,000.00

- **Tiempo**

**Tabla 4**

Cronograma

Nro.	SEMANAS ACTIVIDADES	1	2	3	4	5	
		Mes de Marzo del 2016					
1	Determinación del tema	[Barra de actividad que cubre la semana 1]					
2	Elaboración del marco teórico	[Barra de actividad que cubre las semanas 1 y 2]					
3	Recolección de información	[Barra de actividad que cubre las semanas 2 y 3]					
4	Procesamiento de datos	[Barra de actividad que cubre la semana 3]					
5	Análisis de Resultados y conclusiones	[Barra de actividad que cubre las semanas 4 y 5]					
6	Generación de Propuesta	[Barra de actividad que cubre las semanas 5 y 6]					

- **Resultados esperados**

Es necesario emprender y aprender que el desarrollo de una normativa debe regular la construcción o reconstrucción de las vías existentes.

## **BIBLIOGRAFÍA**

Abril, V. H. (2008). *Elaboración de Proyectos de Investigación Científica*. Ambato.

Arias, F. (2012). *Introducción a la metodología científica* (Vol. Quinta ).

Bernal, C. (2006). *Metodología de la Investigación*. México: Pearson Prentice Hall.

Hernández Sampieri, R., Fernández Callado, C., & Baptista Lucio, P. (2010). *Metodología de la Investigación*. México: Mc Graw Hill.

Herrera E., L., Medina F., A., & Naranjo L., G. (2004). *Tutoria de la Investigación*. Ambato: Gráficas Corona Quito.

Ministerio de Transportes y Obras Públicas. (2002). *Especificaciones Técnicas Generales para Caminos y Puentes*. Quito: Presidencia de la República de Ecuador.

Ministerio de Transportes y Obras Públicas. (2013). *Norma Ecuatoriana Vial* (Vol. 3). Quito: Presidencia de la República del Ecuador.



Tabla 6 CUADRO TIPO DE PRESUPUESTO DE UNA VIA

PRESUPUESTO REFERENCIAL						
OBRA:		RECAPEO VIA A.N. MARTINEZ-CONSTANTINO FERNANDEZ-SAN JOSE				
UBICACIÓN:		CANTON:			AMBATO	
ANCHO PR.:		8,00 m	LONGITUD		6,00 Km	
LONGITUD:		13,60 Km	MONTO:		300.047,05	
RUBRO	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL	
1	Recapeo de hormigón asfáltico en caliente e=2,5 cm. incluye fresado, sello de fisuras, bacheo mayor y menor.	m2	36700,00	4,34	159.278,00	
2	Carpeta asfáltica en caliente e=4,0 cm. incluye reposición de estructura fallada.	m2	13000,00	7,41	96.330,00	
3	Excavación	m3	30,00	5,57	167,10	
4	Hormigón Simple f'c=180 Kg/cm2	m3	10,00	131,27	1.312,70	
5	Hormigón Simple f'c=210 Kg/cm2	m3	10,00	139,32	1.393,20	
6	Hormigón Ciclópeo 60% HS 180 Kg/cm2 + 40% piedra	m3	20,00	98,68	1.973,60	
7	Acero de refuerzo	Kg	300,00	2,22	666,00	
8	Cuneta de Hormigón Simple f'c=180 Kg/cm2	m	1000,00	11,05	11.050,00	
9	Señalización vertical	u	35,00	104,74	3.665,90	
10	Señalización horizontal a=12 cm.	Km	18,00	446,65	8.039,70	
11	Señalización horizontal transversal	m2	120,00	6,14	736,80	
12	Suministro y Colocación Tubería PVC corrugada d=315 mm.	m	18,00	33,57	604,26	
13	Suministro y Colocación Tubería PVC corrugada d=200 mm.	m	18,00	20,38	366,84	
14	Nivelación de pozos de alcantarillado	u	45,00	67,11	3.019,95	
15	Sum. Ycol. De guardavias dobles	m	100,00	114,43	11.443,00	
				<b>TOTAL</b>	<b>300.047,05</b>	
				<b>PRESUPUESTO REFERENCIAL</b>		<b>300.047,05</b>
				<b>12 % I.V.A.</b>		<b>36.005,65</b>
				<b>TOTAL</b>		<b>336.052,70</b>
marzo-16						

Tabla 7 CUADRO DE RESUMEN DIAGNOSTICO VIAL

INVENTARIO CAPA DE RODADURA												
ITEM	NOMBRE CAMINO	LONG km	AREA TOTAL	FALLAS(m2)						ESTADO (%)		
				PC	FB	FL	FT	BCH	AHU	FDB	BUEN	FALLAS
1	A.N. Martínez-Constantino Fernández-San José	6,00	45145,00	11008,95	1319,37	983,25		660,91			71,23	28,77
2	Piñillo-Quisapincha-Ambatillo	13,60	118680,00	21108,94	23060,55	231,73		1242,46		131,87	61,62	38,38
3	Alobamba-Montalvo-Totoras	8,10	61925,00	7416,94	13011,38	2967,24		245,73			66,61	33,39
4	Quindivana-Pasa-San Fernando	6,40	39180,00	14888,40	783,60	1175,40		123,54			59,68	40,32
5	La Magdalena-Huachi La Libertad-San Francisco	8,90	73650,00	7530,87	2152,67	1890,57		194,33			86,59	13,41
6	Juan Benigno Vela-Tisaleo	6,70	45870,00	14053,29	4883,11	1875,24		872,35			56,82	43,18
7	Tisaleo-Quinchicoto-Santa Marianita	7,50	47820,00	14681,49	5878,64	576,14		189,61			56,61	43,39
8	San Miguellito-Los Andes-empate vía Pelileo-Patate	18,00	120475,00	21762,50	6409,77	1535,43		1463,97		263,70	75,18	24,82
9	San Andrés-San Pedro El Capulí	9,50	65750,00	19067,50	0,00	1407,05		6575,00			61,00	39,00
10	San Andrés-San José de Poaló	10,30	63035,00	17299,31	6833,98	18384,72		6974,11	1314,78	489,06	47,79	52,21
11	Pelileo-La Paz-Huasimpamba	4,30	43410,00	7401,28	3494,68	819,89		2172,68		1401,97	66,67	33,33
12	Pelileo-Patate -San Javier	14,50	117365,00	44493,31	1180,05	0,00		909,12			60,31	39,69
13	La Florida-empate vía Cahuañi-Pillate-Cotaló	3,90	27100,00	5271,73	837,36	220,81		7064,71	645,24		49,01	50,99
14	Bentéz-El Corte	4,70	35375,00	5718,63	10566,08	0,00		36,01			53,86	46,14
15	Quero-Yayulibuf-Yanayacu	11,00	77975,00	12007,13	16626,77	1203,86		590,15			62,52	37,48
16	Bentéz-Limpe-Quero	8,80	79200,00	14016,44	13654,67	0,00		110,24			64,92	35,08
17	Pelileo-Cevallos-Quero	10,00	90000,00	15061,90	13771,43	0,00		108,57			67,84	32,16
18	Miraflores-Quindivana-Escaleras	28,00	170450,00	44049,58	20201,76	2508,94		714,49			61,89	38,11
19	Mocha Querochaca	8,00	63750,00	17134,59	6330,70	794,01		61,06			63,10	36,90
20	Ulba-Viscaya-El Triunfo	18,40	109925,00	28926,39	14095,88	1860,74		284,87			60,60	39,40

Tabla 8 CUADRO RESUMEN DE PRESUPUESTO VIAL

PRESUPUESTO INVENTARIO CAPA DE RODADURA			
ITEM	NOMBRE CAMINO	LONGITUD	AREA TOTAL
		km	PRESUPUESTO REFERENCIAL USD
1	A.N. Martínez-Constantino Fernández-San José	6,00	45145,00
2	Pinlo-Quisapincha-Ambatillo	13,60	118680,00
3	Alobamba-Montalvo-Totoras	8,10	61925,00
4	Quindivana-Pasa-San Fernando	6,40	39180,00
5	La Magdalena-Huachi La Libertad-San Francisco	8,90	73650,00
6	Juan Beningo Vela-Tisaleo	6,70	45870,00
7	Tisaleo-Quinchicoto-Santa Marianita	7,50	47820,00
8	San Miguelito-Los Andes-empate vía Pelileo-Patate	18,00	120475,00
9	San Andrés-San Pedro El Capulí	9,50	65750,00
10	San Andrés-San José de Poaló	10,30	63035,00
11	Pelileo-La Paz-Huasimpamba	4,30	43410,00
12	Pelileo-Patate -San Javier	14,50	117365,00
13	La Florida-empate vía Cahuají-Pillate-Cotaló	3,90	27100,00
14	Benítez-El Corte	4,70	35375,00
15	Quero-Yayulihuí-Yanayacu	11,00	77975,00
16	Benítez-Llimpe-Quero	8,80	79200,00
17	Pelileo-Cevallos-Quero	10,00	90000,00
18	Miraflores-Quindivana-Escaleras	28,00	170450,00
19	Mocha Querochaca	8,00	63750,00
20	Ulba-Viscaya-El Triunfo	18,40	109925,00
			<b>TOTAL</b>
			<b>11430461,25</b>