

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ**

**Colegio de Ciencias e Ingenierías**

**“COMPARACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA ENTRE UNA BASE ESTABILIZADA Y  
LA RECUPERACIÓN DE ASFALTO EXISTENTE PARA LA ELABORACIÓN DE  
UN PAVIMENTO FLEXIBLE”**

**PULLAS GUARDERAS NATHAN ANDRÉS**

**Ingeniería Civil**

**Trabajo de fin de carrera presentado como requisito**

**para la obtención del título de**

**Ingeniero Civil**

Quito, 15 de diciembre de 2019

# **UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ**

**Colegio de Ciencias e Ingenierías**

## **HOJA DE CALIFICACIÓN DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA**

**“COMPARACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA ENTRE UNA BASE  
ESTABILIZADA Y LA RECUPERACIÓN DE ASFALTO EXISTENTE  
PARA LA ELABORACIÓN DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE”**

**PULLAS GUARDERAS NATHAN ANDRÉS**

**Nombre del profesor, Título académico: Gustavo Boada Parra, Msc.**

Quito, 15 de diciembre del 2019

## **DERECHOS DE AUTOR**

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Nombres y apellidos: Nathan Andrés Pullas Guarderas

Código: 00101904

Cédula de identidad: 1717390106

Lugar y fecha: Quito, 15 de diciembre de 2019

## **ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN**

**Nota:** El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETHeses>.

## **UNPUBLISHED DOCUMENT**

**Note:** The following capstone project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETHeses>.

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a mi familia y todas las personas que me acompañaron a culminar mi carrera.

## **AGRADECIMIENTOS**

De igual manera agradezco a todas las personas que me apoyaron a no dar mi brazo a torcer para terminar con mi carrera.

## RESUMEN

El presente trabajo de titulación tiene como objetivo dar a conocer cómo se puede optimizar el paquete estructural a partir de una base estabilizada y la recuperación de asfalto existente en el proyecto “Rehabilitación de la vía Conocoto-Amaguaña”. Dependerá de una evaluación técnica para definir los tramos donde se realizará los refuerzos en el paquete estructural con el fin de proveer una superficie que permita un transporte eficaz y seguro de personas, productos etc. Se verificará mediante ensayos de laboratorio su desempeño para garantizar sus propiedades mecánicas durante y después de la construcción del paquete estructural. Desde el punto de vista económico se analiza mediante un flujo cual técnica resulta ser más conveniente debido a que termina siendo una inversión para el país, se revisan los rubros que intervienen en su proceso de construcción para determinar los valores de costo beneficio.

Palabras claves: base estabilizada, recuperación de asfalto existente, Conocoto-Amaguaña, paquete estructural, costo beneficio.

## ABSTRACT

The purpose of this titling work is to show how the structural package can be optimized from a stabilized base and the recycling of asphalt mixed with asphaltic emulsion in the project “Rehabilitación de la vía Conocoto-Amaguaña”. It will depend on a technical evaluation to define the sections where reinforcements will be made in the structural package in order to provide a surface that allows an efficient and safe transport of people, products etc. Its performance will be verified by laboratory tests to guarantee its mechanical properties during and after the construction of the structural package. From the economic point of view, it is analyzed through a flow which technique is more convenient because it ends up being an investment for the country, the items that are involved in its construction process are reviewed to determine the cost benefit values.

Keywords: stabilized base, recycling of asphalt mixed with asphaltic emulsion, Conocoto-Amaguaña, structural package, cost benefit.



## TABLA DE CONTENIDO

Contenido	Pp.
1. INTRODUCCIÓN .....	15
1.1 Antecedentes .....	15
1.2 Objetivo general .....	16
1.3 Objetivos específicos.....	16
1.4 Descripción General del Proyecto.....	17
<b>1.4.1. Estado Actual de la vía.....</b>	<b>17</b>
1.4.1.1 Problemas presentes previo a la intervención. ....	18
1.4.1.2 Condiciones Actuales de la Estructura del Pavimento.....	19
<b>1.4.2 Estudio de Tráfico. ....</b>	<b>20</b>
1.4.2.1 Tráfico. ....	20
<b>1.4.3 Tasas de Crecimiento. ....</b>	<b>22</b>
1.4.3.1 Parque automotor de la provincia de Pichincha. ....	22
1.4.3.2 Consumo de combustible. ....	22
1.4.3.3 Población.....	22
1.4.3.4. Producto interno bruto (PIB).....	22
2. MARCO TEORICO .....	24
2.1. Gestión de Mantenimiento de Pavimentos Asfálticos.....	24
<b>2.1.1. Mantenimiento Vial.....</b>	<b>25</b>
2.1.1.1. Mantenimiento Rutinario. ....	26
2.1.1.2. Mantenimiento Periódico. ....	26
2.1.1.3. Trabajos de Emergencia. ....	26
2.1.1.4. Trabajos de mejoramiento.....	26
2.1.1.5. Rehabilitación Vial.....	26
2.1.1.5.1. Recuperación de asfalto existente .....	26

	10
2.1.1.5.2. Base Estabilizada.....	27
<b>2.1.2. Maquinaria para Mantenimientos Viales .....</b>	<b>27</b>
3. DISEÑO DEL PAQUETE ESTRUCTURAL.....	28
3.1. Análisis del estado actual del paquete estructural .....	28
<b>3.1.1 Cálculo de la Capacidad de Soporte de California (CBR) a partir de Cono Dinámico de Penetración (DCP). .....</b>	<b>28</b>
<b>3.1.2 Evaluación del índice de soporte CBR de campo .....</b>	<b>31</b>
<b>3.1.3 Cálculo del número estructural. ....</b>	<b>33</b>
3.1.3.1 Desviación Estándar.....	34
3.1.3.2 Confiabilidad.....	34
3.1.3.3 Índice de servicio terminal.....	34
3.1.3.4 Índice de servicio inicial.....	34
3.1.3.5 Coeficientes estructurales de capa.....	34
3.1.3.6 Módulo Resiliente efectivo .....	34
3.1.3.7 Drenaje .....	35
3.1.3.8 ESAL'S .....	35
3.1.3.9 Número Estructural (SN) .....	35
<b>3.2. Sección Transversal Tipo.....</b>	<b>40</b>
<b>3.3. Diseño de la Recuperación de Asfalto Existente.....</b>	<b>40</b>
<b>3.3.1. Granulometría. ....</b>	<b>41</b>
<b>3.3.2. Índice de Plasticidad (ASTM D-4318).....</b>	<b>42</b>
<b>3.3.3. Gravedad Específica y Absorción (ASTM 127 / 128).....</b>	<b>42</b>
<b>3.3.4. Equivalente de Arena (ASTM C-241). ....</b>	<b>42</b>
<b>3.3.6. Procedimiento para el Diseño de Mezcla Marshall (MS-19 cap. 10.1.7).....</b>	<b>44</b>
<b>3.3.7. Reducción de agua para el diseño de base estabilizada y recuperación de asfalto.....</b>	<b>47</b>
4. ANÁLISIS ECONÓMICO .....	50
4.1. Análisis de Coste – Beneficio .....	50

<b>4.1.1. Costos.....</b>	<b>50</b>
<b>4.1.1.1. Presupuesto de Estabilización de Base del proyecto Conocoto-Amaguaña.</b>	<b>50</b>
<b>4.1.1.2. Presupuesto de Recuperación del Asfalto Existente del proyecto Conocoto-Amaguaña. ....</b>	<b>51</b>
<b>4.1.1.3. Costos de mantenimiento.....</b>	<b>52</b>
<b>4.1.2. Costos Beneficios. ....</b>	<b>52</b>
<b>5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>57</b>
5.1. Conclusiones .....	57
5.2. Recomendaciones.....	58
5.3. Referencias .....	60

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Resumen de espesores y tipologías. ....	19
<b>Tabla 2 .</b> Conteo Vehicular.....	21
<b>Tabla 3.</b> Tasas de Crecimiento en función de varios factores 2017. ....	23
<b>Tabla 4.</b> Valores de TPDA en vehículos livianos equivalentes 2017 .....	23
<b>Tabla 5.</b> Equipo Mínimo para mantenimiento vial.....	27
<b>Tabla 6.</b> Ensayo DCP para tramo 6+100.....	29
<b>Tabla 7.</b> Resumen de Golpes y Transformaciones de tramo 6+100.....	30
<b>Tabla 8.</b> Cálculo de Número Estructural (SN) Método AASHTO (1993), Pavimento Flexible. .....	35
<b>Tabla 9.</b> Resumen del paquete estructural actual y su diseño pertinente .....	37
<b>Tabla 10.</b> Resumen del refuerzo en los tramos críticos.....	38
<b>Tabla 11.</b> Resumen del reforzamiento.....	39
<b>Tabla 12.</b> Muestras 1 y 2 para Granulometría .....	41
<b>Tabla 13.</b> MOP-001-F-2002 (TABLA 406-6.01) TIPO C De Granulometría .....	41
<b>Tabla 14.</b> Gravedades específicas.....	42
<b>Tabla 15.</b> Equivalente de arena Ensayo 1 y 2.....	42
<b>Tabla 16.</b> Ensayos en el residuo asfáltico.....	43
<b>Tabla 17.</b> Prueba de Recubrimiento (MS-19 cap. 10.1.6.1).....	44
<b>Tabla 18.</b> Prueba de Adhesividad (MS-19 cap. 10.1.6.2).....	44
<b>Tabla 19.</b> Resultados de los ensayos Marshall .....	47
<b>Tabla 20.</b> Costos de construcción con Base Estabilizada.....	51
<b>Tabla 21.</b> Costos de construcción con Recuperación de Pavimento .....	51
<b>Tabla 22.</b> Costos de Mantenimientos .....	52
<b>Tabla 23.</b> Costos Generalizados de Viajes sin Proyecto .....	52
<b>Tabla 24.</b> Diferencia de costo (Beneficio Año: 2019).....	53
<b>Tabla 25.</b> Beneficios Anuales (Considerando una tasa de crecimiento de 15.31%) .....	53
<b>Tabla 26.</b> Flujo Económico con Base Estabilizada .....	55
<b>Tabla 27.</b> Flujo Económico con Reciclado de pavimento.....	56

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Ubicación del Proyecto a Nivel Local .....	17
<b>Figura 2</b> Deformación de la carpeta – piel de cocodrilo .....	18
<b>Figura 3.</b> Resumen de espesores de capas existentes .....	20
<b>Figura 4.</b> Composición de vehículos en el proyecto .....	21
<b>Figura 5.</b> Deterioro de Carpetas Asfálticas .....	24
<b>Figura 6.</b> Curva de Mantenimientos por indicador de Calidad .....	25
<b>Figura 7.</b> Estrategias de Mantenimiento en vías pavimentadas según su índice de servicio .	25
<b>Figura 8.</b> DCP Penetrómetro Dinámico de Cono de 8kg .....	28
<b>Figura 9.</b> Ensayo DCP Penetración-número de golpes para el tramo 6+100.....	30
<b>Figura 10.</b> Resumen de DCP-CBR (subrasante) .....	31
<b>Figura 11.</b> Resumen Percentil actual.....	32
<b>Figura 12.</b> Resumen DCP-CBR (subrasante).....	33
<b>Figura 13.</b> Resumen percentil propuesto por tramos.....	33
<b>Figura 14.</b> Método de diseño para Pavimento Flexible.....	36
<b>Figura 15.</b> Sección Transversal Tipo.....	40
<b>Figura 16.</b> Sección Típica .....	40
<b>Figura 17.</b> Curva de Granulometría.....	42
<b>Figura 18.</b> Proctor modificado .....	43
<b>Figura 19.</b> Ensayo Marshall (extracción 1) .....	45
<b>Figura 20 .</b> Ensayo Marshall (probetas) .....	45
<b>Figura 21.</b> Ensayo Marshall (baño a María).....	46
<b>Figura 22.</b> Ensayo Marshall .....	46
<b>Figura 23.</b> Volumen de trabajo.....	48

**ÍNDICE DE ECUACIONES**

Ecuación (1) .....	30
Ecuación_(2) .....	30
Ecuación_(3) .....	30
Ecuación_(4) .....	31
Ecuación_(5) .....	31
Ecuación_(6) .....	31
Ecuación_(7) .....	31
Ecuación_(8) .....	31
Ecuación_(9) .....	31
Ecuación_(10) .....	31
Ecuación_(11) .....	31
Ecuación_(12) .....	34
Ecuación_(13) .....	35
Ecuación_(14) .....	38
Ecuación_(15) .....	38
Ecuación_( 3) .....	48
Ecuación_( 4) .....	48
Ecuación_( 5) .....	48
Ecuación_( 6) .....	48
Ecuación_( 7) .....	49

## 1. INTRODUCCIÓN

Es de suma importancia el mantenimiento de las vías puesto que si no se realiza un mantenimiento con la regularidad que establecen las normas según su nivel de importancia, la inversión realizada no va a tener ningún tipo de beneficio por lo que se revisará en este trabajo las clases de mantenimientos y se hará énfasis en la rehabilitación vial. El presente trabajo de titulación se basará en la indagación y análisis de dos propuestas para la rehabilitación del proyecto mencionado para proveer una superficie que permita un transporte eficaz y seguro de personas, productos etc. Esto impulsa a que las compañías lleven un óptimo control de calidad sobre los materiales con los que se llevará a cabo la construcción de las vías donde circulan miles de usuarios diariamente.

### 1.1 Antecedentes

En el Distrito Metropolitano de Quito la red vial ha incrementado parcialmente y la dicotomía entre la implementación de nuevas arterias, rehabilitación y conservación de otras es un punto de inflexión puesto que hasta el presente año se han invertido USD 47 millones. Pero la tarea no es fácil puesto que cerca del 80% de las vías del DMQ ya cumplió su vida útil. De esta manera para mantener tal inversión.

La rehabilitación vial es un parámetro fundamental para elongar la vida útil del paquete estructural puesto que las propiedades de la mezcla asfáltica que conforman la parte superior se van deteriorando con el flujo del tráfico, condiciones climáticas y el paso del tiempo. Va a depender de una evaluación técnica para definir el tipo de tratamiento de rehabilitación a efectuar.

Durante muchos años las persona que se encontraban a cargo de la ejecución de proyectos viales pasaban por alto parámetros de lo que contempla la conglomeración del paquete estructural de una vía y simplemente se tendía carpeta sobre adoquines o una subrasante sin base y sub-base lo cual deriva en una instantánea falla en la capa de rodadura. Sumado a las condiciones climáticas en las cuales se encuentra expuesto la vía, hace que su detrimento se acelere; por lo que el Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincial de Pichincha decide ejecutar la “REHABILITACIÓN DE LA VIA CONOCOTO-AMAGUAÑA LONGITUD 12+300 KM”.

Previo a la ejecución de la rehabilitación se debe realizar una evaluación técnica en este caso se realizó calicatas cada 100 metros aproximadamente variando en la toma de muestras en su

componente transversal para determinar en las condiciones actuales que se encuentra la vía, sacar testigos para su análisis e identificar los estratos en diferentes partes de la vía. De esta manera lo que se quiere evitar es que una vez tendida la carpeta asfáltica tenga fallas instantáneas. Con el fin de mejorar el paquete estructural se planea poner en práctica dos técnicas similares con distintos materiales el reciclado de pavimento existente y la elaboración de una base estabilizada con material base clase III.

La técnica utilizada para el reciclado in situ en frío del pavimento existente o deteriorado es una técnica en la cual se ahorra transporte de material fresado y este material es reutilizado en su 99% junto a la mezcla de agua y emulsión de ruptura lenta Tipo CSS-1H, fabricada por la Planta de Emuldec Cia. Ltda. Que cumple con las especificaciones establecidas por la Norma NTE INEN 2062.

Por otro lado, se utilizó el material de base clase III para crear una base estabilizada al mezclar agua y un agente de emulsión mencionado en el tratamiento de reciclado in situ. Con el fin de mejorar sus características mecánicas y conseguir un suelo o capa de firme capaz de soportar los esfuerzos impuestos por las cargas de tránsito y resistir la acción de los agentes atmosféricos, conservando materialmente uniforme su volumen (MOP-001.2002).

## **1.2 Objetivo general**

El presente trabajo de titulación tiene como objetivo principal realizar un análisis técnico-económico sobre la construcción de una base estabilizada y la recuperación de asfalto existente en diferentes tramos de la vía Conocoto-Amaguaña. Esto se remite en la parte técnica a los cambios en el diseño del paquete estructural. En la parte económica se realizará un análisis económico de dichos rubros y la repercusión de la implementación del proyecto en un periodo de una década.

## **1.3 Objetivos específicos**

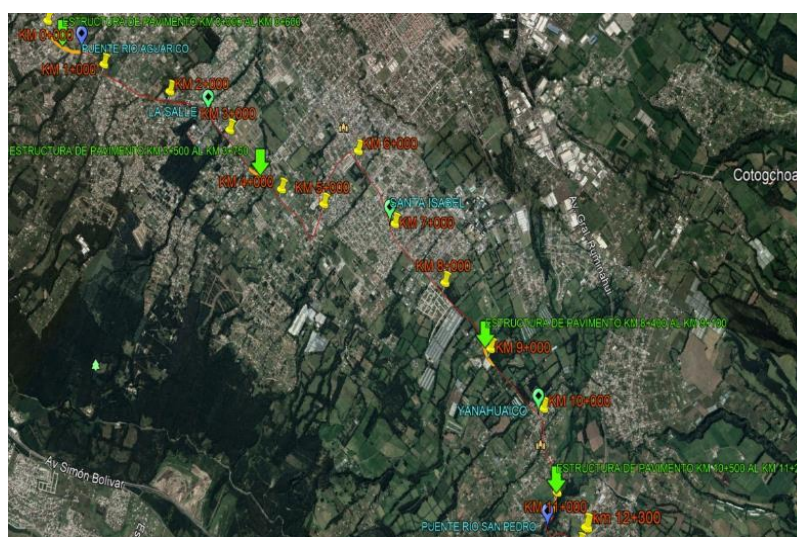
- Diseñar el paquete estructural para la vía Conocoto-Amaguaña incluyendo una capa de base estabilizada y la recuperación de asfalto en diferentes tramos.
- Verificar las propiedades de los materiales con los que se va a trabajar y el desempeño de su combinación mediante ensayos de laboratorio.
- Optimizar el paquete estructural para garantizar la vida útil de la vía mediante la construcción de bases estabilizadas y la recuperación de asfalto existente.



- Determinar cuál de las dos propuestas establecidas es técnica y económicamente viable.

#### 1.4 Descripción General del Proyecto

El Proyecto se encuentra ubicado en la provincia de Pichincha, es una de las arterias viales que une las parroquias de Conocoto y Amaguaña. Inicia en la intersección de la vía Ponce Enríquez (antigua vía Conocoto) y la calle Abdón Calderón y termina en la parroquia de Amaguaña, con una longitud aproximada de 12+300 Km., en la intersección con la vía Panamericana E-35, estando ubicado en el cantón Quito, como puede apreciarse en el mapa de ubicación:



**Figura 1** Ubicación del Proyecto a Nivel Local

**Fuente:** Proyecto Rehabilitación vial Conocoto-Amaguaña 2018-2019 Quito-Ecuador

Se evidenció que prácticamente toda la extensión del tramo de la vía Conocoto-Amaguaña se encuentra a nivel de capa de rodadura asfáltica con un espesor promedio de 7.8 cm. El ancho promedio de la vía es de 7.00

##### 1.4.1. Estado Actual de la vía.

Las limitaciones económicas a las cuales se ven sometidos los Gobiernos Provinciales en el Ecuador, incide en costos altos para reparaciones, siendo factible el mantenimiento y la rehabilitación de caminos asfaltados una solución alternativa, económica, y eficiente, de conservar el estado de la capa de rodadura, además podría ahorrar un alto porcentaje de lo invertido; de esta manera permitiría que los pueblos y localidades que se benefician de este tipo

de vías no se sientan relegados y al contrario estarían atendidos en su desarrollo económico y social.

#### ***1.4.1.1 Problemas presentes previo a la intervención.***

Antes de intervenir en la rehabilitación se realizó una inspección para determinar las características de la capa de rodadura y los problemas más frecuentes que se encontró fue: piel de cocodrilo, surco de huella, fisuras longitudinales, falla sobre parches.



**Figura 2** Deformación de la carpeta – piel de cocodrilo

**Fuente:** Proyecto Rehabilitación vial Conocoto-Amaguaña 2018-2019 Quito-Ecuador

A lo largo de la exploración de la vía se encontró que la estratigrafía de la misma se encuentra conformada por tres tipos de suelos: ML, GM y SM. Con respecto al suelo GM se trata de un suelo limoso en el que se encuentra un alto contenido de piedra. Del total de muestras analizadas resulta que el 29.63% corresponde a gravas con presencia de limo.

Los limos de baja plasticidad ocupan el 48.15% del total de muestras analizadas; con respecto al sistema AASHTO el suelo analizado corresponde a un A-4, este suelo con respecto al porcentaje total de muestras es el 78.57%. Es necesario indicar que los suelos del tipo GM debido a su baja plasticidad (nula en la mayoría de las muestras) y el alto porcentaje de piedra hallado (producto de la colocación para conformar la estructura de la vía actual) presentan características muy similares al suelo que predomina en el proyecto: ML.

El restante 22.22% de muestras ensayadas corresponde a una arena limosa SM con características mecánicas regulares. Correspondiente al tramo de la 11+540 a la 12+040.

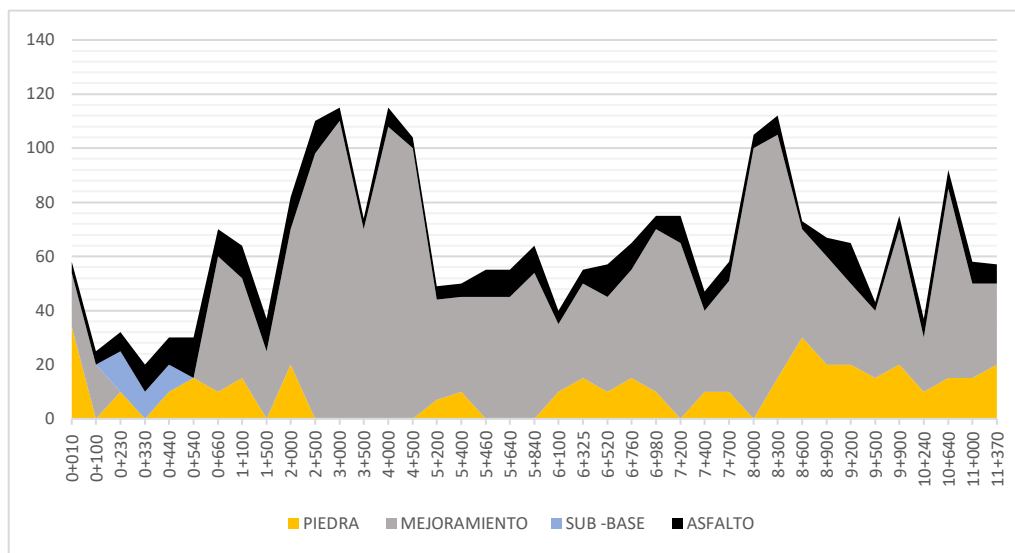
### 1.4.1.2 Condiciones Actuales de la Estructura del Pavimento.

Para la evaluación de las condiciones actuales del pavimento se realizaron calicatas con la finalidad de determinar los espesores y características de los materiales cuyos resultados se resumen a continuación:

**Tabla 1.** Resumen de espesores y tipologías.

ABSCISA	LADO	ESTRUCTURA EXISTENTE					
		ASFALTO	SUB -BASE	MEJORAMIENTO	PIEDRA	ADOQUIN	PROF DE LA CALICATA
0+010	L.D	4		20	34	10	68
0+100	L.C	5		20		10	58
0+230	L.I	7	15		10		55
0+330	L.D	10	10				34
0+440	LD	10	10		10		45
0+540	L.I	15			15		50
0+660	L.D	10		50	10		80
1+100	L.D	12		37	15		80
1+500	L.D	12		25			45
2+000	L.I	12		50	20		110
2+500	L.C	12		98			110
3+000	L.C	5		110			115
3+500	L.C	4		70			76
4+000	LD	7		108			115
4+500	L.D	4		100			110
5+200	L.D	5		37	7		47
5+400	L.D	5		35	10		60
5+460	L.C	10		45			55
5+640	L.I	10		45			56
5+840	L.D	10		54			64
6+100	L.C	5		25	10		55
6+325	LI	5		35	15		75
6+520	L.D	12		35	10		62
6+760	L.C	10		40	15		66
6+980	L.I	5		60	10		85
7+200	L.D	10		65			75
7+400	L.C	7		30	10		62
7+700	L.D	7		41	10		58
8+000	L.I	5		100			105
8+300	L.D	7		90	15		112
8+600	L.I	3		40	30		77
8+900	L.D	7		40	20		120
9+200	L.D	15		30	20		75
9+500	L.D	3		25	15		57
9+900	L.I	5		50	20		94
10+240	L.D	7		20	10		45
10+640	L.I	7		70	15		120
11+000	L.D	8		35	15		70
11+370	L.I	7		30	20		80

**Fuente:** Proyecto Rehabilitación vial Conocoto-Amaguaña 2018-2019 Quito-Ecuador



**Figura 3.** Resumen de espesores de capas existentes

**Fuente:** Proyecto Rehabilitación vial Conocoto-Amaguaña 2018-2019 Quito-Ecuador

El gráfico anterior se puede evidenciar de manera general que el material clasificado como mejoramiento y subbase tiene un espesor superior a 50cm, salvo el tramo comprendido entre el inicio del proyecto (Abs 0+000) hasta el km 1+000, en donde el material existente es menor. Estos espesores identificados son necesarios para poder evaluar el número estructural que sería provisto mediante la evaluación de los pavimentos, ya que dicho material es considerado que provee un aporte estructural al pavimento.

## 1.4.2 Estudio de Tráfico.

### 1.4.2.1 Tráfico.

El tráfico actual tiene un crecimiento normal que se presenta con y sin el mejoramiento de la vía; también sufre un incremento por atracción de vehículos que circulaban por otras vías y que se transfieren a la obra una vez que se encuentre rehabilitada; por último, este tráfico actual crece por cambios en el modo de viajar al existir una vía de mejores condiciones de operación, que la ruta existente. Las condiciones para realizar los aforos son las siguientes:

El aforo de tráfico, por tener características de vía de mediano volumen de tráfico, se hará mediante el conteo manual de los vehículos que regularmente transitan por la vía.

El aforo se hizo registrando el tráfico por ambos sentidos de circulación de la vía en estudio.

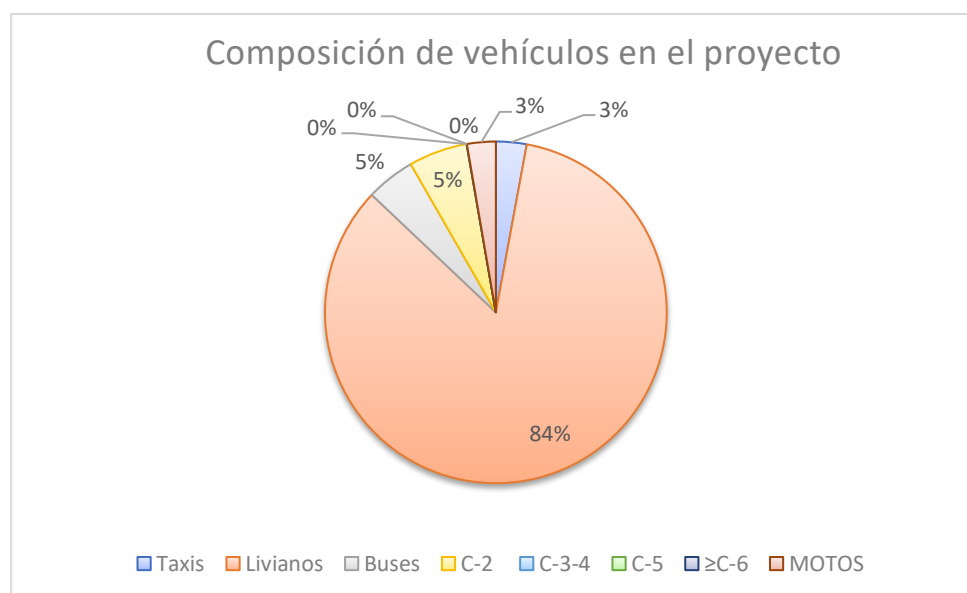
Se registró además la composición del tráfico, para proporcionar información para el diseño de pavimentos.

Se ubicará una estación en un punto central del proyecto la misma que resulta imprescindible debido a que en esta estación se presentan desvíos de dos tipos: vehículos que abandonan la vía en estudio y automotores que se incorporan al TPDA de la vía Conocoto – Amaguaña.

**Tabla 2 . Conteo Vehicular**

	Taxis	Livianos	Buses	C-2	C-3-4	C-5	≥C-6	MOTOS
18/06/2017	249	7223	398	476	2	1	0	233
19/06/2017	278	7507	409	479	1	0	0	240
20/06/2017	220	7843	399	474	1	0	0	254
22/06/2017	280	6854	310	317	0	0	0	252
<b>TOTAL</b>	1027	29427	1516	1746	4	1	0	979
<b>TPD</b>	258	7333	376	431	1	0	0	245

**Fuente:** Proyecto Rehabilitación vial Conocoto Amaguaña 2018-2019 Quito-Ecuador



**Figura 4.** Composición de vehículos en el proyecto

**Fuente:** Proyecto Rehabilitación vial Conocoto Amaguaña 2018-2019 Quito-Ecuador

### **1.4.3 Tasas de Crecimiento.**

Es necesario indicar que el pronóstico de tráfico es usualmente empleado para el diseño de la capa de rodadura de un pavimento. Las variables a considerarse son las siguientes:

- Parque Automotor Provincia de Pichincha
- Consumo de Combustible
- Población
- PIB (Producto Interno Bruto)

#### ***1.4.3.1 Parque automotor de la provincia de Pichincha.***

El parque automotor está constituido por todos los vehículos que circulan por las vías de la provincia, entre los que encontramos automóviles particulares, vehículos de transporte público y vehículos de transporte de carga. El Proyecto en estudio se encuentra ubicado en la Provincia de Pichincha, razón por la cual en base a información consultada en el INEC (Instituto Nacional de Censos y Estadísticas) se puede obtener el primer valor de referencia para el cálculo de la tasa de crecimiento vehicular.

#### ***1.4.3.2 Consumo de combustible.***

En lo que corresponde al consumo de combustibles los únicos datos que se tabulan son los proporcionados por la Agencia de Regulación y Control Hidrocarburífero (ARCH), los cuales han sido comparados con datos de Petrocomercial, existiendo una pequeña variación. Estos valores corresponden al consumo de diesel y gasolina (súper y extra) de la provincia de Pichincha desde el año 1994 hasta el año 2005.

#### ***1.4.3.3 Población.***

Para la población de la provincia de Pichincha, los datos se obtuvieron en la página electrónica del INEC y se pudo encontrar valores que se encuentran comprendidos entre los años 2010 y 2020. El cálculo del índice de crecimiento de la población fue obtenido de manera similar como se lo obtuvo en el parque automotor y consumo de combustibles.

#### ***1.4.3.4. Producto interno bruto (PIB).***

El PIB es una medida macroeconómica que expresa el valor monetario de la producción de bienes y servicios de un país durante un período determinado de tiempo (normalmente un año).

Por lo tanto, la estimación de tasa de crecimiento según los parámetros presentados.

**Tabla 3.** Tasas de Crecimiento en función de varios factores 2017.

Variable	Tasa de crecimiento
Parque automotor Provincia de Pichincha	22.79%
Consumo de Combustible Provincia de Pichincha	18.63%
Población de Pichincha	15.31%
Producto Interno Bruto (A nivel nacional)	4.51%

**Fuente:** Proyecto Rehabilitación vial Conocoto Amaguaña 2018-2019 Quito-Ecuador

La tasa de crecimiento de 15.31% se la establece para cada tipo de vehículo, debido a:

El 90% del universo del estudio corresponde a vehículos livianos.

Se considera la misma tasa para vehículos pesados ya que se asume un incremento en el comercio, población y producción.

La diversidad de vehículos pesados que circulan por la vía hace complejo obtener una tasa de crecimiento para cada tipo individualmente.

Finalmente, para obtener ya el TPDA de diseño de deben transformar los vehículos livianos, buses y pesados a vehículos equivalentes para lo cual utilizamos como referencia las tablas del Highway Manual Capacity, obteniendo el cuadro siguiente:

**Tabla 4.** Valores de TPDA en vehículos livianos equivalentes 2017

TPDA	LIVIANOS	BUSES	PESADOS
TPDA (SEGÚN CONTEO VEHICULAR)	8039.00	384.00	443.00
FACTOR (PARA VEHICULOS LIVIANOS EQUIVALENTES)	1.00	1.60	2.00
TOTAL	8039.00	614.00	886.00

**Fuente:** Proyecto Rehabilitación vial Conocoto Amaguaña 2018-2019 Quito-Ecuador

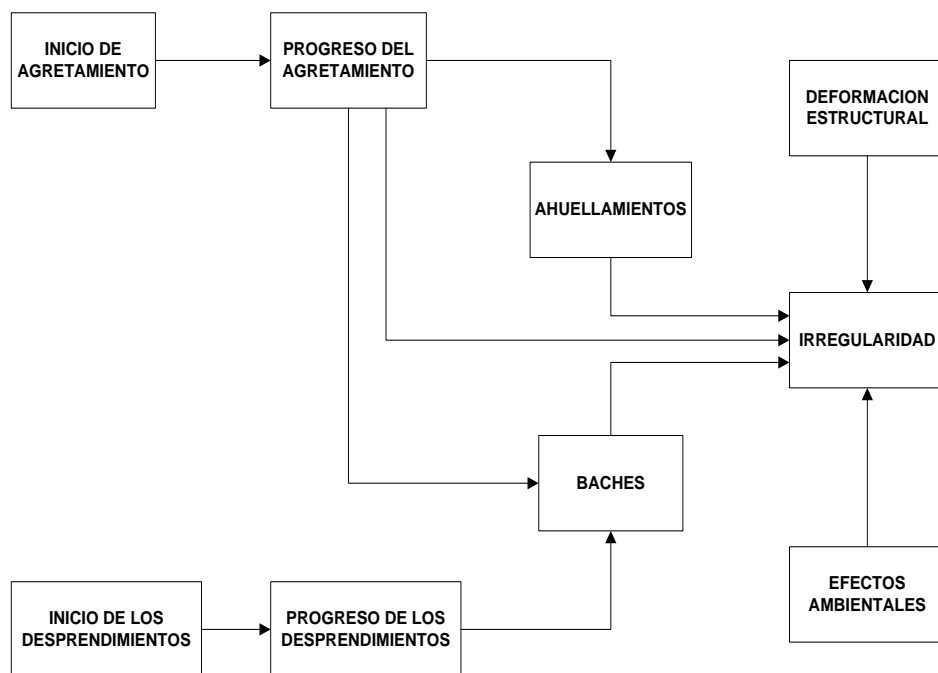
El pronóstico del volumen y composición del tráfico se basa en el tráfico tomados en el año 2017 por se hace una proyección a 10-20 años y el crecimiento del tráfico generado por el desarrollo y también cabe mencionar su crecimiento normal.

## 2. MARCO TEORICO

### 2.1. Gestión de Mantenimiento de Pavimentos Asfálticos

La infraestructura vial en todos los continentes, esta pavimentada a base de asfalto. El asfalto ha ganado prestigio en la construcción de carreteras esto por su bajo costo de mantenimiento y facilidad de reutilización.

El asfalto al estar en funcionamiento, envejecer muestra signos de deterioro y desgaste, si se deja sin atención, el deterioro desemboca en inseguridad para el usuario, problemas de conservación y eventualmente el pavimento llegara a dañarse por completo, mismos que para su reparación tendría que hacer costosas inversiones, el deterioro del pavimento comienza inmediatamente después de su construcción.



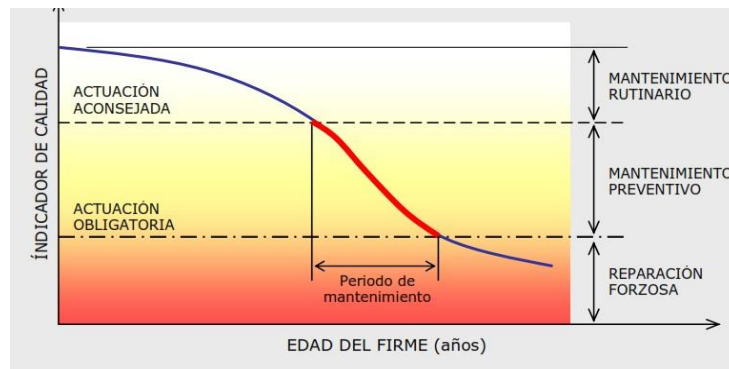
**Figura 5.** Deterioro de Carpetas Asfálticas

**Fuente:** MTOP

Por lo señalado; es importante el mantenimiento, rehabilitación o renovación estructural de las vías; dentro del cual se pueden realizar diversos tipos de trabajos que van desde un mantenimiento rutinario hasta la reconstrucción misma de la vía; pero procurando siempre, no llegar a trabajos de rehabilitación en corto tiempo ya que son costosos, esto se logra si se realiza un correcto mantenimiento periódico y un plan de conservación vial apropiado, a continuación



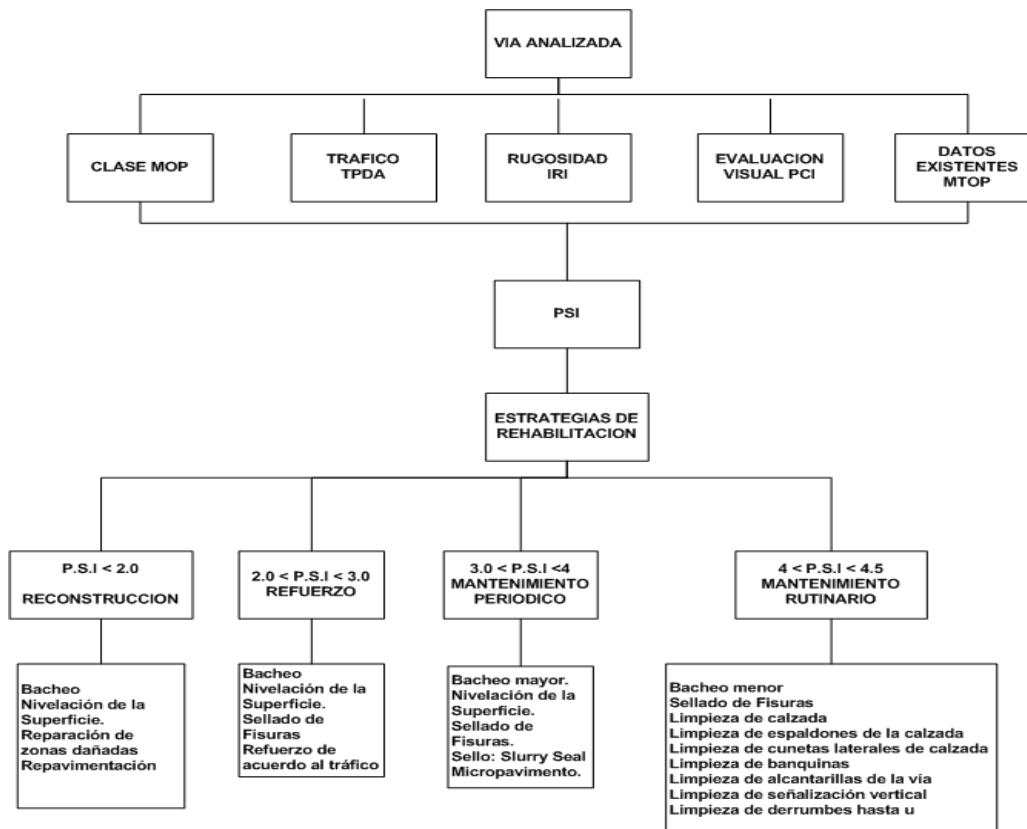
se presenta un gráfico del ciclo deseable de conservación vial, donde se establece las actividades de planear, ejecutar y controlar para mantener los niveles de servicio mínimos sin tener que llegar a una reparación forzosa.



**Figura 6.** Curva de Mantenimientos por indicador de Calidad

**Fuente:** Manual de Carreteras TOMO 2 Pág. 25-11 – Luis Bañón Blázquez –Jose Brevía.

**2.1.1. Mantenimiento Vial**



**Figura 7.** Estrategias de Mantenimiento en vías pavimentadas según su índice de servicio

**Fuente:** Pavement Condition Index (Pci) De Concreto En Carreteras, Ing. Luis Ricardo Vásquez Varela, Manizales febrero 2012

Preservar la inversión de capital realizada en la construcción de carreteras existentes, proveer adecuados niveles de seguridad conveniencia y comodidad a los usuarios de la arteria Conocoto-Amaguaña.

Defender el parque automotor ya que el buen estado de las carreteras permitiría una operación y explotación económica de los vehículos motorizados. Prolongar la vida útil de los pavimentos, con intervenciones oportunas y de menor valor (MOP-001.2002).

#### ***2.1.1.1. Mantenimiento Rutinario.***

La reparación mínima de la carretera o trabajos que permitan conservar y mantener un buen estado de servicio.

#### ***2.1.1.2. Mantenimiento Periódico.***

Se refiere a trabajos mayores, que se requiere en forma continua y que tienen como fin únicamente reponer las propiedades iniciales del trabajo, que se han perdido debido a y agentes externos.

#### ***2.1.1.3. Trabajos de Emergencia.***

Trabajos que normalmente debido a las fuerzas de la naturaleza o ambientales se requiere para corregir problemas en la vía y permitir eventualmente la normal circulación.

#### ***2.1.1.4. Trabajos de mejoramiento.***

Comprenden trabajos, producto de estudios especiales que tienen como objeto agregar nuevas características que no estaban previstas en el diseño original.

#### ***2.1.1.5. Rehabilitación Vial.***

Son trabajos de magnitud y más costosos, que sirven para recuperar el nivel de servicio y la estructura de la vía.

##### ***2.1.1.5.1. Recuperación de asfalto existente***

El reciclado y la recuperación son todas aquellas técnicas en las que se tratan materiales que han sido empleados para cualquier tipo de aplicación para su posterior reutilización. La recuperación de asfalto es una técnica cuyo objetivo fundamental es transformar un pavimento deteriorado en una estructura homogénea con una mejor capacidad estructural para soportar los esfuerzos a los que se ve sujeta en su vida útil mediante la utilización de agentes emulsificantes. en este caso particular se realizará una recuperación de asfalto existente en frío y a su vez en sitio.

### 2.1.1.5.2. Base Estabilizada

Una base estabilizada está compuesta de suelo o agregados, agua y material estabilizador que en este caso será una emulsión de ruptura lenta Tipo CSS-1H para lograr una base homogénea de mejor desempeño logrando aumentar las propiedades mecánicas del suelo capaz de tolerar las cargas sometidas en el diseño (MOP-001.2002).

### 2.1.2. Maquinaria para Mantenimientos Viales

**Tabla 5.** Equipo Mínimo para mantenimiento vial.

TRABAJO	EQUIPO	DESCRIPCION
Fresado	Máquina fresadora de pavimentos asfálticos	El trabajo es de triturar los sectores afectados de capa de rodadura, con un espesor graduable, y a través de una banda transportadora desalojar hacia camiones que tendrán la misma velocidad de la máquina.
Imprimación/ Riego de Liga	Distribuidor de asfalto	El distribuidor de asfalto se encargará de transportar la emulsión desde el punto donde se lo fabrica hasta la obra con un caldero para mantener la temperatura de la emulsión y no perder las propiedades mecánicas del ligante.
Conformación de base	Motoniveladora	La motoniveladora es una máquina para la construcción vías, esta máquina tiene una cuchilla en debajo de la cabina para nivelar el terreno y frente a sus dos ejes tiene unos escarificadores, más conocidos como uñas; las cuales sirven para despedazar materiales resistentes.
Compactación	Rodillo liso vibratorio	Esta máquina es fundamental para la compactación de subbases y bases, también son muy útiles para el sellado de capas siempre y cuando no se active la vibración
Tendido de asfalto	Terminadora de asfalto	La terminadora de asfalto más conocida como “finisher” es la encargada de distribuir el asfalto y de igual manera le da forma con una autopropulsión. Esta máquina tiene la capacidad de darle una altura y un ancho a la carpeta asfáltica.
Hidratación	Tanquero cisterna	El tanquero cisterna o de agua es indispensable para la rehabilitación de vías puesto que se necesita hidratar la capa de sub-base o base para proceder a su compactación, otra aplicación del tanquero de agua es para controlar el polvo generado por la colocación del material pétreo.
Compactación	Rodillo neumático	Este equipo compactador utiliza llantas suaves como rodillos y simulan la carga de los autos, los cuales son apropiados para compactar materiales tanto cohesivos, como no cohesivos. Son vitales para sellar carpetas asfálticas y también para darle un buen terminado.

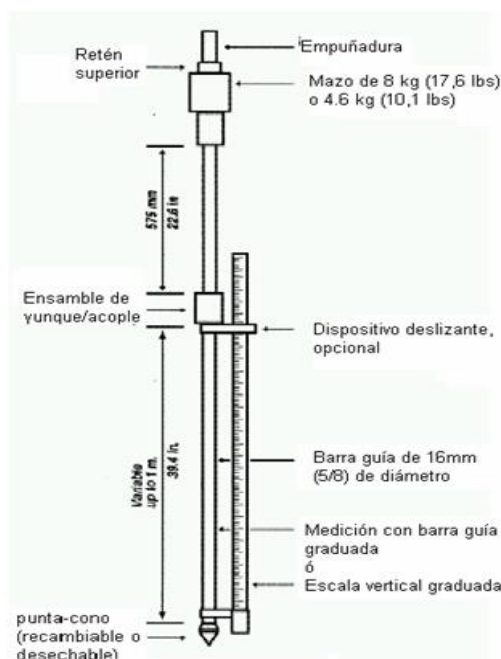
**Fuente.** Elaboración Propia

### 3. DISEÑO DEL PAQUETE ESTRUCTURAL

#### 3.1. Análisis del estado actual del paquete estructural

##### 3.1.1 Cálculo de la Capacidad de Soporte de California (CBR) a partir de Cono Dinámico de Penetración (DCP).

Mediante la identificación de inestabilidad en varios tramos por las fallas observadas en pavimento se determina la realización de calicatas cada 250 m en secuencia transversal; en lado derecho, medio carril y lado izquierdo. Este método de ensayo se usa para evaluar la resistencia en el sitio de suelos inalterados y/o compactados. La razón de penetración del DCP de 8 kg puede ser usada para estimar el CBR in situ (Razón de Soporte de California), para identificar espesores de capas, la resistencia al corte de estratos de suelo y otras características de los materiales. Este instrumento se usa comúnmente para evaluar las propiedades de materiales ubicados hasta 1000 mm (39”) por debajo de la superficie. La profundidad de penetración puede ser aumentada usando extensiones de barras. Sin embargo, en caso de que se usen extensiones de barras, debe tenerse cuidado a la hora de utilizar los cuadros de correlación para estimar otros parámetros, ya que estas correlaciones sólo son aptas para configuraciones específicas de DCP. La masa y la inercia del dispositivo cambiarán y se producirá fricción por contacto superficial de las extensiones de las barras (Kleyn, 1975).



**Figura 8.** DCP Penetrómetro Dinámico de Cono de 8kg

**Fuente:** Kleyn, E. G., and Savage, P. F.

En el presente proyecto se ejecutó el ensayo de DCP, en toda la longitud del proyecto, a continuación, se muestra el cuadro de resultados para el tramo 6+100 (centro de carril) es importante mencionar que el espesor de todas las calicatas fue de 55 cm.:

**Tabla 6.** Ensayo DCP para tramo 6+100

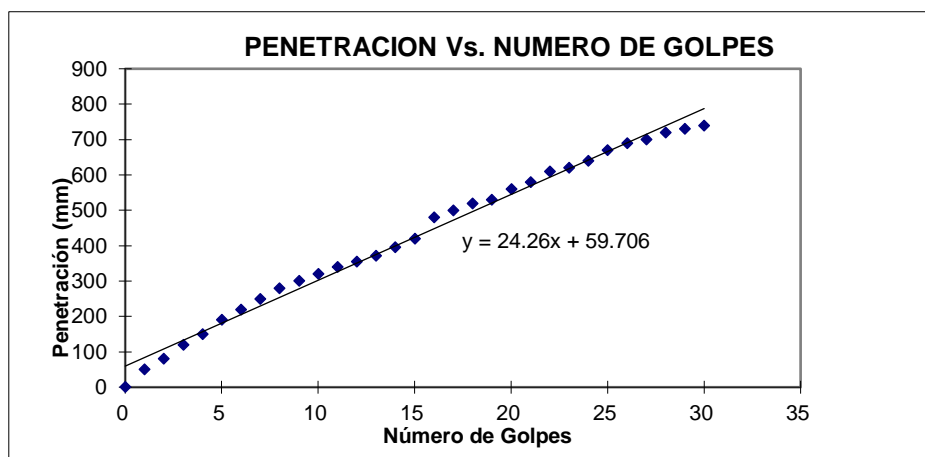
Golpes Acumulados	Penetración (mm)	Lectura (cm)
0	0.00	74.00
1	50.00	69.00
2	80.00	66.00
3	120.00	62.00
4	150.00	59.00
5	190.00	55.00
6	220.00	52.00
7	250.00	49.00
8	280.00	46.00
9	300.00	44.00
10	320.00	42.00
11	340.00	40.00
12	355.00	38.50
13	372.00	36.80
14	395.00	34.50
15	420.00	32.00
16	480.00	26.00
17	500.00	24.00
18	520.00	22.00
19	530.00	21.00
20	560.00	18.00
21	580.00	16.00
22	610.00	13.00
23	620.00	12.00
24	640.00	10.00
25	670.00	7.00
26	690.00	5.00
27	700.00	4.00
28	720.00	2.00
29	730.00	1.00
30	740.00	0.00

**Fuente:** Proyecto Rehabilitación vial Conocoto-Amaguaña 2018-2019 Quito-Ecuador

**Tabla 7.** Resumen de Golpes y Transformaciones de tramo 6+100

CALCULO DEL VALOR CBR CONOCIENDO mm/golpe					
(mm/golpe)	Log (mm/golpe)	Recta	CBR	CBR Medio	
24.26	1.38	0.95	8.9	8.5	Kleyn 1975
24.26	1.38	0.84	7.0		Kleyn and Van Heerden 1983
24.26	1.38	0.98	9.5		Harrison 1987

**Fuente:** Proyecto Rehabilitación vial Conocoto-Amaguaña 2018-2019 Quito-Ecuador

**Figura 9.** Ensayo DCP Penetración-número de golpes para el tramo 6+100

**Fuente:** Proyecto Rehabilitación vial Conocoto-Amaguaña 2018-2019 Quito-Ecuador

En primer lugar, se saca el logaritmo de la pendiente de la recta obtenida en la Figura 9, en donde se resume los datos de penetración y número de golpes.

$$\log(24.26) = 1.38 \quad (1)$$

Como se muestra en la Tabla 7 el valor calculado del CBR in situ (Razón de Soporte de California), está definido por el uso de 3 métodos el primero establecido por Kleyn:

$$Recta = -1.2865 * \text{Log} \left( \frac{mm}{golpe} \right) + 2.73 \quad (2)$$

Se reemplaza por el dato calculado en la ecuación (1):

$$-1.2865 * 1.38 + 2.73 = 0.95 \quad (3)$$

Para finalizar este método y obtener el CBR se aplica la siguiente fórmula:

$$10^{0.95} = 8.9 \quad (4)$$

Por el método Kley y Van Heerden se tiene la siguiente ecuación:

$$Recta = -1.314 * \text{Log} \left( \frac{mm}{golpe} \right) + 2.6637 \quad (5)$$

Se reemplaza de igual manera el valor calculado en la ecuación (1):

$$-1.314 * 1.38 + 2.6637 = 0.84 \quad (6)$$

$$10^{0.84} = 7.0 \quad (7)$$

Y el último método que se aplica es el de Harrison:

$$Recta = -1.31 * \text{Log} \left( \frac{mm}{golpe} \right) + 2.7929 \quad (8)$$

$$-1.31 * 1.38 + 2.7929 = 0.98 \quad (9)$$

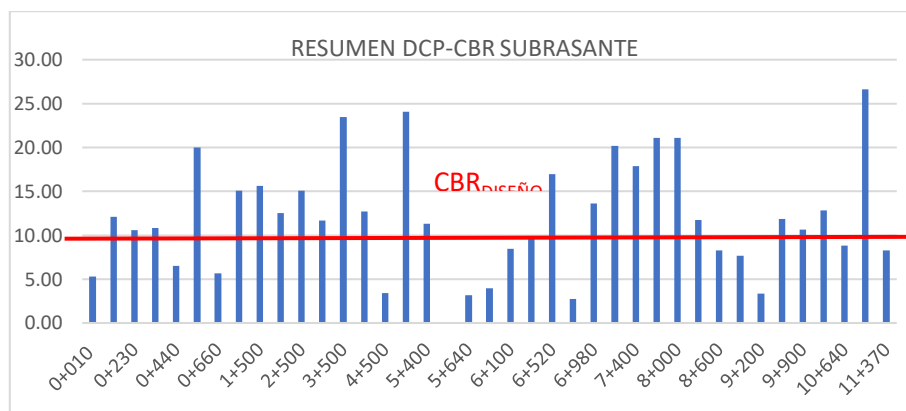
$$10^{0.98} = 9.5 \quad (10)$$

Para reducir el error estadístico aplicado en los 3 métodos sacamos un promedio de los resultados de CBR:

$$\frac{8.9 + 7.0 + 9.5}{3} = 8.5 \text{ CBR}_{medio} \quad (11)$$

### 3.1.2 Evaluación del índice de soporte CBR de campo

En las calicatas se realizaron ensayos del cono dinámico de penetración para ser correlacionado al valor de soporte CBR como se resume a continuación:

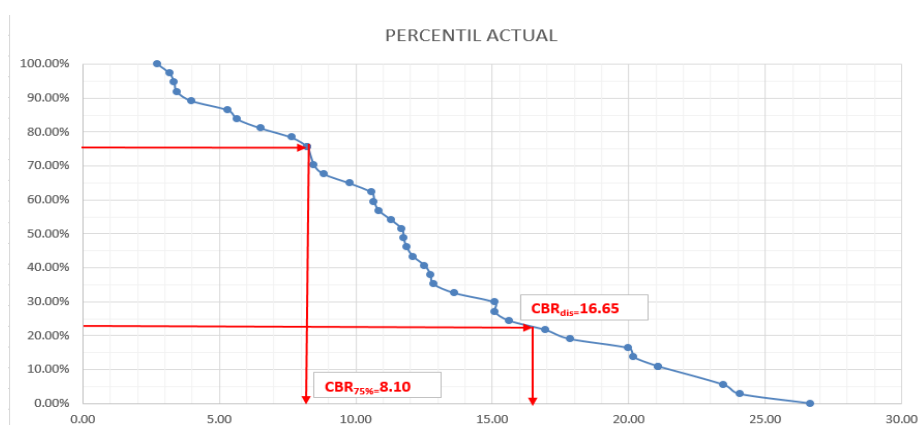


**Figura 10.** Resumen de DCP-CBR (subrasante)

**Fuente:** Proyecto Rehabilitación vial Conocoto-Amaguaña 2018-2019 Quito-Ecuador

El grafico anterior se identifica que los valores de CBR actuales difieren a los considerados en los diseños, probablemente debido a diferencia de contenido de humedad a la cual se realizó el ensayo durante la etapa de estudios y la actual.

Aplicando los criterios del Diseño de percentil (75%) para establecer el CBR de diseño para la determinación del número estructural ( $S_n$ ), se procedió a un ordenamiento de los resultados determinándose que el CBR al 75% de ocurrencia es 8.1%, valor muy por debajo del estimado del diseño original.



**Figura 11.** Resumen Percentil actual

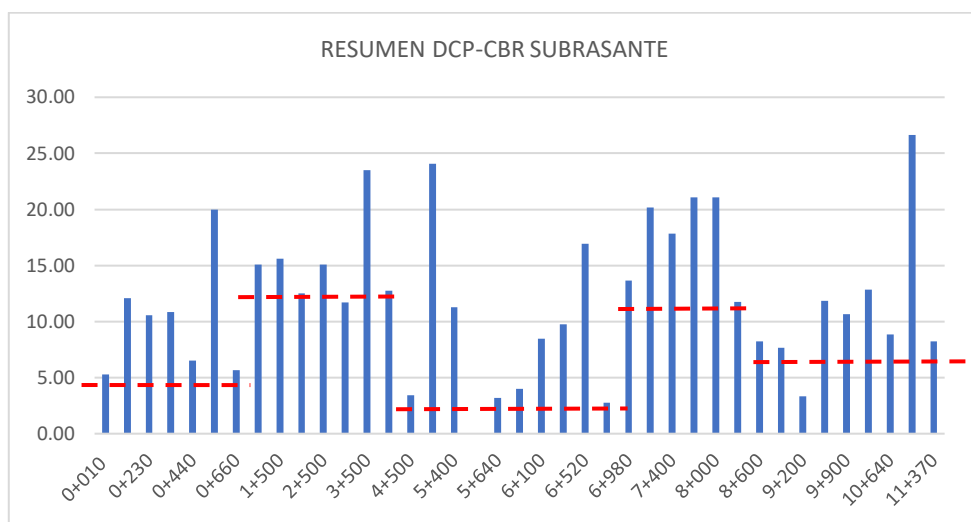
**Fuente:** Proyecto Rehabilitación vial Conocoto-Amaguaña 2018-2019 Quito-Ecuador

Aplicando el CBR actual determinado, la estructura del pavimento propuesta por el diseño inicial estaría sub-dimensionada, justificando los problemas presentados durante la ejecución en cuanto se refiere a las deformaciones lo cual además repercutiría en una pérdida de nivel de servicio anticipada, reduciéndose así la vida útil del pavimento.

Por la problemática identificada se ha procedido a una discriminación por tramos, de manera que una vez que se evalué el aporte al número estructural del pavimento del material granular de mejoramiento y sub-base, se pueda determinar la necesidad de reforzar o no el paquete del pavimento en cada tramo, optimizándose así los recursos del proyecto.

Los tramos propuestos para evaluación del paquete del pavimento en función del CBR se resumen a continuación: a) 0+000 – 1+000; b) 1+000 – 4+000; c) 4+000 – 6+800; d) 6+800 – 8+500; e) 8+500 – 11+370

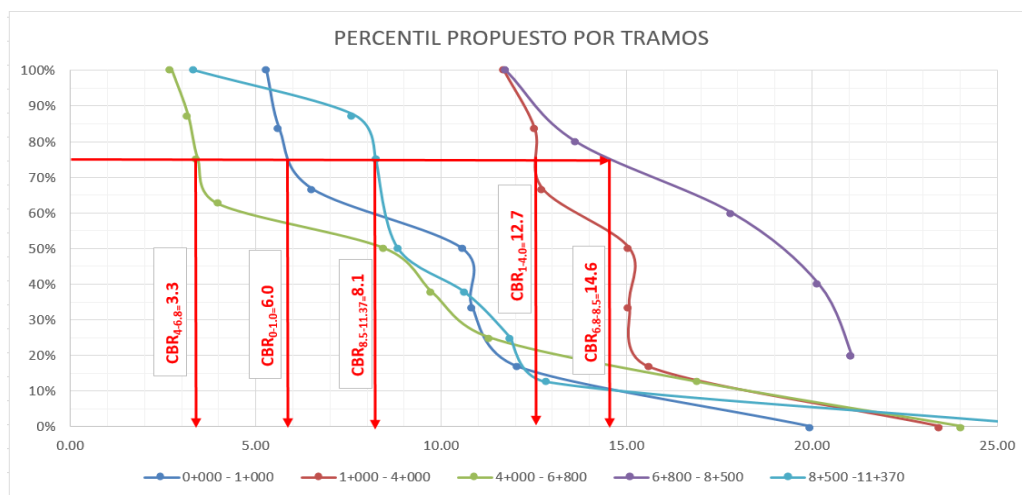




**Figura 12.** Resumen DCP-CBR (subrasante)

**Fuente:** Proyecto Rehabilitación vial Conocoto-Amaguaña 2018-2019 Quito-Ecuador

Aplicando los criterios del estudio se procede a la determinación del CBR de diseño por tramo.



**Figura 13.** Resumen percentil propuesto por tramos

**Fuente:** Proyecto Rehabilitación vial Conocoto-Amaguaña 2018-2019 Quito-Ecuador

### 3.1.3 Cálculo del número estructural.

Como paso previo para la evaluación del pavimento, fue necesario partir de los criterios y parámetros de los diseños, los cuales se resumen a continuación:

### **3.1.3.1 Desviación Estándar.**

La desviación normal de error es un valor que interpreta la variabilidad esperada de la predicción del tránsito y de otros parámetros que afectan el comportamiento del pavimento, la guía AASHTO (1993) sugiere tomar un valor de 0.45 para pavimentos flexibles.

### **3.1.3.2 Confiabilidad.**

La confiabilidad está directamente relacionada a la desviación estándar, para un valor de 0.45 se debe adoptar un porcentaje de confiabilidad del 95% y está relacionada al error asociado a la predicción del desempeño del pavimento.

### **3.1.3.3 Índice de servicio terminal.**

Es el valor mínimo del índice de servicio que para un pavimento flexible los valores usuales varían entre 1.5 a 3.0 en este caso al ser una arteria se consideró un valor de 2.0

### **3.1.3.4 Índice de servicio inicial.**

Es el valor de servicio de un pavimento que se va a estrenar por una construcción o rehabilitación para pavimentos flexibles el valor es de 4.0

### **3.1.3.5 Coeficientes estructurales de capa.**

Para determinar estos valores se utilizaron los ábacos que se encuentran en AASHTO (1993) para valores promedios para los coeficientes estructurales los son propuestos por el estudio del Proyecto Rehabilitación vial Conocoto-Amaguaña 2018-2019 Quito-Ecuador:

- Mezcla asfáltica densa caliente = 0.43
- Base granular = 0.13
- Sub-base = 0.11
- Piedra = 0.1
- Recuperación de asfalto existente = 0.31 (AASHTO M208)

### **3.1.3.6 Módulo Resiliente efectivo**

Es el módulo resiliente promedio que se transforma en una fatiga del pavimento. Debido a que se relaciona con el CBR y este muy disperso en el Figura 13 se muestra el resumen de los CBR por tramo en base a eso valores se calculará el Módulo Resiliente efectivo mediante la siguiente fórmula:

$$MR = 15000 * CBR \text{ psi } (CBR < 10\%) \quad (12)$$

$$MR = 3000 * CBR^{0.65} (10\% < CBR < 20\%) \quad (13)$$

### 3.1.3.7 Drenaje

Este valor va a depender de la capacidad del drenaje de la vía, que se determina en base al tiempo que tarda el agua en ser evacuada por ende va a depender mucha de la configuración del confinamiento esto quiere decir si es que tiene cunetas para evacuar. Para el proyecto se utilizó el valor de 1 debido a que si se tiene cunetas y hay un buen drenaje.

### 3.1.3.8 ESAL'S

Es un parámetro empírico que da paso al tránsito real en aplicaciones equivalentes del eje de referencia para el diseño de pavimentos flexibles. En base al TPDA dispuesto se calculó el factor de ejes equivalentes dando como resultado un valor de 8'347,265.77 obtenido del estudio de la vía Proyecto Rehabilitación vial Conocoto-Amaguaña 2018-2019 Quito-Ecuador

### 3.1.3.9 Número Estructural (SN)

El diseño de un pavimento flexible se fundamenta en hallar el número estructural que tenga la capacidad de tolerar el nivel de carga solicitado y este es hallado por el método multicapa. Se determino varios números estructurales según la tipología del suelo en los distintos tramos.

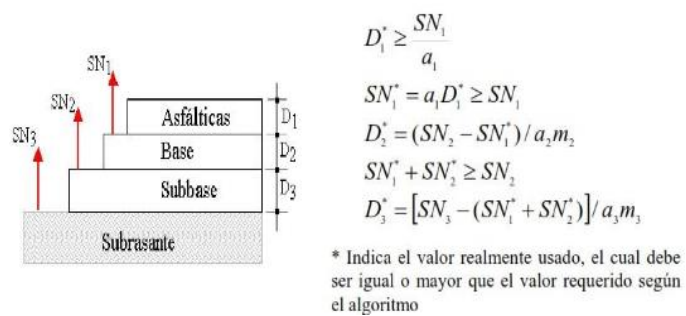
**Tabla 8.** Cálculo de Número Estructural (SN) Método AASHTO (1993), Pavimento Flexible.

#### SN Determination

Design Inputs			
W18 =	8 347 266	ESALs Applications Over Design Period	Typ. Range 0.1 to 80 million
R =	90 %	Reliability	Typ. Range 80 to 95%
So =	0.45	Standard Deviation	Typ. Range 0.3 to 0.5
MR =	9 000 psi	Subgrade Resilient Modulus	Typ. Range 3000 to 9000 psi
Pi =	4	Initial Serviceability	Typ. Range 4.4 to 4.8
CBR-DCP=	6	CBR por tramo	
Pt =	2	Terminal Serviceability	Typ. Range 2.0 to 3.0

DESIGN SN = 4.35

**Fuente.** Elaboración Propia



**Figura 14.** Método de diseño para Pavimento Flexible

**Fuente:** AASHTO (1993)

**Tabla 9.** Resumen del paquete estructural actual y su diseño pertinente

ABSCISA	ESTRUCTURA EXISTENTE										COMPARACIÓN DE LA ESTRUCTURAL ACTUAL CON EL DISEÑO						
	ASFALTO (cm)	a1	m1	SUB - BASE (cm)	a2	m2	MEJORAMIENTO (cm)	PIEDRA (cm)	a3	m3	CBR SUBRASANTE	ESALS Diseño	CBR 75% por tramo (tramificado) Figura 13	SN requerido / tramo	SN de pavimento existente	$\frac{SN_{existente}}{SN_{requerido}}$	OBSERV.
0+010	4						20	34			5.30				3.5	79%	REFORZAR
0+100	5						20				12.10				2.4	56%	REFORZAR
0+230	7			15				10			10.57				3.0	69%	REFORZAR
0+330	10			10							10.85		6	4.35	3.0	68%	REFORZAR
0+440	10			10				10			6.53				3.3	77%	REFORZAR
0+540	15							15			19.98				3.9	91%	REFORZAR
0+660	10						50	10			5.65				4.7	108%	CUMPLE
1+100	12						37	15			15.08				4.7	132%	CUMPLE
1+500	12						25				15.61				3.8	105%	CUMPLE
2+000	12						50	20			12.53				5.4	150%	CUMPLE
2+500	12						98				15.08		12.7	3.6	6.4	177%	CUMPLE
3+000	5						110				11.69				5.6	156%	CUMPLE
3+500	4						70				23.48				4.0	112%	CUMPLE
4+000	7						108				12.73				5.9	163%	CUMPLE
4+500	4						100				3.44				5.1	96%	REFORZAR
5+200	5						37	7			24.06				3.3	62%	REFORZAR
5+400	5						35	10			11.29				3.3	63%	REFORZAR
5+460	10						45				8.56				4.2	79%	REFORZAR
5+640	10						45				3.17				4.2	79%	REFORZAR
5+840	10	0.434	1		0.11	0.95	54		0.1	0.9	3.98	8347266	3.3	5.28	4.5	85%	REFORZAR
6+100	5						25	10			8.46				2.9	56%	REFORZAR
6+325	5						35	15			9.77				3.5	66%	REFORZAR
6+520	12						35	10			16.93				4.5	85%	REFORZAR
6+760	10						40	15			2.74				4.5	85%	REFORZAR
6+980	5						60	10			13.63				4.2	120%	CUMPLE
7+200	10						65				20.19				4.9	140%	CUMPLE
7+400	7						30	10			17.84				3.5	100%	CUMPLE
7+700	7						41	10			21.08		14.6	3.48	3.9	111%	CUMPLE
8+000	5						100				21.08				5.3	151%	CUMPLE
8+300	7						90	15			11.75				5.8	166%	CUMPLE
8+600	3						40	30			8.24				3.8	98%	CUMPLE
8+900	7						40	20			7.64				4.2	106%	CUMPLE
9+200	15						30	20			3.33				5.2	132%	CUMPLE
9+500	3						25	15			11.86				2.8	71%	REFORZAR
9+900	5						50	20			10.66				4.2	107%	CUMPLE
10+240	7						20	10			12.84		8.1	3.93	3.1	79%	REFORZAR
10+640	7						70	15			8.83				5.1	129%	CUMPLE
11+000	8						35	15			26.64				4.0	102%	CUMPLE
11+370	7						30	20			8.24				3.8	97%	REFORZAR

**Fuente:** Proyecto Rehabilitación vial Conocoto-Amaguaña 2018-2019 Quito-Ecuador

Con los valores determinados de CBR por cada tramo, y los parámetros definitivos regidos por el diseño se procedió a la evaluación del número estructural (SN) provisto mediante el diseño, versus el requerido en función de los CBRs determinados en campo, definiendo una relación entre ambos que permita la toma de decisión para el reforzamiento de tramos según se muestra en el cuadro.

Para el análisis se adoptaron los coeficientes de la capa y de drenaje constantes en los estudios, así como también el tráfico convertido a ejes simples equivalentes ESAL's. Para recalcular el número estructural (SN) de la capa de recuperación de asfalto existente se realiza lo siguiente:

$$SN = \frac{D_4 * a_4 * m_4}{2.54 \text{ in}} \quad (14)$$

Para el cálculo del coeficiente  $a_4$  se utilizó la siguiente fórmula cumpliendo con la norma AASHTO (1993):

$$a_4 = 0.0074EM^{0.415} \quad (15)$$

Donde EM es la estabilidad Marshall obtenido en el diseño.

**Tabla 10.** Resumen del reforzamiento en los tramos críticos

ABSCISA	REFORZAMIENTO					
	ESPESOR RECUPERACIÓN DE ASFALTO	a4	m4	$\Delta SN_{\text{recal}}$	REFORZAMIENTO MEDIO.	OBSERV.
0+010	8	0.31	1	0.98	10.00	OK
0+100	16			1.95		OK
0+230	11			1.34		OK
0+330	12			1.46		OK
0+440	9			1.10		OK
0+540	4			0.49		OK
0+660				0.00	OK	
1+100				0.00	0.00	OK
1+500				0.00		OK
2+000				0.00		OK
2+500				0.00		OK
3+000				0.00		OK
3+500				0.00		OK
4+000				0.00	OK	
4+500	2			0.24	10.00	OK
5+200	17			2.07		OK
5+400	17			2.07		OK
5+460	10			1.22		OK
5+640	10			1.22		OK
5+840	7			0.85		OK
6+100	20			2.44	0.00	OK
6+325	15			1.83		OK
6+520	7			0.85		OK
6+760	7			0.85		OK
6+980				0.00		OK
7+200				0.00		OK
7+400	1			0.12	0.00	OK
7+700				0.00		OK
8+000				0.00		OK

8+300				0.00		OK
8+600	1			0.12		OK
8+900				0.00		OK
9+200				0.00		OK
9+500	10			1.22		OK
9+900				0.00	5.50	OK
10+240	10			1.22		OK
10+640				0.00		OK
11+000				0.00		OK
11+370	1			0.12		OK

**Fuente:** Proyecto Rehabilitación vial Conocoto-Amaguaña 2018-2019 Quito-Ecuador

Debido a que el reforzamiento del paquete del pavimento requeriría una intervención en profundidad en caso de considerarse la implementación de material granular de base, subbase o mejoramiento, con la consecuente desestabilización de la subrasante; se ha considerado la reutilización del material de fresado que inicialmente estaba considerado a ser removido en un espesor de 5cm, incrementados en un espesor adicional en los tramos a reforzarse según se requiera con material estabilizado con asfalto, concluyéndose que según el tramo, 10cm en total de reciclado con emulsión satisfacen los requerimientos de número estructural, como se muestra en el cuadro anterior y resume a continuación.

**Tabla 11.** Resumen del reforzamiento

TRAMO		PAQUETE REQUERIDO (cm)		OBSERVACIONES
DESDE	HASTA	CARPETA ASFALTICA	BASE ASFÁLTICA (RECICLADO EN FRIO)	
0+000	1+000	10	10	
1+000	4+000	10	0	
4+000	6+800	10	10	
6+800	8+500	10	0	
8+500	11+370	10	5	Al tener que reforzar un espesor de 5cm es necesario utilizar el rubro de base asfáltica mezclada en sitio

**Fuente:** Proyecto Rehabilitación vial Conocoto-Amaguaña 2018-2019 Quito-Ecuador

### 3.2. Sección Transversal Tipo.

La sección transversal tipo se muestra en la siguiente figura:

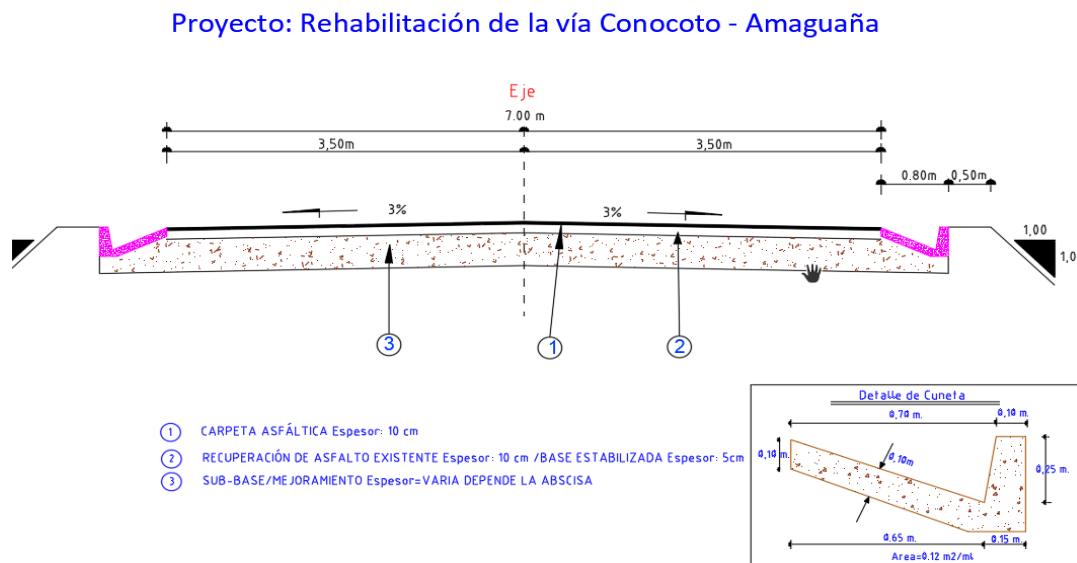


Figura 15. Sección Transversal Tipo

Fuente: Proyecto Rehabilitación vial Conocoto-Amaguaña 2018-2019 Quito-Ecuador

Respecto a la estructura del pavimento flexible, el diseño contempla la construcción del siguiente paquete estructural:

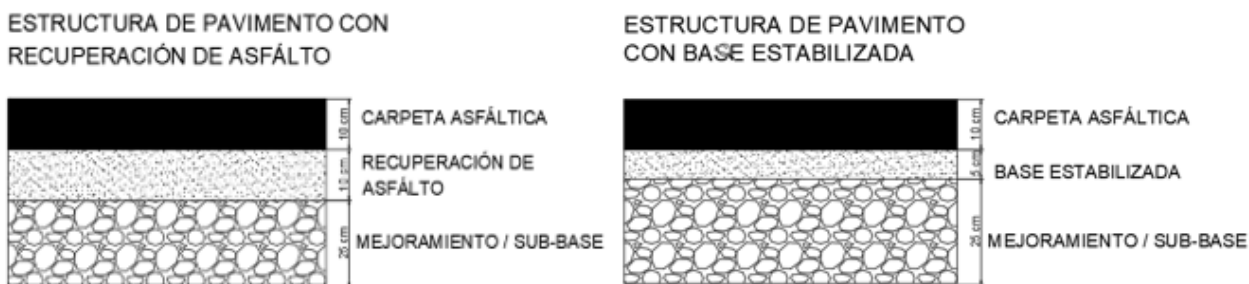


Figura 16. Sección Típica

Fuente: Proyecto Rehabilitación vial Conocoto-Amaguaña 2018-2019 Quito-Ecuador

### 3.3. Diseño de la Recuperación de Asfalto Existente

La metodología aplicada para el diseño está referenciada de acuerdo con el Manual Básico de Emulsiones Asfálticas MS-19, recomendada y aceptada por el MTOP (Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador). Las propiedades de los materiales, su dosificación y rangos tolerables han sido determinados conforme a los requerimientos del Manual de



Especificaciones Generales para construcción de Caminos y Puentes MOP-001-F-2002, sección 406.

### 3.3.1. Granulometría.

La granulometría de la base granular se puede apreciar en los siguientes cuadros.

**Tabla 12.** Muestras 1 y 2 para Granulometría

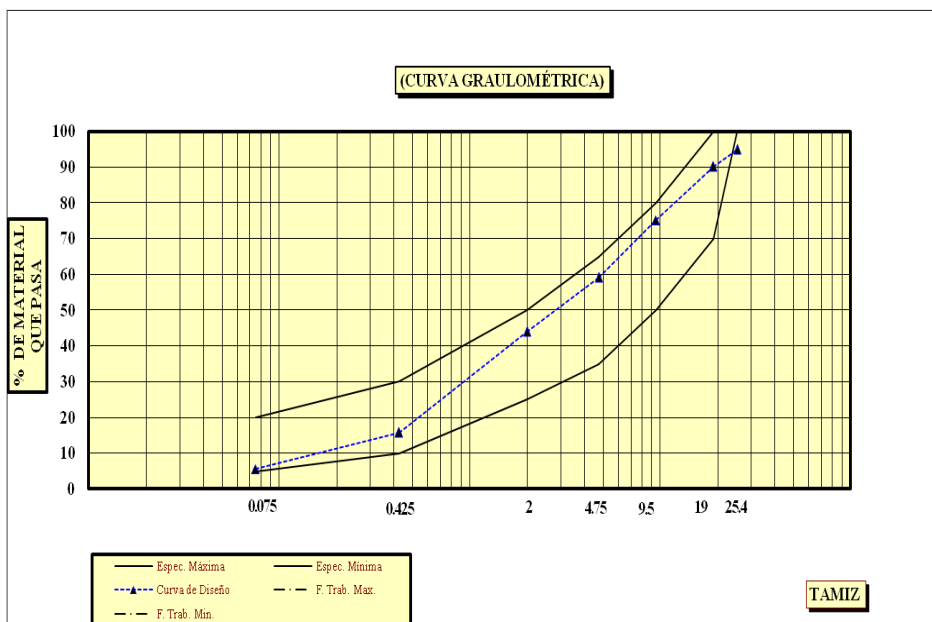
MUESTRA #1					MUESTRA #2				
TAMIZ	Abertura Tamices (mm)	Material acumulado (gr)	Material Pasa (%)		TAMIZ	Abertura Tamices (mm)	Material acumulado (gr)	Material Pasa (%)	
2"	50.80	0	0.00	100.00	2"	50.80	0	0.00	100.00
1 1/2"	38.10	0	0.00	100.00	1 1/2"	38.10	0	0.00	100.00
1"	25.40	169.27	6.30	93.70	1"	25.40	115.75	3.95	96.05
3/4"	19.00	279.17	10.39	89.61	3/4"	19.00	271.57	9.26	90.74
3/8"	9.50	708.57	26.38	73.62	3/8"	9.50	689.33	23.50	76.50
N4	4.76	1146.37	42.68	57.32	N4	4.76	1146.28	39.08	60.92
N10	2.00	1538.68	57.29	42.71	N10	2.00	1608.65	54.85	45.15
N40	0.425	2228.41	82.97	17.03	N40	0.425	2503.15	85.34	14.66
N200	0.075	2526.16	94.06	5.94	N200	0.075	2780.85	94.81	5.19
		2685.67	100.00	0.00			2933.08	100.00	0.00

**Fuente:** Proyecto Rehabilitación vial Conocoto-Amaguaña 2018-2019 Quito-Ecuador

**Tabla 13.** MOP-001-F-2002 (TABLA 406-6.01) TIPO C De Granulometría

TAMIZ	Abertura	Espec. Máxima	Espec. Mínima	Curva de Diseño	F. Trab. Max.	F. Trab. Min.	Tolerancias
#200	0.075	20	5	5.55			±3
#40	0.425	30	10	15.79			±5
#10	2	50	25	43.99			±6
#4	4.75	65	35	59.20			±7
3/8"	9.5	80	50	75.12			±7
3/4"	19	100	70	90.20			±8
1"	25.4	100	100	94.93			±8

**Fuente:** Proyecto Rehabilitación vial Conocoto-Amaguaña 2018-2019 Quito-Ecuador



**Figura 17.** Curva de Granulometría

**Fuente:** Proyecto Rehabilitación vial Conocoto-Amaguaña 2018-2019 Quito-Ecuador

### 3.3.2. Índice de Plasticidad (ASTM D-4318).

Índice de plasticidad de la muestra = N.P

### 3.3.3. Gravedad Específica y Absorción (ASTM 127 / 128).

**Tabla 14.** Gravedades específicas

GRAVEDADES ESPECÍFICAS	Retenido malla #4	Pasante malla #4
Gravedad Específica de la masa (kg/m <sup>3</sup> )	2.150	2.233
Gravedad Específica S.S.S (kg/m <sup>3</sup> )	2.220	2.253
Gravedad Específica Aparente (kg/m <sup>3</sup> )	2.313	2,280
Porcentaje de Absorción (%)	3.280	0.920

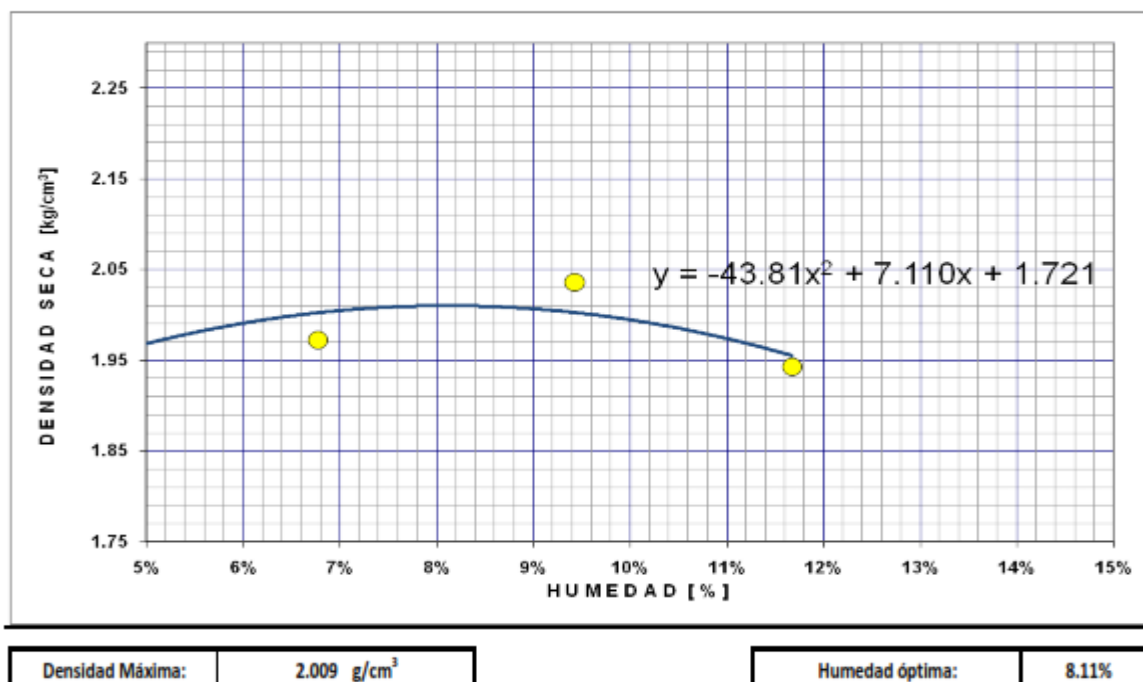
**Fuente:** Proyecto Rehabilitación vial Conocoto-Amaguaña 2018-2019 Quito-Ecuador.

### 3.3.4. Equivalente de Arena (ASTM C-241).

**Tabla 15.** Equivalente de arena Ensayo 1 y 2

Ensayo # 1		Ensayo # 2	
Lect. Arcilla =	3.7	Lect. Arcilla =	3.9
Lect. Arena =	2.4	Lect. Arena =	2.5
% Equiv. Arena=	64.86 %	% Equiv. Arena=	64.10 %
% Equiv. de Arena Prom. =		64.48 %	

**Fuente:** Proyecto Rehabilitación vial Conocoto-Amaguaña 2018-2019 Quito-Ecuador



*Figura 18.* Proctor modificado

**Fuente:** Proyecto Rehabilitación vial Conocoto-Amaguaña 2018-2019 Quito-Ecuador

*Tabla 16.* Ensayos en el residuo asfáltico

Requisito	Unidad	Norma Técnica	Mínimo	Máximo	Resultado	Aprobado
Residuo por Evaporación	% V	NTE INEN	60	---	61.	OK
Viscosidad Saybolt Furol (25°C)	SSF	NTE INEN	20	100	23.	OK
Ensayo del Tamiz #20	%	NTE INEN	---	0.1	0.0	OK
Estabilidad Almacenamiento	%	NTE INEN	---	1	0.4	OK
Estabilidad Asentamiento (5)	%	NTE INEN	---	5	4.1	OK
Carga de Partícula	---	NTE INEN	positiva		+	OK
Mezcla con Cemento	---	NTE INEN	---	2	0.	OK
ENSAYOS EN EL RESIDUO						
Penetración 25°C, 100 g, 5	1/10 mm	NTE INEN	40	90	6	OK
Ductilidad a 25°C, 5cm/minuto	cm	NTE INEN	40	---	4	OK
Solubilidad en Tricloroetileno	%	NTE INEN	97.5	---	98.40	OK

**Fuente:** Proyecto Rehabilitación vial Conocoto-Amaguaña 2018-2019 Quito-Ecuador

### 3.3.5. Porcentaje Teórico de Emulsión (MS-19 cap. 10.1.3).

Porcentaje de Emulsión MS-19

- % emuls.= 6.46 (Mezclas para bases)
- % emuls.= 8.84 (Mezclas para carpeta)

- A= 60 Porcentaje de asfalto Residual
- B= 57.60 Porcentaje que pasa del Tamiz #4
- C= 42.40 Porcentaje Retenido en el Tamiz #4

**Tabla 17.** Prueba de Recubrimiento (MS-19 cap. 10.1.6.1)

	PRUEBA # 1			PRUEBA # 2		
AGUA	5.7% de Agua.	5.7% de Agua.	5.7% de Agua.	5.7% de Agua.	5.7% de Agua.	5.7% de Agua.
EMULSIÓN	2% de Emul.	4% de Emul.	6% de Emul	2% de Emul.	4% de Emul.	6% de Emul
Recubrimiento	Pobre	Buena	Excelente	Pobre	Buena	Excelente

**Fuente:** Proyecto Rehabilitación vial Conocoto-Amaguaña 2018-2019 Quito-Ecuador

**Tabla 18.** Prueba de Adhesividad (MS-19 cap. 10.1.6.2)

	PRUEBA # 1			PRUEBA # 2		
AGUA	5.7% de Agua.	5.7% de Agua.	5.7% de Agua.	5.7% de Agua.	5.7% de Agua.	5.7% de Agua.
EMULSIÓN	2% de Emul.	4% de Emul.	6% de Emul	2% de Emul.	4% de Emul.	6% de Emul
Adhesividad	Pobre	Excelente	Buena	Pobre	Excelente	Buena

**Fuente:** Proyecto Rehabilitación vial Conocoto-Amaguaña 2018-2019 Quito-Ecuador

### 3.3.6. Procedimiento para el Diseño de Mezcla Marshall (MS-19 cap. 10.1.7).

Para la compactación de las briquetas, se realizaron mezclas con el 2%, 4%, 6% de emulsión asfáltica y para cumplir con el porcentaje óptimo de compactación, se añadió el 6.9%; 5.7% y 4.5% de agua de pre-humectación respectivamente. Por cada porcentaje de emulsión se hicieron tres especímenes, todos los especímenes fueron compactados con 50 golpes en cada lado por medio del martillo Marshall, como se describe en la sección 10.1.6.2 del Manual Básico para Emulsiones MS-19. Para realizar el ensayo Marshall, las briquetas deben permanecer sumergidas en Baño María a una temperatura de 25°C, durante 2 horas antes de colocarlas en la Prensa Marshall. Como se muestra en la siguiente imagen:



**Figura 19.** Ensayo Marshall (extracción 1)

**Fuente:** Proyecto Rehabilitación vial Conocoto-Amaguaña 2018-2019 Quito-Ecuador



**Figura 20.** Ensayo Marshall (probetas)

**Fuente:** Proyecto Rehabilitación vial Conocoto-Amaguaña 2018-2019 Quito-Ecuador



**Figura 21.** Ensayo Marshall (baño a María)

**Fuente:** Proyecto Rehabilitación vial Conocoto-Amaguaña 2018-2019 Quito-Ecuador



**Figura 22.** Ensayo Marshall

**Fuente:** Proyecto Rehabilitación vial Conocoto-Amaguaña 2018-2019 Quito-Ecuador

**Tabla 19.** Resultados de los ensayos Marshall

<b>PROPIEDADES DE LA MEZCLA (RECUPERACIÓN DE ASFALTO EXISTENTE) MÉTODO MARSHALL</b>										
<b>LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS</b>										
										Constante de KN a Lbf = <b>224.81</b>
MEZCLA No.-	PORCENTAJE DE EMULSIÓN (%)	PESOS EN GRAMOS			VOLUMEN  CM3	ESTABILIDAD EN LBS				FLUJO 1/100"
		SECO EN AIRE	EN AGUA	S.S.S. EN AIRE		LECTURA kilonewton	LECTURA Libras- Fuerza	FACTOR DE CORRECCIÓN	LECTURA CORREGIDA	
1	0.0 %	970	531	970	<b>438.7</b>	3.13	703.66	1	703.66	3.9
2		886.9	478.7	887.0	<b>408.3</b>	3.86	867.77	1	867.77	4.3
3		1038.9	565.6	1039.0	<b>473.4</b>	3.01	676.68	1	676.68	3.8
<b>PROMEDIO:</b>								<b>PROMEDIO:</b>	<b>749</b>	<b>4</b>
1	2.0 %	1073	562	1090	<b>528</b>	4.45	1000.4	0.96	960.39	10
2		993	513	1005	<b>492</b>	4.12	926.22	1.09	1009.58	8
3		998	505	995	<b>490</b>	4	899.24	1.09	980.17	7
<b>PROMEDIO:</b>								<b>PROMEDIO:</b>	<b>983</b>	<b>8.3</b>
1	4.0 %	1002	508	1020	<b>512</b>	6.35	1427.54	1	1427.54	13
2		1002	501	1027	<b>526</b>	6.39	1436.54	0.96	1379.07	10
3		1012	493	1013	<b>520</b>	6.42	1443.28	1	1443.28	12
<b>PROMEDIO:</b>								<b>PROMEDIO:</b>	<b>1,417</b>	<b>11.7</b>
1	6.0 %	1017	509	1020	<b>511</b>	8.24	1852.43	1	1852.43	19
2		1025	509	1027	<b>518</b>	8.03	1805.22	1	1805.22	16
3		1019	506	1021	<b>515</b>	7.86	1767.01	1	1767.01	20
<b>PROMEDIO:</b>								<b>PROMEDIO:</b>	<b>1,808</b>	<b>18.3</b>
<b>ESPECIFICACIONES: INSTITUTO DEL ASFALTO</b>										
Mínimo 1000 lbs. flujo 5 – 18										

**Fuente:** Proyecto Rehabilitación vial Conocoto-Amaguaña 2018-2019 Quito-Ecuador

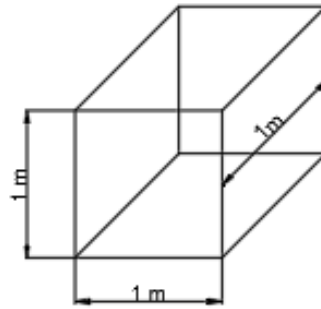
### 3.3.7. Reducción de agua para el diseño de base estabilizada y recuperación de asfalto.

Para la reducción de agua se debe tomar varios factores para realizar la reducción que aplica tanto para la base estabilizada como para la recuperación de asfalto existente.

- Proctor modificado (resultado de la gráfica): 8.11%
- Emulsión: 6.46%
- Porcentaje de humedad de la base clase III o reciclado: 2% y 3-4%
- Porcentaje de asfalto residual de 60% en base al contenido de agua (40%)
- Densidad del material: 2.009 g/cm<sup>3</sup>

Para idealizar el análisis se va a trabajar con un volumen de 1m<sup>3</sup> en todos los ejes como se muestra en la siguiente figura:





**Figura 23.** Volumen de trabajo

**Fuente:** Proyecto Rehabilitación vial Conocoto-Amaguaña 2018-2019 Quito-Ecuador

Con la idealización de un cubo de un metro por cada arista el siguiente paso hallar la cantidad de emulsión que se necesita:

$$\delta = \frac{2009 \frac{kg}{cm^3} * 6.46\%_{emulsión}}{100\%} = 129.78 kg_{emulsión} \quad (16)$$

Debido a que el asfalto residual el 40% es de agua se tiene lo siguiente:

$$40\%_{H_2O} * 129.7814 kg_{emulsión} = 51.91 kg_{H_2O} \quad (17)$$

Este valor es el aporte correspondiente de agua que contribuye la emulsión. Por otro lado, se va a analizar el porcentaje de humedad del material que como se mencionó para una base clase III es del 2% y para el reciclado es 3-4%.

$$\begin{aligned} 2\%_{humedad}_{agregado} &= 40 kg_{H_2O} + 51.91 kg_{H_2O} \\ &= 91.913 kg_{H_2O} \text{ (existente)} \end{aligned} \quad (18)$$

$$H_2O_{próctor} = 8.11 \%_{humedad\ óptima} * \frac{2009 \frac{kg}{cm^3}}{100\%} = 162.93 kg_{H_2O} \quad (19)$$

A este valor debe restarse el aporte del agregado y la emulsión es decir el agua existente en la mezcla que dio un valor de 91.913 kg de H<sub>2</sub>O.



$$162.93 \text{ kg}_{H_2O} - 91.913 \text{ kg}_{H_2O} (\text{existente}) = 71.02 \text{ kg}_{H_2O} \quad (20)$$

Este valor expresado en porcentaje en relación la humedad óptima corresponde al 3.54% de reducción al valor del diseño.

## 4. ANÁLISIS ECONÓMICO

### 4.1. Análisis de Coste – Beneficio

Para valorar las alternativas evaluadas y sus consecuencias económicas de la rehabilitación de la vía Conocoto Amaguaña, se ha realizado el análisis coste- beneficio. En este se ha comparado los costos necesarios para ejecutar el proyecto con los beneficios que dará el mismo. Estos beneficios se han determinado comparando los costos totales del transporte una vez terminado el proyecto, con los que se produciría si no se realiza el proyecto.

La comparación entre coste y beneficio nos permitirá decidir cuáles de las dos alternativas es viable no solo técnicamente si no económicamente; ya que al ejecutar un proyecto vial es necesario comparar los beneficios que se conseguirá al mejorar las condiciones del transporte, con los costes necesarios para realizar el proyecto, de manera que se pueda escoger la solución más rentable.

#### 4.1.1. Costos.

Para la ejecución del proyecto en cualquiera de las dos opciones analizadas depende de varios factores entre los cuales está la disponibilidad y cantidad de materiales, transporte, mano de obra, equipo, entre otros.

Para el presente análisis se ha realizado el cálculo del presupuesto de construcción, en cada una de las opciones.

Los costos de ejecución del proyecto se muestran por componentes y actividades principales valoradas en términos económicos y posteriormente se transforman en financieros al añadirles el impuesto al valor agregado (12%).

##### *4.1.1.1. Presupuesto de Estabilización de Base del proyecto Conocoto-Amaguaña.*

Los costos de construcción de un proyecto vial con base estabilizada sin recuperación de pavimento, actualizado al 2019 con un indirecto del 20%, se muestra por rubro valorado en términos económico; siendo necesario el tiempo de ejecución para establecer una programación de inversiones.

**Tabla 20.** Costos de construcción con Base Estabilizada

RUBRO	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL	
6	V-406-8	FRESADO DE PAVIMENTO ASFALTICO (inc. desalojo)	m3	4.454,34	9,61	42.806,21
7	V-404-1B	BASE CLASE III	m3	430,18	20,94	9.007,97
8	V-405-1	ASFALTO RC 250 PARA IMPRIMACION	lt	156.355,00	0,46	71.923,30
9	V-405-2	ASFALTO TIPO RC-250 PARA RIEGO DE ADHERENCIA	lt	60.000,00	0,43	25.800,00
10	V-406-1-R	BASE ESTABILIZADA (EMULSIÓN ASFÁLTICA AL %6,25)	m3	496,68	81,55	40.504,25
11	V-405-5-(10)	CAPA DE RODADURA DE HORMIGON ASFALTICO MEZCLADO EN PLANTA DE E= 10 CM. (dsg)	m2	104.235,00	13,84	1.442.612,40
					<b>SUBTOTAL</b>	1.632.654,13
					<b>IVA 12%</b>	195.918,50
					<b>TOTAL</b>	1.828.572,63

Fuente. Elaboración Propia

#### 4.1.1.2. Presupuesto de Recuperación del Asfalto Existente del proyecto Conocoto-Amaguaña.

Los costos de construcción de un proyecto vial con recuperación de asfalto existente, actualizado al 2019 con un indirecto del 20%, se muestra por rubro valorado en términos económico; siendo necesario el tiempo de ejecución para establecer una programación de inversiones.

**Tabla 21.** Costos de construcción con Recuperación de Pavimento

RUBRO	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL	
5	BASE ESTABILIZADA CON EMULSION (Reciclado de Pavimento)	m3	496,68	81,85	40.653,26	
8	V-405-1	ASFALTO RC 250 PARA IMPRIMACION	lt	156.355,00	0,46	71.923,30
9	V-405-2	ASFALTO TIPO RC-250 PARA RIEGO DE ADHERENCIA	lt	60.000,00	0,43	25.800,00
11	V-405-5-(10)	CAPA DE RODADURA DE HORMIGON ASFALTICO MEZCLADO EN PLANTA DE E= 10 CM. (dsg)	m2	104.235,00	13,84	1.442.612,40
					<b>SUBTOTAL</b>	1.580.988,96
					<b>IVA 12%</b>	189.718,67
					<b>TOTAL</b>	1.770.707,63

Fuente. Elaboración Propia

La diferencia que existe entre las dos es de aproximadamente USD \$ 57.865,00 al parecer la Recuperación de Asfalto es una de las mejores opciones siempre y cuando los rendimientos sean los adecuados.

#### 4.1.1.3. Costos de mantenimiento.

Se ha incluido este análisis a fin de establecer cuáles de las dos opciones presentadas es más viables económicamente y se ha tomado las consideraciones de desgaste de la obra en cada una de las opciones presentadas.

**Tabla 22.** Costos de Mantenimientos

OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (dólares)	TOTAL (dólares)
Mantenimiento preventivo de la estructura a los 2 años	U	1	\$ 137.549,72	\$ 137.549,72
Mantenimiento rutinario de la estructura a los 5 años	U	1	\$ 137.549,72	\$ 137.549,72
Mantenimiento periódico de la estructura a los 10 años	U	1	\$ 275.099,44	\$ 275.099,44

**Fuente.** Elaboración Propia

#### 4.1.2. Costos Beneficios.

Para el cálculo de los beneficios económicos se ha considerado el ahorro de los usuarios de los vehículos tanto en mantenimientos como en el combustible de los vehículos que se trasladan en la vía, según el TPDA realizado en puntos estratégicos del proyecto, esto genera un ahorro para la población valores que se reflejan como ingresos para la misma que es beneficiaria directa del proyecto. Mediante un estudio de tráfico vehicular se estableció el Trafico Promedio Anual TPDA de la vía Conocoto Amaguaña.

En la siguiente tabla podemos observar el costo de los mantenimientos y de combustible de todos los tipos de vehículos que se movilizan el área del proyecto por kilómetro, este corresponde al costo actual que los usuarios de los vehículos tienen con las condiciones en las que se encuentra la vía.

**Tabla 23.** Costos Generalizados de Viajes sin Proyecto

Tipo de Vehículo	# de Vehículos TPDA actual 2019	Velocidad Observada (km/h)	Velocidad Deseada (km/h)	Combustible (USD)	Lubricantes (USD)	Llantas (USD)	Mantenimiento (USD)	Refacciones (USD)	Interés (USD)	Costos Indirectos (USD)	Costo Generalizado del viaje (USD)
Livianos	8.039,00	35,00	60,00	0,56	0,19	0,12	0,36	0,57	0,00	0,14	1,95
Buses	614,00	30,00	50,00	0,73	0,61	0,32	0,61	1,71	0,00	0,14	4,12
Camiones	886,00	25,00	40,00	0,61	0,36	0,30	0,61	1,43	0,00	0,14	3,45

**Fuente.** Elaboración Propia

Se analizó el ahorro en los mantenimientos y consumo de combustible para los habitantes si el proyecto se llegara a ejecutar, este es el beneficio social que implicaría la ejecución de este proyecto:

**Tabla 24.** Diferencia de costo (Beneficio Año: 2019).

Tipo de Vehiculo	COSTO ANUAL SIN PROYECTO (USD)	COSTO ANUAL CON PROYECTO (USD)	DIFERENCIA COSTO BENEFICIO ANUAL (USD)
Livianos	\$ 11.440.615,80	\$ 11.562.983,88	\$ 122.368,08
Buses	\$ 1.845.624,82	\$ 1.866.154,73	\$ 20.529,91
Camiones	\$ 2.230.406,97	\$ 2.254.920,07	\$ 24.513,10
	<b>\$ 15.516.647,59</b>	<b>\$ 15.684.058,68</b>	<b>\$ 167.411,09</b>

**Fuente.** Elaboración Propia

**Tabla 25.** Beneficios Anuales (Considerando una tasa de crecimiento de 15.31%)

AÑO	Tipo de Vehiculo	# de Vehiculos TPDA	COSTO ANUAL SIN PROYECTO (USD)	COSTO ANUAL CON PROYECTO (USD)	DIFERENCIA (USD)	BENEFICIO ANUAL (USD)
<b>2020</b>	Livianos	8.464,26	\$ 12.174.665,73	\$ 12.045.824,37	\$ 128.841,35	\$ <b>176.267,13</b>
	Buses	646,48	\$ 1.964.874,31	\$ 1.943.258,38	\$ 21.615,94	
	Camiones	932,87	\$ 2.374.205,34	\$ 2.348.395,50	\$ 25.809,84	
<b>2021</b>	Livianos	8.912,02	\$ 12.818.705,54	\$ 12.683.048,48	\$ 135.657,06	\$ <b>185.591,66</b>
	Buses	680,68	\$ 2.068.816,16	\$ 2.046.056,74	\$ 22.759,42	
	Camiones	982,22	\$ 2.499.800,81	\$ 2.472.625,62	\$ 27.175,18	
<b>2022</b>	Livianos	9.383,47	\$ 13.496.815,07	\$ 13.353.981,75	\$ 142.833,32	\$ <b>195.409,46</b>
	Buses	716,69	\$ 2.178.256,54	\$ 2.154.293,14	\$ 23.963,39	
	Camiones	1.034,18	\$ 2.632.040,27	\$ 2.603.427,52	\$ 28.612,75	
<b>2023</b>	Livianos	9.879,85	\$ 14.210.796,58	\$ 14.060.407,38	\$ 150.389,20	\$ <b>205.746,62</b>
	Buses	754,60	\$ 2.293.486,31	\$ 2.268.255,25	\$ 25.231,06	
	Camiones	1.088,89	\$ 2.771.275,20	\$ 2.741.148,83	\$ 30.126,37	
<b>2024</b>	Livianos	10.402,50	\$ 14.962.547,72	\$ 14.804.202,93	\$ 158.344,79	\$ <b>216.630,62</b>
	Buses	794,52	\$ 2.414.811,74	\$ 2.388.245,96	\$ 26.565,78	
	Camiones	1.146,49	\$ 2.917.875,66	\$ 2.886.155,61	\$ 31.720,05	
<b>2025</b>	Livianos	10.952,79	\$ 15.754.066,50	\$ 15.587.345,27	\$ 166.721,23	\$ <b>228.090,38</b>
	Buses	836,55	\$ 2.542.555,28	\$ 2.514.584,17	\$ 27.971,11	
	Camiones	1.207,14	\$ 3.072.231,28	\$ 3.038.833,24	\$ 33.398,04	
<b>2026</b>	Livianos	11.532,19	\$ 16.587.456,61	\$ 16.411.915,83	\$ 175.540,78	\$ <b>240.156,36</b>
	Buses	880,80	\$ 2.677.056,45	\$ 2.647.605,67	\$ 29.450,78	
	Camiones	1.270,99	\$ 3.234.752,31	\$ 3.199.587,52	\$ 35.164,80	
<b>2027</b>	Livianos	12.142,25	\$ 17.464.933,07	\$ 17.280.106,18	\$ 184.826,89	\$ <b>252.860,63</b>
	Buses	927,40	\$ 2.818.672,74	\$ 2.787.664,01	\$ 31.008,73	

	Camiones	1.338,23	\$ 3.405.870,71	\$ 3.368.845,69	\$ 37.025,02	
<b>2028</b>	Livianos	12.784,57	\$ 18.388.828,03	\$ 18.194.223,80	\$ 194.604,23	\$ <b>266.236,96</b>
	Buses	976,46	\$ 2.967.780,53	\$ 2.935.131,43	\$ 32.649,09	
	Camiones	1.409,02	\$ 3.586.041,27	\$ 3.547.057,63	\$ 38.983,64	
<b>2029</b>	Livianos	13.460,87	\$ 19.361.597,03	\$ 19.156.698,24	\$ 204.898,79	\$ <b>280.320,89</b>
	Buses	1.028,11	\$ 3.124.776,12	\$ 3.090.399,89	\$ 34.376,23	
	Camiones	1.483,56	\$ 3.775.742,85	\$ 3.734.696,98	\$ 41.045,87	

**Fuente.** Elaboración Propia

**Tabla 26.** Flujo Económico con Base Estabilizada

FLUJO ECONOMICO											
Período	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Año	2.019	2.020	2.021	2.022	2.023	2.024	2.025	2.026	2.027	2.028	2.029
<b>Población atendida (2019-2029)</b>	85.852,00	88.006,89	90.215,86	92.480,28	94.801,53	97.181,05	99.620,29	102.120,76	104.683,99	107.311,56	110.005,08
<b>BENEFICIOS</b>											
<b>Sociales y Económicos (USD)</b> (a)	0,00	193.041,72	222.596,41	256.675,92	295.973,00	341.286,47	393.537,43	453.788,01	523.262,96	603.374,51	695.751,15
<b>EGRESOS</b>											
Mantenimiento de la estructura a los 2 años (USD)			137.549,72								
Mantenimiento de la estructura a los 5 años (USD)						137.549,72					
Mantenimiento de la estructura a los 10 años (USD)											
<b>TOTAL COSTO MANTENIMIENTO (USD)</b> (b)	0,00	0,00	137.549,72	0,00	0,00	137.549,72	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>INVERSIÓN</b>											
<b>Gastos de capital (USD)</b>	0,00	<b>1.828.572,63</b>									
<b>PROCESO CONTRACTUAL (USD)</b>											
FRESADO DE PAVIMENTO ASFALTICO (inc. desalojo)	0,00	42.806,21									
BASE CLASE III	0,00	9.007,97									
ASFALTO RC 250 PARA IMPRIMACION	0,00	71.923,30									
ASFALTO TIPO RC-250 PARA RIEGO DE ADHERENCIA	0,00	25.800,00									
BASE ESTABILIZADA (EMULSIÓN ASFÁLTICA AL %6,25)	0,00	40.504,25									
CAPA DE RODADURA DE HORMIGON ASFALTICO MEZCLADO EN PLANTA DE E= 10 CM. (dsg)	0,00	1.442.612,40									
IVA	0,00	195.918,50									
<b>FLUJO DE CAJA ECONÓMICO (a-b)</b>	<b>0,00</b>	<b>193.041,72</b>	<b>85.046,69</b>	<b>256.675,92</b>	<b>295.973,00</b>	<b>203.736,75</b>	<b>393.537,43</b>	<b>453.788,01</b>	<b>523.262,96</b>	<b>603.374,51</b>	<b>695.751,15</b>

La evaluación económica entrega los siguientes resultados

<b>TASA DE DESCUENTO</b>	13%
<b>VAN</b>	\$ (631.423,12)
<b>TIR</b>	4%
<b>B/C</b>	0,65

**Tabla 27.** Flujo Económico con Reciclado de pavimento

FLUJO ECONOMICO											
Período	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Año	2.019	2.020	2.021	2.022	2.023	2.024	2.025	2.026	2.027	2.028	2.029
Población atendida (2019-2029)	85.852,00	88.006,89	90.215,86	92.480,28	94.801,53	97.181,05	99.620,29	102.120,76	104.683,99	107.311,56	110.005,08
BENEFICIOS											
Sociales y Económicos (USD) (a)	0,00	193.041,72	222.596,41	256.675,92	295.973,00	341.286,47	393.537,43	453.788,01	523.262,96	603.374,51	695.751,15
EGRESOS											
Mantenimiento de la estructura a los 2 años (USD)			137.549,72	0,00							
Mantenimiento de la estructura a los 5 años (USD)						137.549,72					
Mantenimiento de la estructura a los 10 años (USD)											
TOTAL COSTO MANTENIMIENTO (USD) (b)	0,00	0,00	137.549,72	0,00	0,00	137.549,72	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
INVERSIÓN											
Gastos de capital (USD)	0,00	1.779.822,13									
PROCESO CONTRACTUAL (USD)											
CAPA DE BASE RECUPERADA (base_asfaltica_recuperada_reciclada_existente)	0,00	5.984,99									
FRESADO DE PAVIMENTO ASFALTICO (inc. desalojo)	0,00	42.806,21									
ASFALTO RC 250 PARA IMPRIMACION	0,00	71.923,30									
ASFALTO TIPO RC-250 PARA RIEGO DE ADHERENCIA	0,00	25.800,00									
CAPA DE RODADURA DE HORMIGON ASFALTICO MEZCLADO EN PLANTA DE E= 10 CM. (dsg)	0,00	1.442.612,40									
IVA		190.695,23									
<b>FLUJO DE CAJA ECONÓMICO (a-b)</b>	<b>0,00</b>	<b>193.041,72</b>	<b>85.046,69</b>	<b>256.675,92</b>	<b>295.973,00</b>	<b>203.736,75</b>	<b>393.537,43</b>	<b>453.788,01</b>	<b>523.262,96</b>	<b>603.374,51</b>	<b>695.751,15</b>

La evaluación económica entrega los siguientes resultados

<b>TASA DE DESCUENTO</b>	13%
<b>VAN</b>	\$ 19.887,78
<b>TIR</b>	13%
<b>B/C</b>	1,01



## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. Conclusiones

La estabilización de una base o la recuperación de asfalto existente son dos técnicas que permiten optimizar las capas del paquete estructural con espesores menores a los que normalmente se conforma una base y una sub-base aportando significativamente a la distribución de esfuerzos, logrando un mejor desempeño de todo el conjunto estructural. El ahorro en espesor es de un 45%, es decir de una base granular de 20-25 cm a una base estabilizada de 10 cm.

En base a los diseños de laboratorio se determinó que el porcentaje de emulsión requerido para la recuperación de asfalto es de 6.46% con lo que se debe tomar en cuenta la pre-humectación del material antes de ser recubierto con el agente emulsificante y de esta manera se obtendrá un cubrimiento satisfactorio entre el material granular y emulsión.

De acuerdo con la desanidad máxima de compactación obtenida en el ensayo Próctor Modificado, se requiere el 8.1% de agua de pre-humectación. Es decir, que al añadir el 4% de emulsión (este porcentaje contiene 2.4% de Asfalto y 1.6% de Agua), por ende, la cantidad necesaria de agua de pre-humectación es de 5.7%. Es importante mencionar que la reducción de agua en la mezcla en base al cálculo de aporte de agua tanto del material como la emulsión es de un 3.54%

Al realizar la comparación costo - beneficio de las alternativas propuestas se evidencia que la alternativa de recuperación de asfalto existente es la alternativa económica viable con un VAN positivo y con un TIR de 13%.

## 5.2. Recomendaciones

Siempre es necesario realizar el diseño de la mezcla a nivel de laboratorio, previo al arranque, en donde se define el tipo y cantidad de emulsión asfáltica, humedad requerida. Durante el mezclado y compactación, así como también el material de aporte (cuando sea necesario) y su dosificación.

Para la recuperación de pavimentos se puede utilizar aditivos mejoradores de adherencia, los cuales pueden ser usados dependiendo de las propiedades en la mezcla que se pretende mejorar, tales como resistencia al desprendimiento de finos, resistencia a la rodera o rigidez de la capa para tránsitos mayores. Verificar la estabilidad del material compactado. Se recomienda que la prueba de estabilidad de la base simule el tipo de tránsito esperado en el camino. Si en esta prueba la deformación no ocurre, puede permitirse el acceso de camiones al tramo. Si se presenta deformación, la entrada de camiones al tramo debe ser detenida hasta que el material estabilizado sea suficientemente firme.

Se espera que el material recuperado pueda soportar el paso de los vehículos después de la compactación final. El objetivo principal de la recuperación de pavimentos contempla el impermeabilizar la capa de rodadura. Las partículas de suelo son cubiertas por bitumen que previenen o disminuyen la penetración de agua, evitando una reducción de la resistencia del suelo. Adicionalmente, con emulsión asfáltica mejora las características de durabilidad, por ejemplo; evitando cambios volumétricos. En materiales no cohesivos como, arenas, grava y roca trituradas, son dos los efectos que produce la recuperación de pavimento con bitumen, que son la impermeabilización y adhesión (cohesión). Desde el punto de vista de la adhesión el bitumen cementa las partículas incrementando la resistencia al corte mediante la cohesión.

Antes de iniciar las labores de mezclado, la tasa de aplicación del asfalto corregido y la velocidad de avance de la barra dosificadora de la mezcladora o del distribuidor de asfalto debe ser determinado para la cantidad de agregados en el camellón. También cuando se utiliza emulsión asfáltica es necesario humedecer el agregado antes de aplicar la emulsión, por lo que la tasa de aplicación del agua y la velocidad de avance del distribuidor de agua deben ser determinadas. Experiencias han demostrado que la compactación de una mezcla con emulsiones asfálticas se debe iniciar inmediatamente antes, o al mismo tiempo en que la emulsión empieza a romper (reconocible por el cambio de color café a negro). En este momento, el contenido de humedad de la mezcla es suficiente para lubricar las partículas del

agregado. Además, para este momento, la mezcla debe ser capaz de soportar el compactador sin que se produzcan desplazamientos.

### 5.3. Referencias

Proyecto Rehabilitación vial Conocoto-Amaguaña 2018-2019 Quito-Ecuador

Ministerio de Transporte y Obras Públicas. (2018). Rendición de cuentas Ministerio de Transporte y Obras Públicas 2018. Recuperado de [https://drive.google.com/file/d/17PdMPbUdwW24INn\\_27NvZyERN0crCsjD/view](https://drive.google.com/file/d/17PdMPbUdwW24INn_27NvZyERN0crCsjD/view)

Ministerio de Transporte y Obras Públicas. (2012). NEVI-12. Volumen No. 3 Especificaciones técnicas para construcción de caminos y puentes.

Musuruana Eliodoro, Sanches de Rosaca Susana 20. Las emulsiones asfálticas en las construcciones Viales

The Asphalt Institute. (1977), Manual del Asfalto. Ediciones Urmo, Bilbao España

Ing. Gustavo Rivera. (1987). Emulsiones Asfálticas, Representaciones y servicios de Ingeniería México 3ra edición

MTOP QUITO, Departamento de Construcciones, Informes actuales.

José Breviá, Luis Bañón. (1980). Manual de Carreteras. Pontificia Universidad Católica de Chile

Asphalt Institute. (1993). Manual Básico de Emulsiones Asfálticas, (MS-19).

MOP-001-F-2002 Especificaciones Técnicas Ecuatorianas, 2002

Kleyn, E. G., and Savage, P. F. (1982.). The Application of the Pavement DCP to Determine the Bearing Properties and Performance of Road Pavements, International Symposium on Bearing Capacity of Roads and Airfields, Trondheim, Norway.

American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). (1993). Guía de diseño estructural de pavimentos.