



**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**TESIS**

**“ESTANDAR COMPARATIVO DE DISEÑO DE PAVIMENTOS CON BAJO  
VOLUMEN DE TRÁFICO UTILIZANDO MÉTODOS TRADICIONALES Y  
ALTERNATIVOS EN EL PROYECTO DE MEJORAMIENTO Y REHABILITACIÓN DE  
LA CARRETERA PALLASCA – MOLLEPATA SECTOR III”**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER**

**CONDOR ESTRELLA, JOSE GABRIEL**

**PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO CIVIL**

**LIMA – PERÚ**

**2016**

## **DEDICATORIA**

A mis padres por su apoyo incondicional por preocuparse que nada me falte y por enseñarme a andar por el camino del bien, por inculcarme valores y sobre todo por enseñarme a mirar siempre adelante a pesar de las adversidades especialmente a mi madre que me enseñó que con esfuerzo sacrificio y dedicación puedo lograr todo lo que me proponga.

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero agradecer a Dios por darme salud y a mis compañeros de trabajo quienes me brindaron su amistad, por transmitirme sus conocimientos, por la paciencia que me tuvieron y sobre todo por permitirme ser partícipe de los diferentes proyectos que realizan, todo esto me sirve para seguir creciendo profesionalmente y ser mejor cada día.

## RESUMEN

El proyecto desarrollado como tema de Tesis, "Estandar comparativo de diseño de pavimentos con bajo volumen de tráfico utilizando métodos de diseño alternativos en el proyecto de rehabilitación y mejoramiento de la carretera Pallasca – Mollepata sector 3 KM 21+320 – 29+417 en la región la libertad" se presenta como una alternativa de comparación entre los métodos tradicionales de diseño y los métodos alternativos.

Este proyecto comprende el diseño de un pavimento para bajo volumen de tráfico del proyecto de rehabilitación y mejoramiento de la carretera Pallasca – Mollepata

Haciendo un estandar comparativo entre el diseño del pavimento con el método AASHTO 1993 y método NAASRA; lo cual permitirá determinar la selección de un diseño óptimo, proyectando ventajas y desventajas, la solución no solamente será eficaz, sino principalmente eficiente para las condiciones de la zona y su proyección de tráfico.

En cada capítulo se resume la norma usada y a continuación se presentan los resultados obtenidos. Finalmente se presenta un análisis con los resultados obtenidos y se hacen recomendaciones con las cuales se podrá usar al máximo la información recogida en esta Tesis.

**Palabra clave.** Estándar comparativo de dos métodos de diseño para espesores de pavimentos

## ABSTRACT

The project developed as Thesis, " comparative pavement design standard low volume of traffic using alternative methods of design in the project of rehabilitation and improvement of road Pallasca - Mollepata Sector 3 KM 21 + 320 - 29+ 417 in the region freedom "is presented as an alternative comparison between traditional design methods and alternative methods.

This project involves the design of a pavement for low traffic volume project of rehabilitation and improvement of road Pallasca - Mollepata Making a comparative standard between pavement design with the 1993 AASHTO method and NAASRA method; which will determine the selection of an optimal design, projecting advantages and disadvantages, the solution will not only be effective, but mainly efficient for the conditions of the area and its projection of traffic.

In each chapter the standard used and then the results are presented summarized. Finally, an analysis with the results obtained are presented and recommendations which may be used to maximize the information gathered in this Thesis are made.

Keyword. Comparative standard two design methods for pavement thickness

## INDICE

<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>2</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	<b>3</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>4</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>5</b>
<b>INDICE</b> .....	<b>6</b>
<b>INTRODUCCION</b> .....	<b>8</b>
<b>CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO PROBLEMÁTICA</b> .....	<b>9</b>
<b>1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA</b> .....	<b>9</b>
<b>1.2. DELIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN</b> .....	<b>10</b>
<b>1.3. PLANTEAMIENTO DE PROBLEMAS DE INVESTIGACIÓN</b> .....	<b>10</b>
1.3.1. Problema General: .....	10
1.3.2. Problema Especifico .....	10
<b>1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN</b> .....	<b>10</b>
<b>1.5. FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN</b> .....	<b>11</b>
<b>1.6. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN</b> .....	<b>11</b>
1.6.1. Variable independiente: .....	11
1.6.2. Variables dependientes: .....	11
<b>1.7. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN</b> .....	<b>11</b>
<b>1.8. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN</b> .....	<b>12</b>
<b>CAPITULO II: MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>12</b>
<b>2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN</b> .....	<b>12</b>
<b>2.2. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS</b> .....	<b>12</b>
2.2.1. El Transito.....	12
2.2.2. La Subrasante.....	13
2.2.3. El clima.....	13
2.2.4. Los materiales disponibles.....	13
<b>CAPÍTULO III: PRESENTACIÓN DE RESULTADOS</b> .....	<b>14</b>
<b>3.1. CONFIABILIDAD Y VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO</b> .....	<b>14</b>
3.1.1. Métodos de Diseño .....	14
3.1.2. Estabilización de Suelos.....	16
3.1.3. Tecnología de reciclado en frio .....	17
<b>3.2. MÉTODO DE DISEÑO AASHTO 1993:</b> .....	<b>18</b>
<b>3.3. METODO DE DISEÑO NAASRA</b> .....	<b>34</b>
<b>CAPÍTULO IV: PROCESO DE CONTRASTE DE HIPÓTESIS</b> .....	<b>35</b>
<b>4.1. GENERALIDADES DEL PROYECTO</b> .....	<b>35</b>

4.1.1.	Estudio de suelos.....	43
4.1.2.	Investigación de campo.....	47
<b>4.2.</b>	<b>ESTUDIO DE TRÁFICO.....</b>	<b>67</b>
4.2.1.	Metodología.....	67
<b>4.3.</b>	<b>ESTUDIO DE CANTERAS.....</b>	<b>77</b>
<b>4.4.</b>	<b>FUENTES DE AGUA.....</b>	<b>86</b>
4.4.1.	Reconocimiento.....	86
4.4.2.	Trabajo de campo.....	86
4.4.3.	Evaluación de resultados.....	87
<b>4.5.</b>	<b>DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO.....</b>	<b>89</b>
4.5.1.	Diseño estructural de pavimento, metodología AASHTO 1993.....	89
4.5.2.	Parámetros de diseño.....	90
4.5.3.	Variables de diseño con el método AASHTO 1993.....	95
4.5.4.	Diseño de espesores del pavimento.....	95
4.5.5.	Diseño con el método NAASRA.....	98
<b>CAPÍTULO V:</b>	<b>DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....</b>	<b>99</b>
5.1	COMPARACIÓN DE LO SN DEL MÉTODO AASHTO 1993 Y NASSRA.....	99
5.2	COMPROBACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DEL NÚMERO ESTRUCTURAL.....	99
5.3	COMPARACIÓN DE LOS ESPESORES OBTENIDOS POR AMBOS MÉTODOS.....	101
5.4	ELECCIÓN DEL MÉTODO DE DISEÑO.....	102
<b>CONCLUSIONES.....</b>		<b>103</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>		<b>105</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....</b>		<b>106</b>

## INTRODUCCION

La presente tesis comprende el Estudio de Pavimentos del Proyecto Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Pallasca – Mollepata – Sector III

La vía a construirse se desarrolla en la unidad fisiográfica correspondiente al denominado paisaje montañoso (cordillera de los Andes), cuyas altitudes están comprendidas entre los 2680 msnm. (Mollepata), a 563.0 msnm (Pallasca); el clima predominante en la zona del estudio es templado con una temperatura media anual promedio de 13°C.

El estudio se ha desarrollado siguiendo los lineamientos estipulados en los términos de referencia del proyecto, para lo cual se desarrolló primeramente una etapa de campo y posteriormente una etapa de gabinete.

Los trabajos de campo consistieron en el estudio del suelo de subrasante y el estudio de canteras. Los trabajos de gabinete consistieron en definir el perfil estratigráfico y las características estructurales del terreno de fundación con la finalidad de diseñar el pavimento. Así mismo se definió amparado en los resultados de laboratorio si los materiales de las canteras exploradas pueden ser usados en la construcción de la carretera.

La tesis consta básicamente de tres partes la primera es el estudio de suelos, donde se hace la descripción de las características físicas y mecánicas de los suelos encontrados; la segunda parte comprende el estudio de canteras, donde se define y describe los materiales que serán empleados en la construcción de la carretera y la última parte que comprende el diseño de la estructura de pavimento.

## CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO PROBLEMÁTICA

### 1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

El desempeño de un pavimento depende de su condición estructural, funcional y superficial.

Mientras que la condición estructural depende de la capacidad de carga del pavimento y de la base, la condición funcional describe cuan "buena" es una vía para permitir al usuario moverse desde un punto A hasta un punto B bajo condiciones aceptables de confort y seguridad, a costos y velocidades aceptables.

El mantenimiento de la vía y metodologías alternativas de diseño de pavimento para bajo volumen que pueden preservar y mejorar estas condiciones funcionales, ofrecen soluciones de bajo costo inicial y mejoran el rendimiento total del pavimento. Estas metodologías de diseño alternativas deben ser consideradas por ingenieros y gerentes cuando seleccionan una estrategia para cumplir con las necesidades presupuestarias, como con los criterios de rendimiento.

Generalmente con la aplicación métodos de diseño convencionales, se logra un pavimento con un gran espesor. Por ello estas metodologías alternativas deben de ser consideradas solo para aquellos pavimentos que cumplan con la condición de bajo volumen de tráfico y lo necesario para soportar las cargas de diseño vehicular

La selección de la estrategia de diseño de superficie económica y más efectiva para un proyecto, requiere de comprender a profundidad las limitaciones, rendimiento y costos asociados a cada estrategia viable para diseño.

Cueva Blanca, ya que el camino vecinal que une a los centros poblados se encuentra en un mal estado poniendo en riesgo la integridad física de las personas.

## 1.2. DELIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

### 1.2.1. Espacial:

Pallasca – Mollepata sector 3 región la libertad

### 1.2.2. Temporal:

6 meses calendarios.

## 1.3. PLANTEAMIENTO DE PROBLEMAS DE INVESTIGACIÓN

### 1.3.1. Problema General:

- La ineficiencia de los resultados del diseño de un pavimento para bajo volumen de tráfico comparando métodos convencionales con un método alternativo. Se utilizará la información del proyecto de rehabilitación y mejoramiento de la carretera Pallasca Mollepata.

### 1.3.2. Problema Especifico

- Falta de Desarrollo integral de diseño AASHTO 1993 para bajo volumen de tráfico en el corredor vial Pallasca – Mollepata sector III KM 21+320 – 29+417.

## 1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

### 1.4.1. Objetivo General

Evaluar técnicamente los resultados del diseño de un pavimento para bajo volumen de tráfico comparando métodos convencionales con un método alternativo. A partir de esto proyectar ventajas y desventajas. Se utilizará la información del proyecto de rehabilitación y mejoramiento de la carretera Pallasca Mollepata

### 1.4.1. Objetivos Específicos

- Desarrollo integral de diseño AASHTO 1993 para bajo volumen de tráfico en el corredor vial Pallasca – Mollepata sector III KM 21+320 – 29+417 .
- Desarrollo integral de diseño NAASRA (National Association of AustralianState Road: Asociación Nacional de Vialidad del Estado de Australia).

- Evaluación económica de ambos métodos (AASHTO 1993 y NAASRA).
- Mostrar las particularidades para el diseño de pavimentos del método australiano NAASRA (National Association of Australian State Road: Asociación Nacional de Vialidad del Estado de Australia).

## 1.5. FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

### 1.5.1. Hipótesis General

- Cuál sería el resultado de evaluar técnicamente el diseño de un pavimento para bajo volumen de tráfico comparando métodos convencionales con un método alternativo. En el que se utilizará la información del proyecto de rehabilitación y mejoramiento de la carretera Pallasca Mollepata.

### 1.5.2. Hipótesis Específicas

- Cuál sería el desarrollo integral de diseño AASHTO 1993 para bajo volumen de tráfico en el corredor vial Pallasca – Mollepata sector III KM 21+320 – 29+417 .
- Cual sería desarrollo integral de diseño NAASRA (National Association of Australian State Road: Asociación Nacional de Vialidad del Estado de Australia).
- Comprobar la evaluación económica de ambos métodos (AASHTO 1993 y NAASRA).

## 1.6. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

### 1.6.1. Variable independiente:

mejoramiento y rehabilitación de la carretera pallasca

### 1.6.2. Variables dependientes:

Impacto Social

## 1.7. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

### 1.7.1. Metodología

Utilización del Método empírico mecanicista y con un soporte teórico complementario, diseñados por tentativas, dados por resultados de estudio de laboratorio de diseño tales como AASHTO 1993 para bajo volumen de tráfico y

el método alternativo de diseño NAASRA, haciendo una comparación y tomando el método más conveniente para el diseño del pavimento.

Dentro de las características geográficas y climatológicas que presenta la carretera objeto del estudio, tenemos:

## 1.8. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN

La importancia de este trabajo de investigación es estudiar la posibilidad de la utilización de un método alternativo para el diseño del pavimento para bajo volumen de tráfico que además de cumplir con el estado actual de pavimentos, nos permita ver las diferentes alternativas al diseñar.

También es utilizar una nueva metodología aprobada por el MTC (ministerio de transporte y comunicaciones).

## CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

En la actualidad se realizan proyectos de mejoramiento vial para carreteras de bajo volumen de tráfico, debido a que las carreteras presentan un desgaste por su uso. En algunos casos las carreteras se encuentran a nivel de afirmado como son en su mayoría en el interior del país. La conservación vial es sumamente importante permite la recuperación de la superficie de rodadura y su mejora avanzando a un nivel de servicio de mayor calidad. En esta recuperación y mejora de la superficie de rodadura se diseñan pavimentos para bajo volumen de tráfico, al tener esta nueva capa asfáltica se mejora la transitabilidad y permite el aumento de la velocidad directriz.

### 2.2. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

#### 2.2.1. El Transito

Interesan para el dimensionamiento de los pavimentos las cargas más pesadas por eje (simple) esperadas en el carril de diseño durante el periodo de diseño adoptado. La repetición de las cargas del tránsito y la consecuente acumulación de deformaciones sobre el pavimento (fatiga) son fundamentales para el cálculo. Además, se deben tener en cuenta las máximas presiones de contacto, la sollicitaciones tangenciales en tramos

especiales (curvas, zonas de frenado y aceleración, etc), las velocidades de operación de los vehículos, la canalización de tránsito, etc

#### 2.2.2. La Subrasante

De la calidad de esta capa depende, en gran parte, el espesor que debe tener un pavimento, será este flexible o rígido. Como parámetro de evaluación de esta capa se emplea la capacidad de soporte o resistencia a la deformación por esfuerzo cortante bajo las cargas del tránsito. Es necesario tener en cuenta la sensibilidad del suelo a la humedad, tanto en lo que se refiere a la resistencia como a las eventuales variaciones de volumen (hinchamiento – retracción).

#### 2.2.3. El clima

Los factores que en nuestro medio más afectan a un pavimento son las lluvias y los cambios de temperatura.

Las lluvias por su acción directa en la elevación del nivel freático influyen en la resistencia, la compresibilidad y los cambios volumétricos de los suelos de Subrasante especialmente. Este parámetro también influye en algunas actividades de construcción tales como el movimiento de tierras, la colocación y compactación de capas granulares y asfálticas.

Los cambios de temperatura en las losas de pavimentos rígidos ocasionan en estos esfuerzos muy elevados, que en algunos casos pueden ser superiores a los generados por las cargas de los vehículos que circulan sobre ellas.

En los pavimentos flexibles y dado que el asfalto tiene una alta susceptibilidad térmica, el aumento o disminución de temperatura puede ocasionar una modificación sustancial en el módulo de elasticidad de las capas asfálticas, ocasionando en ellas y bajo condiciones especiales, deformaciones o agrietamientos que influirán en el nivel de servicio de la vía.

#### 2.2.4. Los materiales disponibles

Los materiales disponibles son determinantes para la selección de la estructura de pavimento más adecuada técnica y económicamente. Por una parte, se consideran los agregados disponibles en canteras y depósitos

aluviales del área. Además de la calidad requerida, en la que incluye la deseada homogeneidad, hay que atender al volumen disponible aprovechable, a las facilidades de exploración y al precio, condicionado en buena medida por la distancia de acarreo. Por otra parte, se deben considerar los materiales básicos de mayor costo: ligantes y conglomerantes, especialmente.

## **CAPÍTULO III: PRESENTACIÓN DE RESULTADOS**

### **3.1. CONFIABILIDAD Y VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO**

#### **3.1.1. Métodos de Diseño**

Los métodos de diseño han evolucionado con el tiempo, pasando de ser puramente empíricos a ser analíticos. Los métodos de diseño cambian con el tiempo más lentamente que el desarrollo tecnológico de los pavimentos debido a que requieren ser adecuadamente verificados y calibrados para tener la certeza de que los diseños resultantes funcionaran de la forma en que se plantea en el diseño. Esta evolución se ha visto acelerada con la posibilidad de ejecutar ensayos de campo y laboratorio más precisos y que reproducen mejor las condiciones reales de servicio, adicionalmente la capacidad de procesamiento de las computadoras se ha incrementado dando la oportunidad de resolver modelos más complejos con un mayor número de variables y por ende más realístico.

#### **A. Métodos de diseño para pavimentos flexibles**

Los métodos de diseño de pavimentos en orden de evolución se pueden agrupar de la siguiente manera (Huang, 2004)

##### **a. Métodos empíricos**

Se basan en relaciones entre ensayos y espesores de capas basadas principalmente en observaciones, solamente se pueden aplicar a condiciones similares a las cuales se realizaron las observaciones. Un ejemplo de este método es el denominado método CBR.

##### **b. Métodos de esfuerzo cortante o deflexión límite**

Este tipo de métodos se basa en el principio de definir los espesores del pavimento de tal manera que los esfuerzos cortantes o la deflexión se

controla para que no exceda determinados límites y por lo tanto no se produzcan fallas por fatiga. La mayor limitación de este tipo de métodos es que aun en casos de que los pavimentos desarrollen esfuerzos o deflexiones menores a los admisibles las condiciones funcionales de la via pueden fallar o en el caso de las deflexiones los esfuerzos al interior de la estructura pueden ser excesivos.

c. Métodos mecanísticos- empíricos

Este tipo de métodos desarrolla las relaciones entre las variables de diseño y los espesores del pavimento basados en tramos o pistas de prueba. Estas secciones o tramos de prueba son construidas para cubrir un determinado rango de variación que permita tener relaciones entre tráfico, carga por eje, tipo de material, clima y suelo de fundación con la condición estructural o funcional del pavimento. El método AASTHO 1993 es un ejemplo de este tipo de métodos.

Secciones típicas:

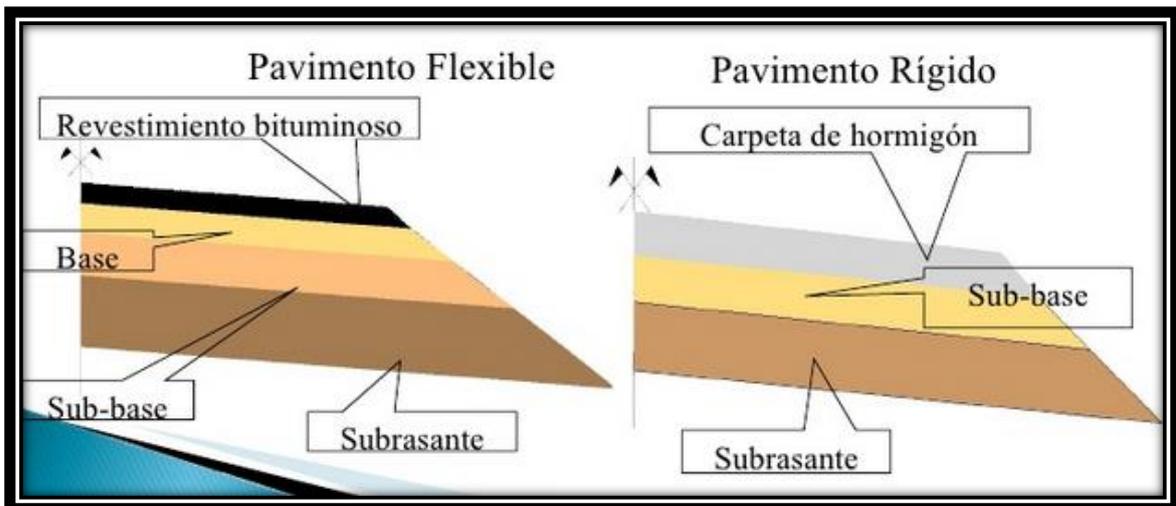


Figura 2.1.-Secciones típicas del pavimento Flexible y Rígido

Otra característica de este tipo de métodos se basa en ecuaciones fundamentales del comportamiento de los materiales y del comportamiento de la estructura de tal forma que se pueda obtener de forma analítica (mecanística) el resultado. Sin embargo debido a que estas expresiones requieren, en mayor cantidad de casos, calibraciones para ser ajustadas a las condiciones reales se denominan mecanísticos empíricos. Son ejemplos

de este tipo de método el desarrollado por NCHRP (NCHRP et al. 2004), o el desarrollado por Shell (Shell, 1978)

### 3.1.2. Estabilización de Suelos

La necesidad de incrementar la resistencia, durabilidad o mejorar la trabajabilidad de suelos de fundación y componentes estructurales del pavimento más allá de sus condiciones naturales es un reto permanente en la ingeniería vial para optimizar el uso de los materiales. Por ende, el mejoramiento de las propiedades físicas de un suelo a través de procedimientos mecánicos o mediante la incorporación de productos químicos, naturales o sintéticos se denomina estabilización. En el caso de subrasantes de baja capacidad de soporte se denomina estabilización mientras que en la base y subbase se denomina materiales tratados.

Existe una gran variedad de productos y alternativas para la estabilización desde la de tipo mecánica por compactación, o con la incorporación de componentes químicos, orgánicos o geo sintéticos. Su aplicación depende del tipo de material que se desea mejorar, de las exigencias consideradas en el diseño y la disponibilidad de dichos materiales.

#### ➤ Alternativas de estabilización

Tenemos muchas alternativas de estabilización dentro de las cuales se encuentra la estabilización mecánica, por combinación de suelos, por sustitución de suelos, con cal, con cemento, con asfalto, con cloruro de sodio, con cloruro de calcio, con cloruro de magnesio y con geo sintéticos

De este listado de alternativas de estabilización nos enfocaremos en la estabilización con cemento.

#### ➤ Estabilización con cemento

La acción estabilizadora del cemento consta de varias etapas, la primera de las cuales es la acción de la naturaleza fibrosa del silicato de calcio que se forma cuando los granos del cemento entran en contacto con el agua. Debido a esta reacción se forman masas de fibras minúsculas que se traban fuertemente unas con otras y con otros cuerpos.

La reacción favorable suelo-cemento se ve muy impedida o nulificada cuando el primero contiene materia orgánica, pues los ácidos orgánicos poseen gran

avidez por los iones de calcio que liberan la reacción original del cemento y los captan, dificultando la acción aglutinante del propio cemento en los suelos gruesos o la estabilización de las partículas laminares en las arcillas.

Es también nociva la presencia de sulfatos.

La dosificación de cemento puede fijarse aproximadamente en función del tipo de suelo, según lo siguiente (MTC 2013b)

Clasificación de suelos AASHTO	Rango Usual de cemento requerido en % del peso del suelo
A-1-a	3-5
A-1-b	5-8
A-2	5-9
A-3	7-11
A-4	7-12
A-5	8-13
A-6	9-15
A-7	10-16

Tabla 2.1.-: Dosificación de cemento por tipo de suelo

### 3.1.3. Tecnología de reciclado en frío

Es una técnica moderna cuyo objetivo es reconstruir el pavimento con los materiales del pavimento existente. Utiliza medios mecánicos para pulverizar, homogenizar y mezclar el pavimento deteriorado, logrando una nueva mezcla, con labores de reciclado, alcanzando el nivel hasta donde se encuentra el problema del pavimento. Quedará una nueva capa homogénea que puede ser reforzada con la adición de agentes estabilizadores, como cementos hidráulicos y/o cementos asfálticos, según requerimientos del Diseño. La cámara tiene un rotor equipado con un gran número de puntas,

con un tambor rotador. Se inyecta también agua de un tanque acoplado controlado por un microprocesador que garantiza la humedad óptima, asegurando la compactación. Para el caso del proyecto se ha definido la utilización como agente estabilizador un cemento hidráulico.

Las recicladoras modernas tienden a ser máquinas grandes y potentes, las cuales pueden estar montadas sobre orugas o sobre neumáticos de flotación. El elemento más importante de una máquina recicladora es el rotor fresador-mezclador equipado con un gran número de puntas, especialmente diseñadas para este proceso. El tambor normalmente rota y pulveriza el material del pavimento existente (ver figura). A medida que la máquina avanza con el tambor rotando, el agua de un tanque acoplado a la recicladora se llena mediante mangueras dentro de la cámara de mezclado de la recicladora. El flujo de agua es medido con precisión mediante un micro procesador controlado por un sistema de bombeo, mientras que el tambor mezcla el agua con el material reciclado para alcanzar el contenido necesario de humedad.

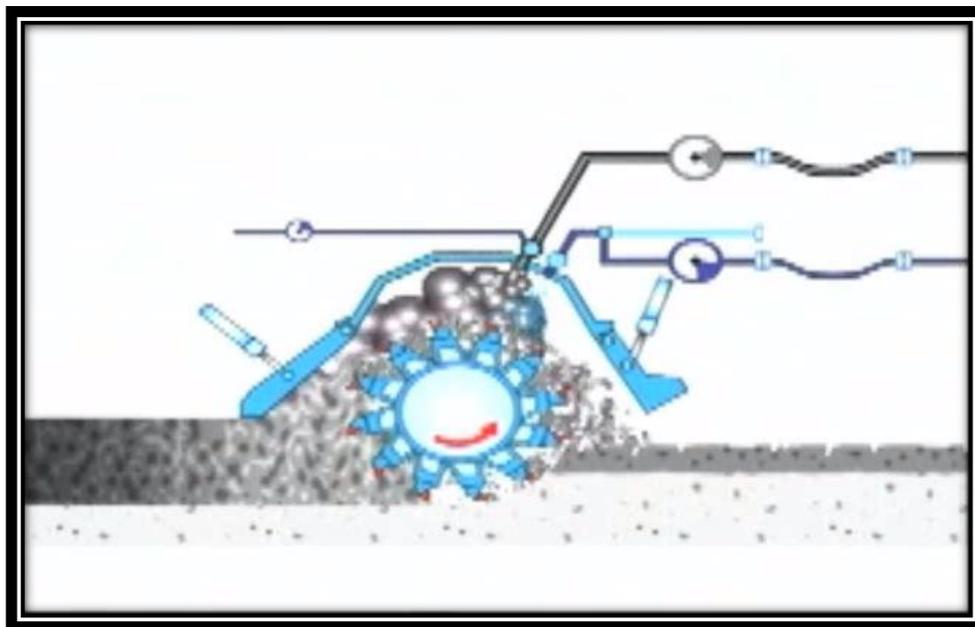


Figura 2.2.-Esquema de reciclado in situ – cámara

### 3.2. MÉTODO DE DISEÑO AASHTO 1993:

Se basa en modelos que fueron desarrollados en función de la performance del pavimento, las cargas vehiculares y resistencia de la subrasante para el cálculo de espesores.

El propósito del modelo es el cálculo del número estructural requerido (SNr), en base al cual se identifican y determinan un conjunto de espesores de capa de la estructura de pavimento, que de ser construidas sobre la Subrasante para soportar las cargas vehiculares con aceptable serviciabilidad durante el periodo de diseño establecido en el proyecto

El diseño está basado primordialmente en identificar o encontrar un "número estructural SN" para el pavimento flexible estructurado de tal manera que pueda soportar las cargas de tráfico solicitadas en el periodo de vida útil, con los suelos de fundación existentes, otorgándole un nivel de confort determinado.

Para determinar el número estructural SN, el método proporciona la ecuación general y la gráfica de la figura, que involucra los siguientes parámetros:

$$\log W_{18} = Z_R S_O + 9.36 \log(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log(\Delta PSI)}{0.40 + \frac{4.2 - 1.5}{1094}} + 2.32 \log M_R - 8.07$$

Figura 2.3.-Formula para hallar el Sn requerido

Dónde:

El tráfico en ejes equivalentes acumulados para el periodo de diseño seleccionado es "W18"

El parámetro de confiabilidad es "R" (Fr)

La desviación estándar global es "So"

"Zr", es la desviación estándar del error combinado en la predicción del tráfico

El módulo de resiliencia efectivo, "Mr" del material usado para la Subrasante.

La pérdida o diferencia entre los índices de servicios inicial y final deseados, "ΔPSI".

Abaco para el cálculo del número estructural requerido (SNr).

A. Periodo de diseño

El periodo de diseño a ser empleado en general es de 10 años para caminos de bajo volumen de tránsito, periodo de diseños por dos etapas de 10 años, y el periodo de diseño en una etapa de 20 años. El ingeniero de diseño de pavimentos puede ajustar el periodo de diseño según las condiciones específicas del proyecto y lo requerido por la entidad.

B. Tráfico

Para el cálculo del tráfico, el método actual contempla los ejes equivalentes sencillos de 18,000 lb (8.2 ton) acumulados durante el periodo de diseño.

La ecuación siguiente puede ser usada para calcular el parámetro del tráfico  $W18$ .

$$W18 = DD \times DL \times w18$$

Dónde:

$W18$  = tránsito acumulado en el primer año, en ejes equivalentes sencillos de 8.2 ton, en el carril de diseño.

$DD$  = Factor de distribución direccional

$w18$  = ejes equivalentes acumulados en ambas direcciones

$DL$  = Factor de distribución por carril cuando se tengan dos o más carriles por sentido. Se recomiendan los siguientes valores

## FACTOR DE DISTRIBUCION POR CARRIL

N° DE CARRILES EN CADA SENTIDO	% DE W18 EN EL CARRIL DE DISEÑO
1	100
2	80 – 100
3	60 – 80
4 o más	50 – 75

Tabla 2.2.-Factor de distribución por carril

### C. Periodos de diseño en función del tipo de carretera

Una vez calculados los ejes equivalentes acumulados en el primer año, el diseñador deberá estimar con base en la tasa de crecimiento anual y el periodo de diseño en años, el total de ejes equivalentes acumulados y así contar con un parámetro de entrada para la ecuación general o para el nomograma de figura a continuación.

Tabla 2.3.-periodo de diseño

TIPO DE CARRETERA	PERIODO DE DISEÑO
Urbano con altos volúmenes de transito	30 - 50 años
Interurbano con altos volúmenes de transito	20 – 50 años
Pavimentada don bajos volúmenes de transito	15 – 25 años
Revestidas con bajos volúmenes de transito	10 – 20 años

#### D. Confiabilidad "R"

Con el parámetro de confiabilidad "R", se trata de llegar a cierto grado de certeza en el método de diseño, para asegurar que las diversas alternativas de la sección estructural que se obtengan, duraran como mínimo el periodo de diseño. Valores de confiabilidad "R"

Tabla de R		
Clasificación funcional	Urbana	Rural
Interestatal y vías expresas	85 – 99.9	80 – 99.9
Arteriales – vías principales	80 – 99	75 – 95
Colectoras	80 – 95	75 – 95
Locales	50 - 80	50 - 80

E. Desviación estándar del error combinado en la predicción del tráfico y comportamiento estructural

Confiabilidad (R%)	Desviacion Normal Estandar (Zr)
50	0.000
60	-0.253
70	-0.524
75	-0.674
80	-0.841
85	-1.037
90	-1.282
91	-1.34
92	-1.405
93	-1.476
94	-1.555
95	-1.645
96	-1.751
97	-1.881
98	-2.054
99	-2.327
99.9	-3.090
99.99	-3.750

Tabla2.5.-desviación estándar del error "Zr"

F. Desviación estándar global "So"

"Desviación estándar global", representativo de condiciones locales particulares, que considera posibles variaciones en el comportamiento del pavimento y en la predicción del tránsito.

Desviación Standard Total (So)	
Pavimentos Rígidos	0.30 – 0.40
Pavimentos flexibles	0.40 – 0.50

Tabla 2.6.-Desviación estándar global "So"

## G. Determinación del módulo resiliente

### Características de la subrasante

La subrasante es la corona del suelo que sirve como fundación para todo el paquete estructural. En la década del 50 se puso más énfasis en las propiedades fundamentales de la subrasante y se desarrollaron ensayos para caracterizar el comportamiento mecánico de estos suelos. Se utilizaron ensayos usando cargas estáticas o de baja velocidad de deformaciones tales como el CBR y comprensión simple. Técnicas más modernas usan ensayos dinámicos y de repetición de cargas tales como el ensayo del módulo resiliente, que presentan mejor lo que sucede bajo un pavimento en lo concerniente a esfuerzos y deformaciones.

De común uso AASHTO, la parte Fundamental para caracterizar debidamente a los materiales, consiste en la obtención del módulo de resiliencia, con base en pruebas de laboratorio CBR, realizadas en materiales a utilizar en la capa subrasante (método AASHTO T-274), con muestras representativas (esfuerzo y humedad) que simulen las estaciones del año respectivas. El módulo de resiliencia "estacional" será obtenido alternadamente por correlaciones con propiedades del suelo, tales como el contenido de arcilla, humedad, índice plástico, etc. Finalmente, deberá obtenerse un "módulo resiliencia efectivo", que es equivalente al efecto combinado de todos los valores de módulos estacionales.

## H. Capacidad de carga del suelo

Se emplea el modelo elástico o módulo resiliente (MR)

Para calcular el módulo resiliente utilizando los CBR de las capas

Para la determinación de los valores del módulo de resiliencia, de acuerdo al valor del CBR, se recomienda utilizar las siguientes ecuaciones de correlación:

$Mr = 4326 \times \ln CBR + 241$	para suelos con CBR > 20 %
$Mr = 3000 \times CBR^{0.65}$	para suelos con CBR entre 7.2 % y 20 %
$Mr = 1500 \times CBR$	para suelos con CBR entre 7.2 % y 20 %
Ecuación recomendada por el MEPDG (Mechanistic Empirical Pavement Design Guide)	
$Mr \text{ (psi)} = 2555 \times CBR^{0.64}$	

Tabla 2.7.-módulos resilientes "Mr", según el CBR

- I. 3.1.3.8 Perdida o diferencia entre índices de servicio inicial y terminal "ΔPSI"
- El cambio o perdida en la calidad de servicio que la carretera proporciona al usuario, se define en el método con la siguiente ecuación:
  - PSI = índice de servicio presente

$$\Delta PSI = P_o - P_t$$

Dónde:

- ΔPSI = diferencia entre los índices de servicio inicial u original y el final o terminal deseado
- $P_o$  = índice de servicio inicial ( 4.5 para pavimentos rígidos y 4.2 para flexibles)
- $P_t$  = índice de servicio terminal, para el cual AASHTO maneja en su versión 1993 valores de 3.0, 2.5 y 2.0 recomendando 2.5 o 3.0 para caminos principales y 2.0 para secundarios.

PSI	Transitabilidad
0 – 1	Muy malo
1 – 2	Malo
2 – 3	Regular
3 – 4	Bueno
4 - 5	Muy bueno

Tabla 2.8.-transitabilidad

## J. Determinación de los coeficientes estructurales por capas

$$SN_{req} = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3$$

Figura 2.5.-Determinación de los coeficientes estructurales por capas

Donde

- $a_1$ ,  $a_2$  y  $a_3$  = coeficientes de capa representativos de carpeta, base y subbase respectivamente.
- $D_1$ ,  $D_2$  y  $D_3$  = espesor de la carpeta, base y sub base respectivamente.
- $m_2$  y  $m_3$  = coeficientes de drenaje para base y sub base respectivamente
- para la obtención de los coeficientes de capa  $a_1$ ,  $a_2$  y  $a_3$ deberan utilizarse las siguientes figuras o ábacos, en donde se representan valores de correlaciones hasta de cinco diferentes de laboratorio: Modulo Elástico, CBR, R-valor, Texas triaxial, VRS.

Grafico para determinar el coeficiente estructural de capa "a1" en función del módulo elástico del concreto asphaltico

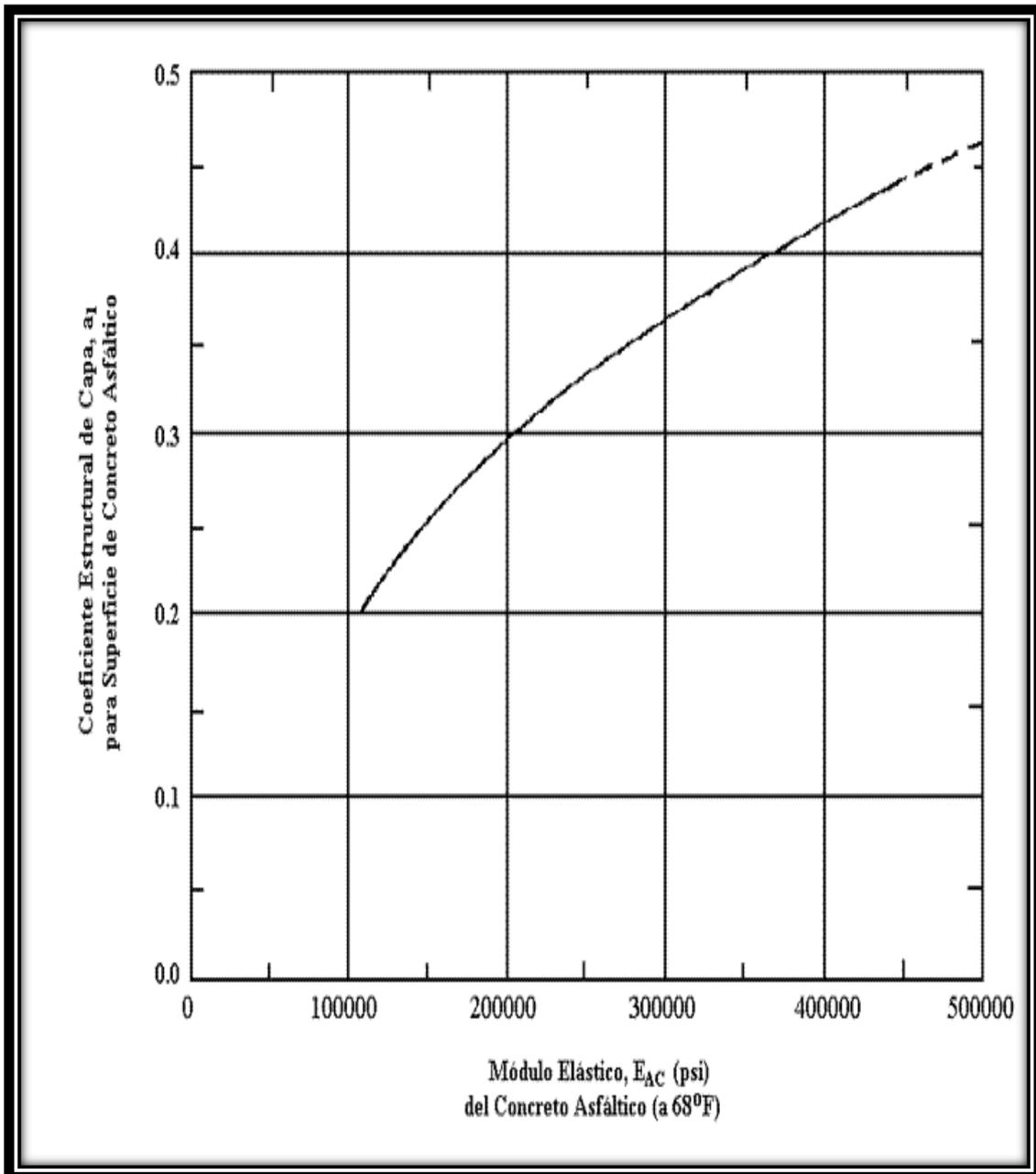


Gráfico 2.1.-Coeficiente estructural "a1"

Variación de los coeficientes de capa "a2" en bases granulares

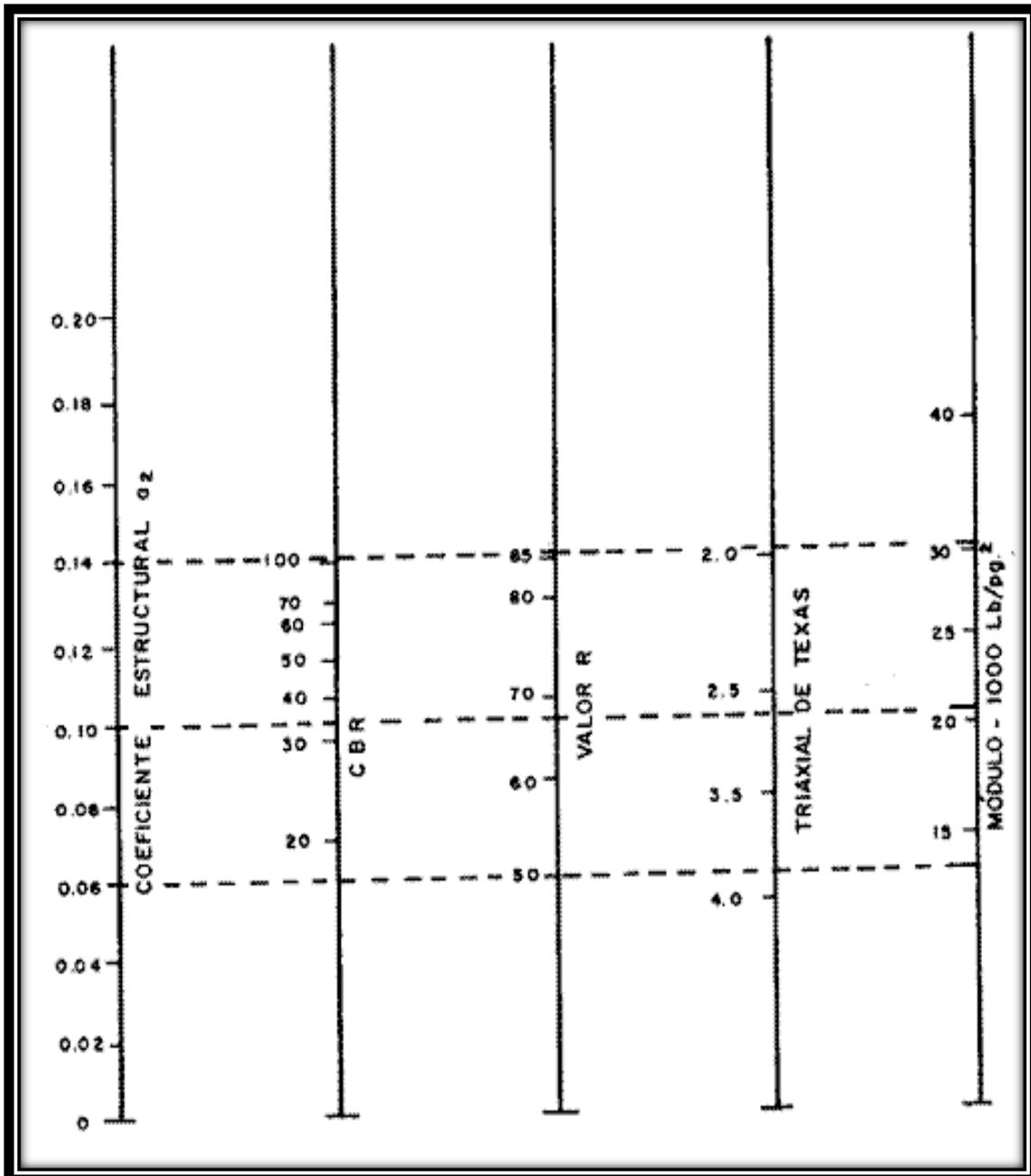


Gráfico 2.2.-Coeficiente estructural "a2"

Variación de los coeficientes de capa "a3" en subbases granulares

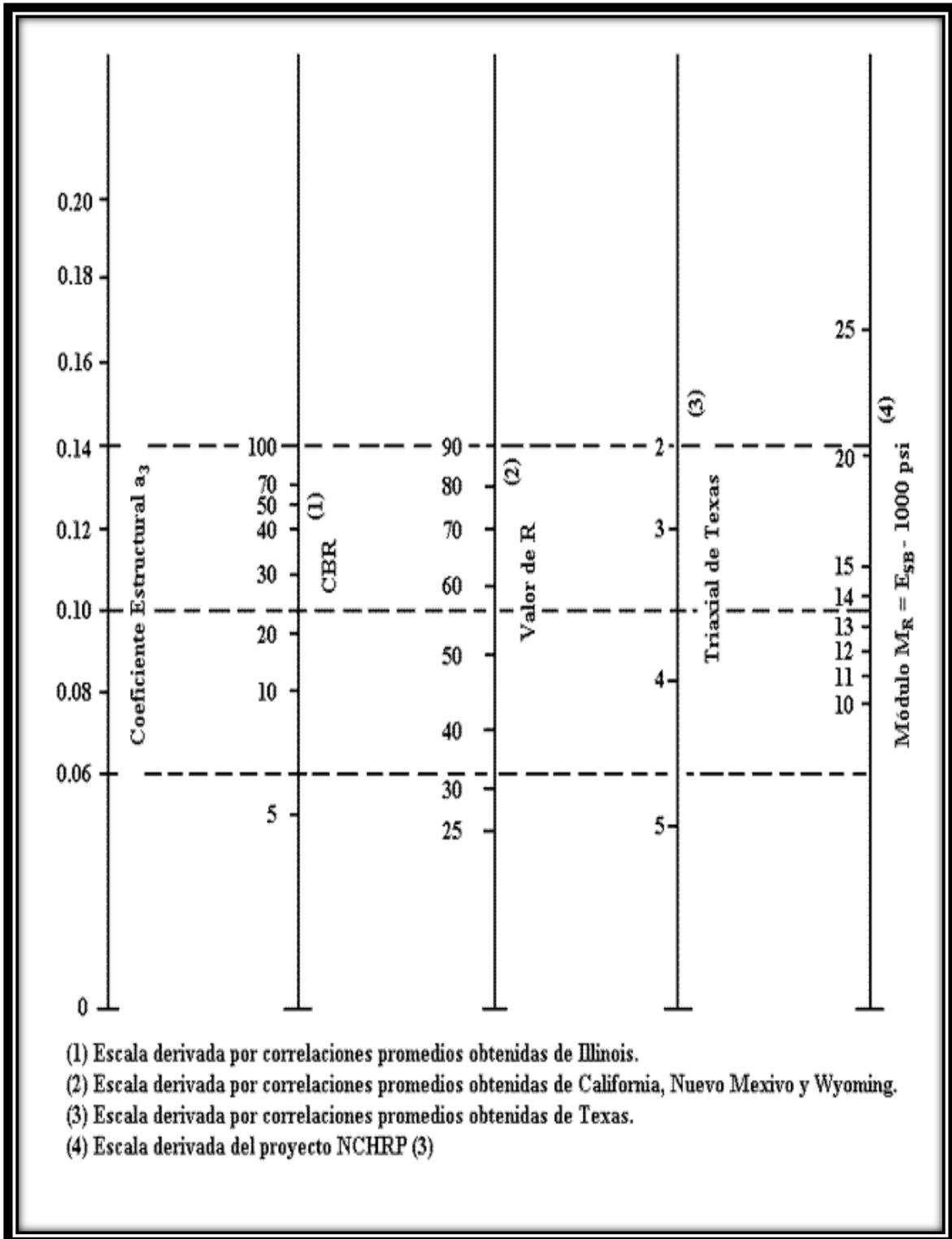


Grafico2.3.-Coeficiente estructural "a3"

Valoraciones recomendados para modificar los coeficientes estructurales de capa de bases y subbases en pavimentos flexibles

#### K. Determinación del coeficiente de drenaje

En la tabla siguiente se presentan los valores recomendados para  $m_2$  y  $m_3$  (bases y subbases granulares sin estabilizar) en función de la calidad de drenaje y el porcentaje del tiempo a lo largo de un año, en el cual la estructura del pavimento pueda estar expuesta a niveles de humedad próximos a la saturación.

La superficie de rodamiento elaborada concreto asfáltico, el método no considera un posible efecto por el drenaje, por lo que en la ecuación de diseño solo intervienen valores de  $m_2$  y  $m_3$  y no se asigna valor para  $m_1$  correspondiente a la carpeta.

calidad de drenaje	% de tiempo en que el pavimento esta expuesto a niveles de humedad proximos a la saturacion			
	< 1 %	1 - 5 %	5 - 25 %	> 25 %
excelente	1.40 - 1.35	1.35 - 1.30	1.30 - 1.20	1.20
Bueno	1.35 - 1.25	1.25 - 1.15	1.15 - 1.00	1.00
Regular	1.25 - 1.15	1.15 - 1.05	1.00 - 0.80	0.80
Pobre	1.15 - 1.05	1.05 - 0.80	0.80 - 0.60	0.60
Muy pobre	1.05 - 0.95	0.95 - 0.75	0.75 - 0.40	0.40

Tabla 2.9.-Coeficiente de drenaje "m"

#### L. Factor de distribución por carril

Para el cálculo de los espesores  $D_1$ ,  $D_2$  y  $D_3$  (en pulgadas), el método sugiere respetar los siguientes valores mínimos, en función del tránsito en ejes equivalentes sencillos acumulados:

Tránsito (ESAL 's) en eje equivalentes	Carpetas de concreto asfáltico	Bases granulares
Menor de 50.000	1.0 o T.S.	4.0
50001 – 150.000	2.0	4.0
150.001 – 500.000	2.5	4.0
500.001 – 2'000.000	3.0	6.0
2'000.001 – 7'000.000	3.5	6.0
Mayor de 7'000.000	4.0	6.0

Tabla2.10.-Factor de distribución por carril

M. 3.1.3.12 Configuración de la sección estructural para un pavimento flexible según AASHTO

Deberá reconocerse que para pavimentos flexibles, la estructura es un sistema de varias capas y por ello deberá diseñarse de acuerdo a ello.

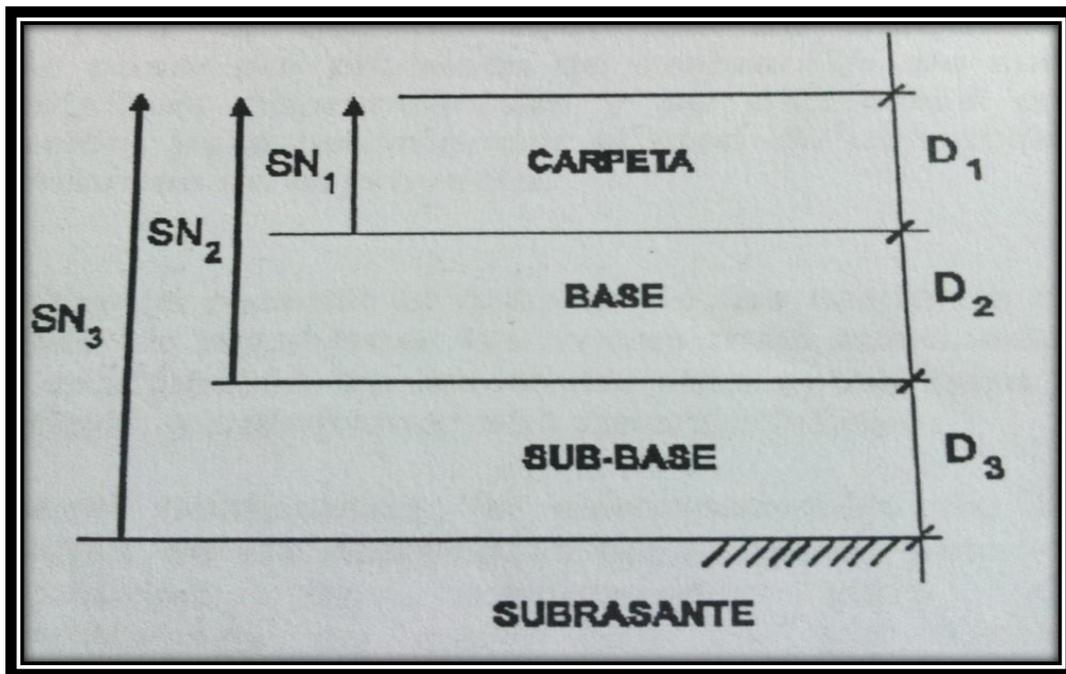


Figura 2.6.-Configuración estructural del pavimento flexible

Ecuación fundamental de diseño AASHTO 1993

$$\log W_{18} = Z_R S_O + 9.36 \log(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log(\Delta PSI)}{0.40 + \frac{4.2 - 1.5}{1094}} + 2.32 \log M_R - 8.07$$

Figura 2.7.-Ecuación para hallar Sn req AASTO 1993

$$SN_{prop} = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3$$

SN req = SN <sub>prop</sub>
-----------------------------

N. 3.1.3.13 Determinación del coeficiente estructural para suelo-cemento

Para el diseño suelo cemento, se sigue los mismos pasos para hallar el SN<sub>req</sub>, que anteriormente hemos podido nombrar. Los cambios que se realizan son al momento de hallar el SN<sub>prop</sub>, ya que utilizamos otra tabla para poder hallar en este caso un "a2", que es diferente al anterior, porque estamos usando un diseño diferente que es en este caso el suelo cemento.

En la gráfica que vamos a mostrar a continuación, se trabaja con el f'c, que lo tenemos que convertir a PSI, la conversión es equivalente a:

1 PSI = 0.0703 kg/cm <sup>2</sup>
-----------------------------------

Después de hacer la conversión a PSI, ingresamos a la tabla con el valor hallado y encontramos el "a2", y esta lo ingresamos a la fórmula para poder hallar el SN<sub>prop</sub>.

$$SN_{prop} = a_2 D_2 m_2$$

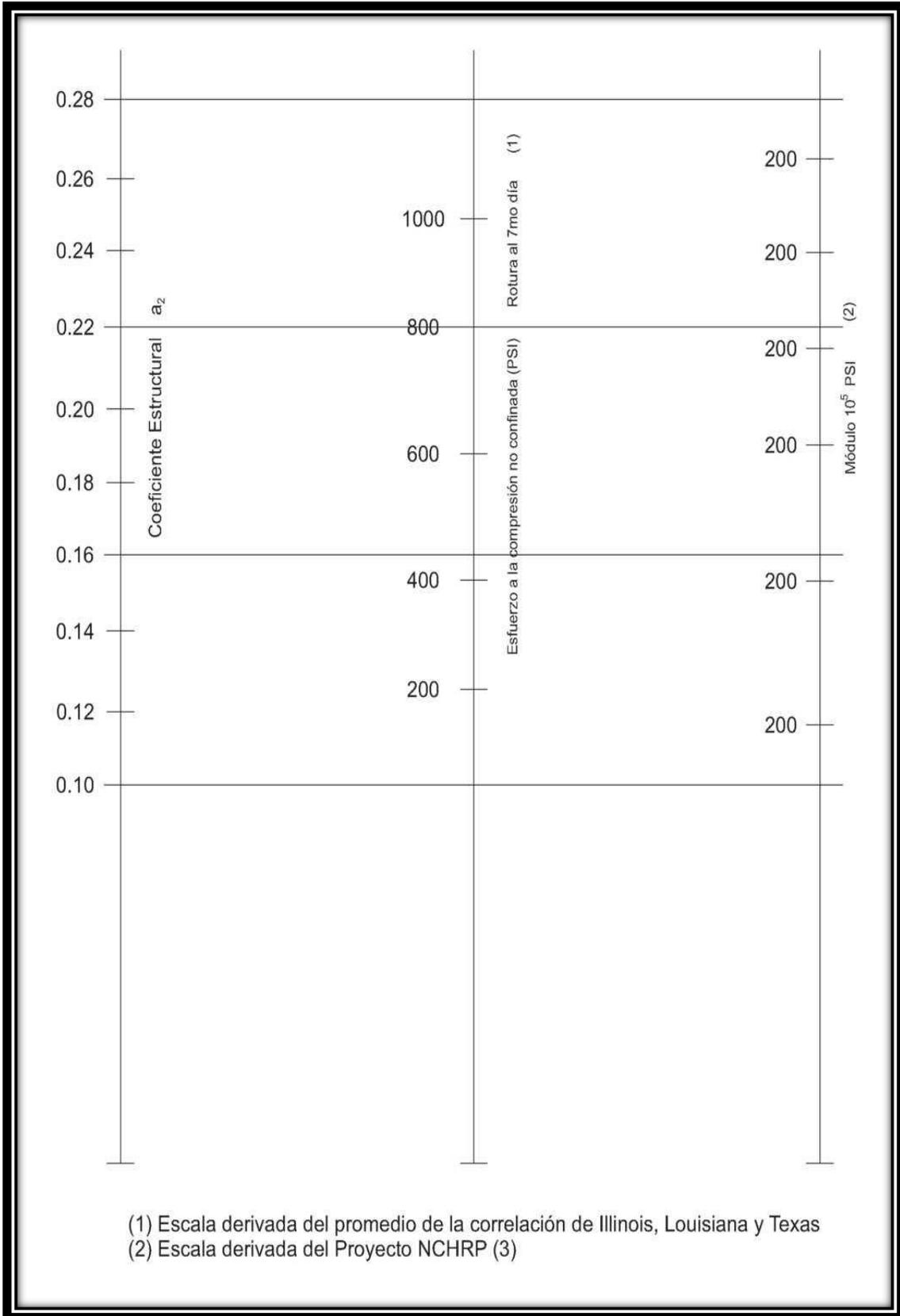


Gráfico 2.4.-Coeficiente estructural Suelo - Cemento

### 3.3. METODO DE DISEÑO NAASRA

Para el diseño de pavimentos "afirmados" se presenta una ecuación de un método empírico de NAASRA (National Association of Australian State Road: Asociación Nacional de Vialidad del Estado de Australia) para el diseño de pavimentos, la referencia data de 1979. NAASRA se convirtió en lo que actualmente se le conoce como AUSTRARROADS, y poseen procedimientos de diseños actualizados, que contempla límite de deformaciones a nivel subrasante, deflexiones y pérdida de la capa de afirmado por efecto de clima y perfilados propios del mantenimiento.<sup>20</sup>

La ecuación del método NAASRA, (National Association of Australian State Road Authorities, hoy AUSTROADS) que relaciona el valor soporte del suelo (CBR) y la carga actuante sobre el afirmado, expresada en número de repeticiones de Ejes Equivalentes (EE)

Donde:

$$e = (219 - 211 * (\log_{10} \text{CBR}) + 58 * (\log_{10} \text{CBR})^2) * \log_{10} (\text{Nrep} / 120)$$

Donde:

e = Espesor de la capa de afirmado en mm.

CBR = Valor del CBR de la subrasante.

Nrep = Número de repeticiones de Ejes Equivalentes (EE) para el carril de diseño.

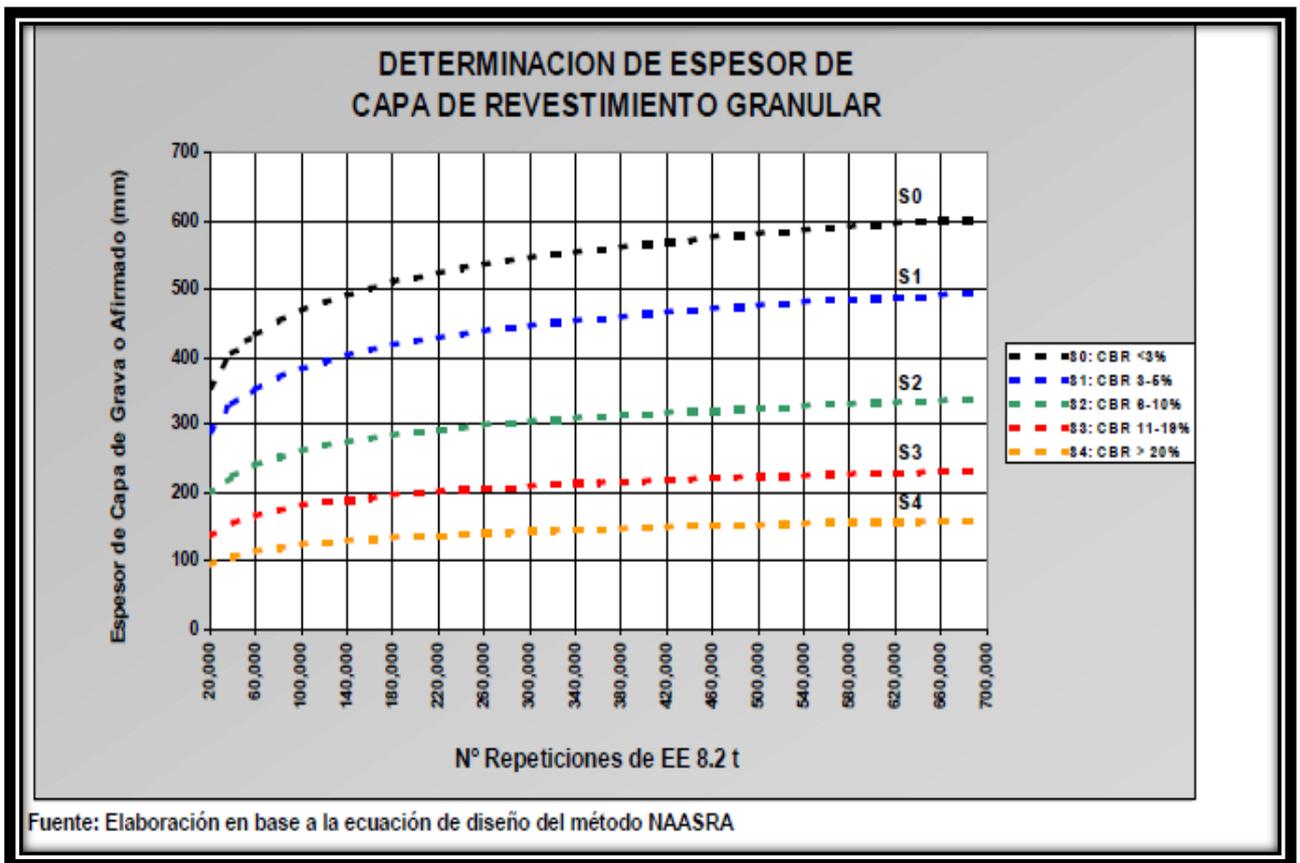


Gráfico 2.5.-Espesor capa estructural método NAASRA

## CAPÍTULO IV: PROCESO DE CONTRASTE DE HIPÓTESIS

### 4.1. GENERALIDADES DEL PROYECTO

El presente Proyecto comprende el Estudio de Suelos y Pavimentos del Estudio Definitivo del Proyecto "Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Pallasca – Mollepata – Mollebamba – Santiago de Chuco – Emp. Ruta 10, Tramo Mollepata – Pallasca".

El presente estudio se realizó con la finalidad de establecer las características geológicas y geotécnicas a lo largo de este tramo; donde se va identificar los diferentes perfiles estratigráficos y las diversas características geomecánicas que las mismas condicionan en el grado resistencia, para luego realizar las recomendaciones del caso, para efectos de proponer un pavimento correspondiente a las características estudiadas.

## A. UBICACIÓN

El proyecto se inicia en la localidad de Mollepata, Provincia de Santiago de Chuco, Región La libertad y la localidad de Pallasca, Provincia de Pallasca, región Ancash.



Ilustración 1. Ubicación del proyecto

## B. CLIMA

El clima de Pallasca es variado se respira un aire puro y agradable y seco; las cuatro estaciones están bien definidas, el invierno es de enero a abril, se caracteriza por abundantes lluvias muy importantes para la agricultura, la primavera es marzo a julio, el verano es de junio a septiembre, se caracteriza por un cielo despejado y un sol agradable, es época de cosecha, y el otoño es de septiembre a diciembre.

### C. GEOMORFOLOGIA

Regionalmente, según lo establecido por el INGEMMET, el área por donde se ubicará la carretera Mollepata – Pallasca, comprende tres unidades geomorfológicas: Superficie Puna, Etapa Valle y Etapa Cañón,

La Superficie Puna presenta una morfología suave y ondulada y se ubica entre una altitud de 4,200 a 4,400 m.s.n.m. En el caso de la carretera, su influencia tendría lugar desde el inicio del tramo (distrito de Pallasca) hasta una tercera parte de la carretera aproximadamente. Las etapas Valle y Cañón, en el caso de la carretera, presentan su influencia entre las progresivas intermedia y final de la carretera, donde ésta inicia su descenso hacia el río Tablachaca y su ascenso hacia el distrito de Mollepata.

Localmente la carretera Pallasca – Mollepata, puede ser diferenciada en dos grandes unidades:

- La primera de lomadas y taludes, la cual se desarrolla desde el km. 0+000 hasta el km. 11+860 aprox., donde la vía se desarrolla por terrenos de lomadas de suave pendiente (en menor proporción), taludes bajos, hasta de cerros de considerable altura con taludes de corte abruptos, que predominan, entre estas progresivas.
- La segunda, la cual se inicia en el km. 11+860 aprox., y donde la vía desciende sobre el flanco izquierdo del valle del río Tablachaca. Inicialmente mediante tangentes largas para luego pasar a desarrollar una serie de curvas y contra curvas con tangentes cortas y radios muy reducidos hasta llegar al río Tablachaca, desde donde inicia su ascenso hacia Mollepata mediante tangentes cortas, radios reducidos y pendientes abruptas.

### D. ESTRATIGRAFIA

Para la identificación aproximada de las unidades estratigráfica que afloran a lo largo de la carretera Pallasca – Mollepata, se tomó como referencia la información del INGEMMET (Boletines N° 60, hojas 17-h y 17-i); información que fue correlacionado con las características de las rocas y/o suelos que afloran en los diferentes cortes y alrededores de la carretera.

Las unidades estratigráficas que tendrían su influencia a nivel regional, dentro del área de ubicación de la carretera o en sus proximidades (por su cercanía), según lo estudiado por el INGEMMET, serían las siguientes (ordenadas de las más antiguas a las más recientes):

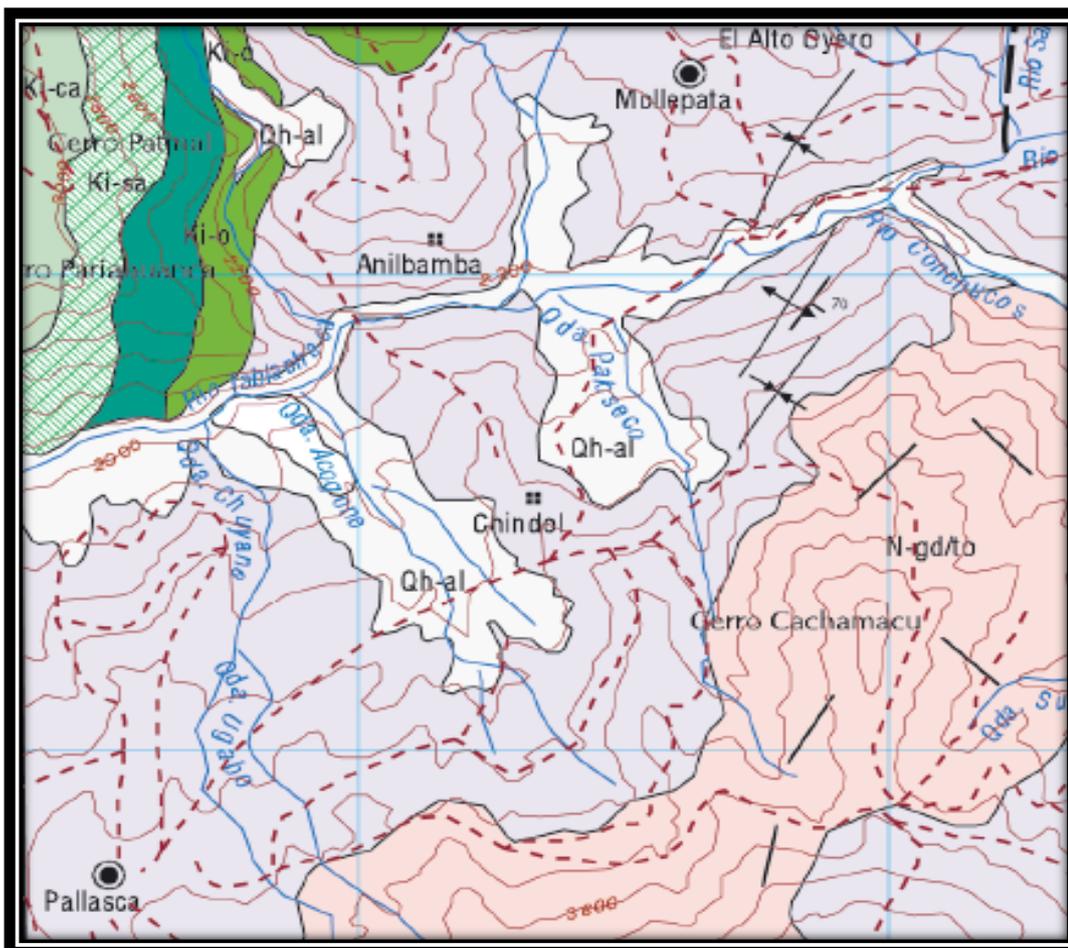


Figura 3.1. En la figura se aprecia las unidades estratigráficas, que tienen influencia en el área de ubicación de la carretera. De color celeste la Formación Chicama (Js-ch); de naranja rocas intrusivas (N gd/to) y de colores grises los depósitos cuaternarios.

#### E. TOPOGRAFIA, TRAZO Y DISEÑO VIAL

El tramo de la Carretera Mollepata-Pallasca empieza en el Distrito de Pallasca en el Jr. Gonzales Velarde (Km 0+000) y termina en las afueras del Distrito de Mollepata – La Libertad (Km 29+417.172), siendo la longitud de estudio de 29.417 Km, en el inicio de nuestro tramo en estudio se realizó una variante la cual denominaremos “Variante Pallasca” que empalma en el Km 0+380 del “Tramo Pallasca-Mollepata”, la variante tiene una longitud de 1.156 Km, la cual sumado con nuestro tramo en estudio da una Longitud total de 30.193 Km.

Descripción	Inicio	Fin	Longitud
Variante Pallasca	0+000	1+156.212	1+156.212
Longitud tramo Pallasca-Mollepata	0+380	29+417.172	29+037.172
Longitud Total del Tramo			30+193.384

Tabla 3.1.- longitud total de la carretera

El actual tramo desde el inicio hasta el centro poblado de Shindol (Km 9+040) son zonas para sembríos en donde predomina una orografía tipo 3, la carretera tiene una superficie de rodadura que se encuentra en mal estado presentando ahuellamientos longitudinales a lo largo de su superficie originados posiblemente por la sobrecarga de camiones, tiene un ancho de plataforma que varía entre 5 a 6m incluido berma y es de un solo carril a lo largo de este tramo se aprecia alcantarillas de piedra que son usadas para regadío. Las cunetas existentes son de tierra.

Del poblado de Shindol (Km 9+040) empieza la bajada hacia el Río Tablachaca cuentan con un tratamiento superficial en mal estado y un ancho variable que va de 5 a 6m, su orografía predominante es de tipo 4 y tramos con sinuosidad alta; En el Km 13+700 empiezan las curvas de volteo con estructuras de concreto que ayudan al momento de realizar los giros, y predomina el desarrollo pendientes de hasta 12% Cruzando el Puente Chucusvalle (Rio Tablachaca) que es un puente provisional Bailey ubicado en la progresiva 20+780 empieza la subida hacia Mollepata, este tramo fue rehabilitado el año pasado por Provías por lo que cuenta con un tratamiento Bi capa, Estructuras de drenaje de concreto armado y Bordillos a lo largo de su recorrido, presenta una sinuosidad fuerte y orografía predominante tipo 4, como los demás tramos, este tramo es de un solo carril con ancho variables de 5 a 6m, gran cantidad de curvas de volteo y desarrollo con pendientes de hasta 12%.

## F. LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS

Los levantamientos topográficos, en general, para todo el proyecto de la carretera, ha sido realizados con toma de datos cada 20m en tramos en tangente y 10m en curva, 20m a cada lado del eje.

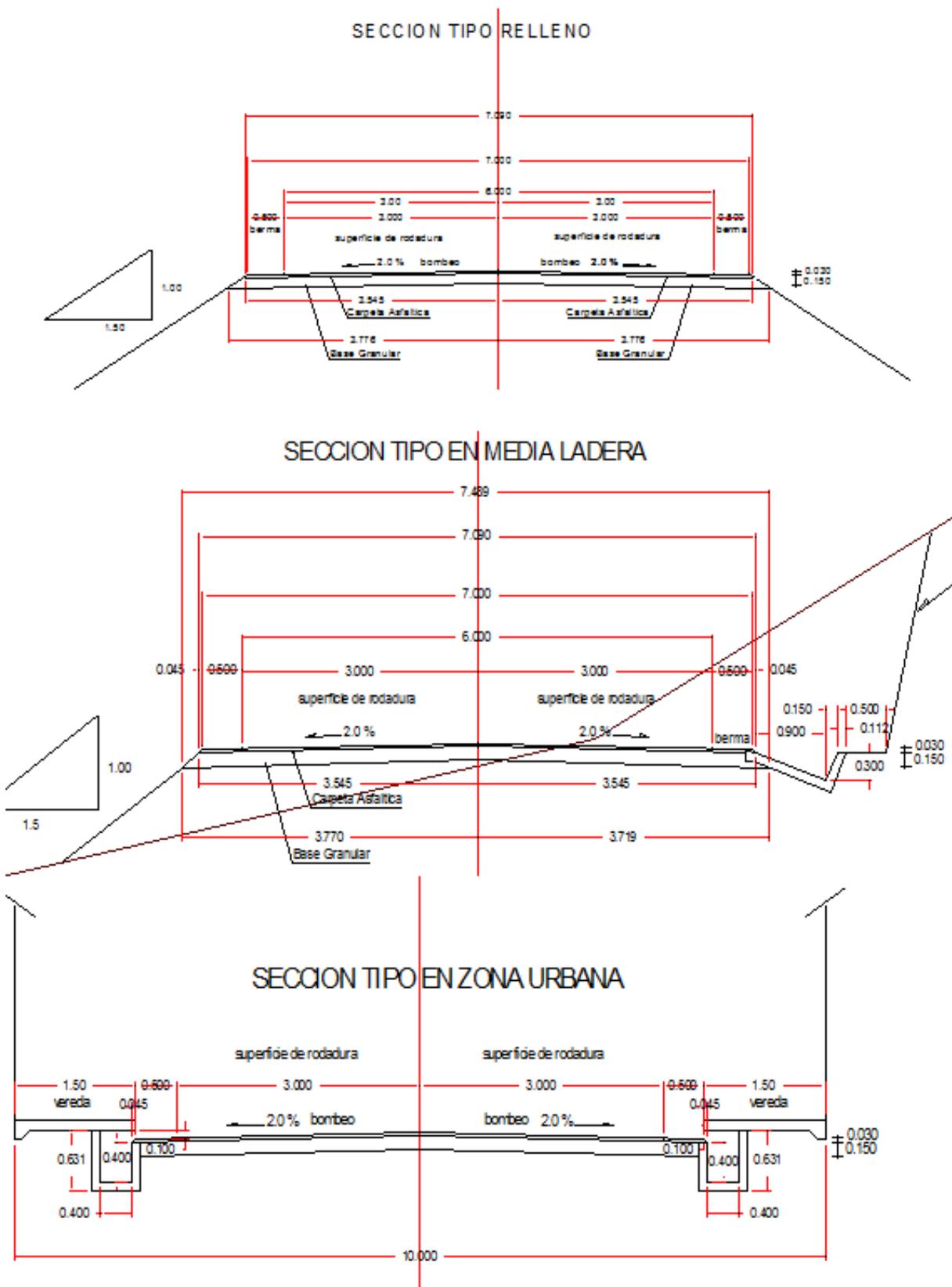
De esta manera se cuenta con topografía de:

- Zona urbana de Pallasca
- Rio Tablachaca
- Zona Urbana de Mollepata

Los levantamientos topográficos cuentan con:

- Eje de la calzada actual
- Bordes de caminos
- Bordes de veredas o calles en zonas urbanas
- Borde superior e inferior de cortes y terraplenes
- Puntos representativos del terreno en el área comprometida con obras de saneamiento y expropiaciones

G) Sección Tipo Sector III (Km 21+320 al Km 29+417)



#### 4.1.1. Estudio de suelos.

##### Condición actual de la superficie de rodadura

La superficie de rodadura actual del tramo Pallasca – Mollepata está conformada por un tratamiento superficial slurry seal.

El ancho de la carretera en todo el tramo es de aproximadamente 3.20m sin bermas a ambos lados.

La presencia, frecuencia y severidad de las fallas determino un sector a lo largo de todo el tramo, este sector fue calificado en base a tres categorías básicas: malo, regular y bueno.

La característica para la superficie de rodadura de todo el sector presenta ahuellamiento, baches, grietas longitudinales, grietas transversales, se observa el desgaste de la superficie de rodadura debido al tránsito que va entre los poblados de Pallasca-Mollepata y el deterioro del tratamiento superficial, esto se realizó visualmente.

Se efectuó la descripción de la condición actual de la superficie tomando como referencia el Manual Técnico TM 5-626 Unsurfaced Road Maintenance Management el cual establece siete tipos de falla que afectan a los caminos de tierra, los cuales se describen a continuación.

a) Sección transversal inapropiada, una sección transversal es inadecuada cuando no presenta la forma y el adecuado peralte para poder llevar el agua hacia la cuneta.

b) Inadecuado drenaje de la carretera, el drenaje se convierte en un problema cuando las cunetas y las alcantarillas no tienen las condiciones suficientemente buenas para llevar en forma directa el agua de escorrentía debido a un inadecuado perfil o falta de mantenimiento.

c) Corrugaciones o encalaminado (también conocido como ondulaciones) son las deformaciones muy próximas entre sí y a intervalos más o menos regulares. Las ondas son perpendiculares a la dirección del tráfico. Este tipo falla es generalmente causado por el tráfico y el agregado suelto. Estos cantos usualmente se forman en las cuestas, en curvas, en las zonas de

aceleración o desaceleración, o en las zonas donde la carretera es blanda o con baches.

d) Polvo, el desgaste del tráfico en las carreteras sin asfaltar, hace que las partículas del suelo ligante se suelten al paso del tráfico y se generen nubes de polvo las cuales representan peligro para los vehículos que circulan por la vía así como problemas ambientales significativos.

e) Baches (huecos), Los baches son depresiones en forma de cuenco en la superficie de la carretera. Por lo general son menos de 3 pies (1 metro) de diámetro. Los baches se producen cuando el tráfico desgasta pequeñas piezas de la superficie de la carretera. Crecen más rápido cuando el agua se acumula dentro del agujero. Luego el camino continúa desintegrarse por aflojamiento material de la superficie o puntos débiles en los suelos subyacentes.

f) Ahuellamiento, es una depresión sobre la superficie en la trayectoria de la rueda que es paralela la línea central del camino. Los ahuellamientos son causados por una deformación permanente en cualquiera de las capas de la carretera o la subrasante. Son el resultado de pases repetidos del vehículo, especialmente cuando el suelo de la carretera es blando.

g) Agregados sueltos, El desgaste de tráfico en caminos de tierra hace que con el tiempo se las partículas más grandes de agregado pierdan ligante y se suelten. Esto nos lleva a perder las partículas de agregado en la superficie de la carretera o el hombro.

Tomando en consideraciones las fallas que se presenta en el sector así como su frecuencia y severidad se ha calificado a todo el tramo en mal estado.



Km20 +400 ahuellamiento



Km20 +870 ahuellamiento  
y baches



Km22+110 ahuellamiento



Km22+350 ahuellamiento



Km23+000 ahuellamiento



Km24+000 ahuellamiento



Km25+000, ahuellamiento



Km26+000, ahuellamiento



Km27+000, ahuellamiento



Km28+000 ahuellamiento



Km29+000, ahuellamiento



Km29+417, ahuellamiento

#### 4.1.2. Investigación de campo

##### A. Excavación de calicatas

Se excavaron calicatas, con herramientas manuales hasta una profundidad de 1.50 m, distanciadas cada 200 m alternadas a ambos lados de la franja de terreno donde se proyecta la carretera.

En cada calicata excavada se consignó mediante un registro de excavación, la descripción de cada uno de los estratos encontrados, la ubicación con respecto al eje de la carretera y el registro fotográfico de la calicata, todo esto siguiendo el procedimiento de la norma ASTM D-2488.

##### B. Muestras extraídas

Se obtuvieron muestras disturbadas que fueron descritas e identificadas con la ubicación, número de muestra y profundidad luego fueron colocadas en bolsas de polietileno para su traslado al laboratorio PEINSAC donde se efectuaron los ensayos.

La tabla 4.1 muestra la relación de calicatas ejecutadas, su progresiva, la profundidad el número de muestras obtenidas y sus coordenadas de ubicación.

Tabla 4.1. Relación de calicatas

PR.	LADO	Nº CALIC	PROF.	MUESTRA No
20+000	Der	C-101	0.00-1.50	M-1
20+200	Eje	C-102	0.00-1.50	M-1
20+400	Der	C-103	0.00-1.40	M-1
20+400	Der	C-103	>1.40	S/M

PR.	LADO	Nº CALIC	PROF.	MUESTRA No
20+600	Izq	C-104	0.00-1.50	M-1
20+800	Izq	C-105	0.00-0.15	M-1
20+800	Izq	C-105	>0.15	S/M
21+000	Eje	C-106	0.00-1.20	M-1
21+000	Eje	C-106	>1.20	S/M
21+200	Eje	C-107	0.00-1.50	M-1
21+400	Eje	C-108	0.00-1.50	M-1
21+600	Eje	C-109	0.00-1.50	M-1
21+800	Izq	C-110	0.00-0.20	M-1
21+800	Izq	C-110	>0.20	S/M
22+000	Der	C-111	0.00-0.20	M-1
22+000	Der	C-111	>0.20	S/M
22+200	Der	C-112	0.00-0.20	M-1
22+200	Der	C-112	0.20-1.50	M-2

PR.	LADO	Nº CALIC	PROF.	MUESTRA No
22+400	Der	C-113	0.00-0.20	M-1
22+400	Der	C-113	0.20-1.50	M-2
22+600	Der	C-114	0.00-0.35	M-1
22+600	Der	C-114	>0.35	S/M
22+800	Izq	C-115	0.00-1.50	M-1
23+000	Der	C-116	0.00-0.20	M-1
23+000	Der	C-116	0.20-1.50	M-2
23+200	Der	C-117	0.00-1.60	M-1
23+400	Izq	C-118	0.00-1.50	M-1
23+600	Der	C-119	0.00-1.50	M-1
23+800	Izq	C-120	0.00-1.50	M-1
24+000	Der	C-121	0.00-0.20	M-1
24+000	Der	C-121	>0.20	S/M
24+200	Izq	C-122	0.00-0.20	M-1

PR.	LADO	Nº CALIC	PROF.	MUESTRA No
24+200	Izq	C-122	>0.20	S/M
24+400	Der	C-123	0.00-1.50	M-1
24+600	Eje	C-124	0.00-0.20	M-1
24+600	Eje	C-124	>0.20	S/M
24+800	Izq	C-125	0.00-1.50	M-1
25+000	Izq	C-126	0.00-0.95	M-1
25+000	Izq	C-126	>0.95	S/M
25+200	Der	C-127	0.00-1.50	M-1
25+400	Der	C-128	0.00-1.00	M-1
25+400	Der	C-128	>1.00	S/M
25+600	Izq	C-129	0.00-0.40	M-1
25+600	Izq	C-129	>0.40	S/M
25+800	Eje	C-130	0.00-1.50	M-1
26+000	Izq	C-131	0.00-0.80	M-1
26+000	Izq	C-131	>0.80	S/M

PR.	LADO	Nº CALIC	PROF.	MUESTRA No
26+200	Der	C-132	0.00-0.40	M-1
26+200	Der	C-132	>0.40	S/M
26+400	Izq	C-133	0.00-0.25	M-1
26+400	Izq	C-133	>0.25	S/M
26+600	Izq	C-134	0.00-1.50	M-1
26+800	Izq	C-135	0.00-1.50	M-1
27+000	Der	C-136	0.00-0.35	M-1
27+000	Der	C-136	>0.35	S/M
27+200	Izq	C-137	0.00-0.15	M-1
27+200	Izq	C-137	>0.15	S/M
27+400	Izq	C-138	0.00-1.50	M-1
27+600	Eje	C-139	0.00-0.10	M-1
27+600	Eje	C-139	>0.10	S/M
27+800	Izq	C-140	0.00-0.70	M-1
27+800	Izq	C-140	>0.70	S/M

PR.	LADO	Nº CALIC	PROF.	MUESTRA No
28+000	Eje	C-141	0.00-1.00	M-1
28+000	Eje	C-141	>1.00	S/M
28+200	Izq	C-142	0.00-1.50	M-1
28+400	Der	C-143	0.00-1.50	M-1
28+600	Izq	C-144	0.00-0.30	M-1
28+600	Izq	C-144	>0.30	S/M
28+800	Der	C-145	0.00-0.30	M-1
28+800	Der	C-145	>0.30	S/M
29+000	Der	C-146	0.00-0.70	M-1
29+000	Der	C-146	>0.70	S/M
29+200	Der	C-147	0.00-0.80	M-1
29+200	Der	C-147	>0.80	S/M
29+400	Der	C-148	0.00-0.80	M-1
29+400	Der	C-148	>0.80	S/M

### C. Ensayo de campo y laboratorio

Para determinar las propiedades físicas y mecánicas del suelo de fundación se han realizado los ensayos sobre las muestras obtenidas de acuerdo a los procedimientos descritos en las normas de ensayos de materiales del MTC.

Tabla4.2. Ensayos realizados

Análisis Granulométrico por Tamizado	MTC E 107
Humedad Natural	MTC E 108
Límite Líquido	MTC E 110
Límite Plástico e índice de plasticidad	MTC E 111
Proctor Modificado	MTC E 115
Razón de soporte California (CBR)	MTC E 132

#### D. 4.2.4 Ensayos de laboratorio

Los resultados de los ensayos realizados sobre las muestras obtenidas en campo se muestran en la tabla siguiente.

PR.	LAD O	N° CALIC	PROF.	MUESTR A No	GRANULOMETRIA, % PASANDO LOS TAMICES										LIMITES DE CONSISTENCIA			CLASIFICACION		% HUM NAT.	PROCTOR		CBR		
					3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	# 4	# 10	# 40	# 200	L.L.	L.P.	I.P.	AASHTO		SUCS	MDS (g/cm3)	OCH (%)	95 %	100%
20+000	Der	C-101	0.00-1.50	M-1	100								100	96	77	69	55	52	45	39	33	23	21	18	3
20+200	Eje	C-102	0.00-1.50	M-1	100	91	81	80	76	64	60	52	40	23	12	22	NP	NP	A-1-a (0)	GM	1.9				50
20+400	Der	C-103	0.00-1.40	M-1	100	100	100	94	90	87	83	78	68	55	39	24	21	3	A-4 (0)	SM	9.1				
20+400	Der	C-103	>1.40	S/M					ROCA																
20+600	Izq	C-104	0.00-1.50	M-1	100	100	93	89	87	74	70	57	53	47	32	25	NP	NP	A-2-4 (0)	GM	4.1	2.225	6.9	20.7	
20+800	Izq	C-105	0.00-0.15	M-1	100	100	93	84	77	71	69	62	54	40	30	18	NP	NP	A-2-4 (0)	GM	1.9				
20+800	Izq	C-105	>0.15	S/M					ROCA																
21+000	Eje	C-106	0.00-1.20	M-1	100	99	89	85	81	73	63	49	38	28	15	24	18	6	A-2-4 (0)	GM-GC	5.2				
21+000	Eje	C-106	>1.20	S/M					ROCA																36.8

PR.	LAD O	Nº CALIC	PROF.	MUESTR A No	GRANULOMETRIA, % PASANDO LOS TAMICES											LIMITES DE CONSISTENCIA			CLASIFICACION		% HUM NAT.	PROCTOR		CBR	
					3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	# 4	# 10	# 40	# 200	L.L.	L.P.	I.P.	AASHTO	SUCS		MDS (g/cm3)	OCH (%)	95 %	100%
21+200	Eje	C-107	0.00-1.50	M-1	100	100	100	93	86	76	69	54	44	35	21	23	17	6	A-1-b (0 )	GM-GC	3.0	2.177	6.1	26.0	
21+400	Eje	C-108	0.00-1.50	M-1	100	100	91	83	80	73	67	54	39	17	7	14	NP	NP	A-1-a (0 )	SW-SM	5.0				
21+600	Eje	C-109	0.00-1.50	M-1	100								100	100	97	94	90	88	81	74	55	25	21	NP	NP
21+800	Izq	C-110	0.00-0.20	M-1	100	100	100	85	76	69	65	58	50	36	21	24	19	5	A-1-b (0 )	GM-GC	2.2				28.4
21+800	Izq	C-110	>0.20	S/M					ROCA																
22+000	Der	C-111	0.00-0.20	M-1	100	91	85	74	71	64	59	52	43	33	19	25	NP	NP	A-1-b (0 )	GM	6.0				
22+000	Der	C-111	>0.20	S/M					ROCA																
22+200	Der	C-112	0.00-0.20	M-1	100	96	88	75	68	58	52	40	31	20	10	17	NP	NP	A-1-a (0 )	GP-GM	2.8	2.237	6.5	36.0	

PR.	LAD O	Nº CALIC	PROF.	MUESTR A No	GRANULOMETRIA, % PASANDO LOS TAMICES											LIMITES DE CONSISTENCIA			CLASIFICACION		% HUM NAT.	PROCTOR		CBR	
					3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	# 4	# 10	# 40	# 200	L.L.	L.P.	I.P.	AASHTO	SUCS		MDS (g/cm3)	OCH (%)	95 %	100%
22+200	Der	C-112	0.20-1.50	M-2	100	100	98	97	95	90	84	67	55	43	37	31	21	11	A-6 ( 0 )	GC	3.0	2.053	10.2	19.4	31.1
22+400	Der	C-113	0.00-0.20	M-1	100	97	92	83	77	69	62	49	37	22	12	19	NP	NP	A-1-a ( 0 )	GW-GM	4.2				
22+400	Der	C-113	0.20-1.50	M-2	100	100	100	99	96	91	87	74	64	52	44	31	22	9	A-4 ( 1 )	SC	3.5				
22+600	Der	C-114	0.00-0.35	M-1	100	100	97	96	93	87	83	72	62	44	26	22	20	2	A-2-4 ( 0 )	SM	2.9				
22+600	Der	C-114	>0.35	S/M					ROCA																
22+800	Izq	C-115	0.00-1.50	M-1	100	97	95	90	87	81	77	69	63	51	31	27	20	6	A-2-4 ( 0 )	SM-SC	9.4				
23+000	Der	C-116	0.00-0.20	M-1	100	100	100	86	71	67	62	51	34	12	5	17	NP	NP	A-1-a ( 0 )	GP	2.1	2.155	7.9	19.7	46.9
23+000	Der	C-116	0.20-1.50	M-2	100	100	97	92	89	81	73	58	50	40	31	26	17	9	A-2-4 ( 0 )	GC	3.0	2.039	8.9	12.0	

PR.	LAD O	Nº CALIC	PROF.	MUESTR A No	GRANULOMETRIA, % PASANDO LOS TAMICES											LIMITES DE CONSISTENCIA			CLASIFICACION		% HUM NAT.	PROCTOR		CBR	
					3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	# 4	# 10	# 40	# 200	L.L.	L.P.	I.P.	AASHTO	SUCS		MDS (g/cm3)	OCH (%)	95 %	100%
23+200	Der	C-117	0.00-1.60	M-1	100	100	99	94	92	88	83	70	61	48	38	26	19	8	A-4 ( 0 )	SC	5.2				
23+400	lqz	C-118	0.00-1.50	M-1	100	100	100	94	90	84	79	65	59	46	34	24	17	6	A-2-4 ( 0 )	GM- GC	6.7				36.7
23+600	Der	C-119	0.00-1.50	M-1	100	93	92	91	90	86	81	65	59	49	39	27	18	9	A-4 ( 0 )	GC	6.1				
23+800	lqz	C-120	0.00-1.50	M-1	100	100	100	98	94	89	84	69	54	40	22	32	21	12	A-2-6 ( 0 )	SC	10.0	2.022	8.8	16. 7	
24+000	Der	C-121	0.00-0.20	M-1	100	100	93	86	84	75	69	58	46	32	21	21	16	6	A-1-b ( 0 )	GM- GC	2.4				
24+000	Der	C-121	>0.20	S/M					ROCA																
24+200	lqz	C-122	0.00-0.20	M-1	100	100	100	93	91	88	84	73	60	46	37	16	NP	NP	A-4 ( 0 )	SM	2.2				
24+200	lqz	C-122	>0.20	S/M					ROCA																
24+400	Der	C-123	0.00-1.50	M-1	100	100	100	100	94	87	83	73	57	38	25	26	17	9	A-2-4 ( 0 )	SC	8.0	2.044	9.3	14. 8	

PR.	LAD O	N° CALIC	PROF.	MUESTR A No	GRANULOMETRIA, % PASANDO LOS TAMICES											LIMITES DE CONSISTENCIA			CLASIFICACION		% HUM NAT.	PROCTOR		CBR	
					3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	# 4	# 10	# 40	# 200	L.L.	L.P.	I.P.	AASHTO	SUCS		MDS (g/cm3)	OCH (%)	95 %	100%
24+600	Eje	C-124	0.00-0.20	M-1	100	100	100	94	89	79	76	64	55	45	39	33	22	11	A-6 ( 1 )	GC	7.1				28.2
24+600	Eje	C-124	>0.20	S/M					ROCA																
24+800	lzq	C-125	0.00-1.50	M-1	100	100	100	93	92	88	84	71	55	34	25	30	23	8	A-2-4 ( 0 )	SC	8.0				
25+000	lzq	C-126	0.00-0.95	M-1	100	99	97	92	88	83	77	66	54	35	18	26	18	8	A-2-4 ( 0 )	SC	2.9	2.134	7.7	21.0	
25+000	lzq	C-126	>0.95	S/M					ROCA																44.9
25+200	Der	C-127	0.00-1.50	M-1	100	100	100	96	91	79	72	59	44	28	21	25	18	8	A-2-4 ( 0 )	GC	4.8				
25+400	Der	C-128	0.00-1.00	M-1	100	100	98	93	86	77	70	55	45	33	24	24	15	9	A-2-4 ( 0 )	GC	6.7				
25+400	Der	C-128	>1.00	S/M					ROCA																
25+600	lzq	C-129	0.00-0.40	M-1	100	100	91	79	71	57	50	36	25	12	6	31	27	4	A-1-a ( 0 )	GW-GM	6.1				
25+600	lzq	C-129	>0.40	S/M					ROCA																

PR.	LAD O	Nº CALIC	PROF.	MUESTR A No	GRANULOMETRIA, % PASANDO LOS TAMICES											LIMITES DE CONSISTENCIA			CLASIFICACION		% HUM NAT.	PROCTOR		CBR	
					3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	# 4	# 10	# 40	# 200	L.L.	L.P.	I.P.	AASHTO	SUCS		MDS (g/cm3)	OCH (%)	95 %	100%
25+800	Eje	C-130	0.00-1.50	M-1	100	100	100	99	98	90	84	69	64	58	49	26	18	8	A-4 ( 1 )	GC	4.6				
26+000	Izq	C-131	0.00-0.80	M-1	100	97	93	90	87	83	79	70	58	47	35	19	15	4	A-4 ( 0 )	SM	1.2	2.211	5.9	16. 4	
26+000	Izq	C-131	>0.80	S/M					ROCA																
26+200	Der	C-132	0.00-0.40	M-1	100	84	80	73	70	67	65	58	50	39	27	20	15	5	A-2-4 ( 0 )	GM- GC	3.8				19.3
26+200	Der	C-132	>0.40	S/M					ROCA																
26+400	Izq	C-133	0.00-0.25	M-1	100	100	93	84	79	74	71	63	54	41	28	18	15	3	A-2-4 ( 0 )	GM	3.0				
26+400	Izq	C-133	>0.25	S/M					ROCA																
26+600	Izq	C-134	0.00-1.50	M-1	100	100	97	93	91	85	81	72	61	46	32	22	16	6	A-2-4 ( 0 )	SM-SC	2.7				
26+800	Izq	C-135	0.00-1.50	M-1	100	100	97	94	86	81	77	69	61	47	32	24	14	10	A-2-4 ( 0 )	SC	3.8	2.087	7.7	12. 9	

PR.	LAD O	N° CALIC	PROF.	MUESTR A No	GRANULOMETRIA, % PASANDO LOS TAMICES											LIMITES DE CONSISTENCIA			CLASIFICACION		% HUM NAT.	PROCTOR		CBR	
					3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	# 4	# 10	# 40	# 200	L.L.	L.P.	I.P.	AASHTO	SUCS		MDS (g/cm3)	OCH (%)	95 %	100%
27+000	Der	C-136	0.00-0.35	M-1	100	98	93	82	80	73	69	61	54	41	27	28	23	5	A-2-4 (0)	GM	1.4				
27+000	Der	C-136	>0.35	S/M					ROCA																38.5
27+200	lzq	C-137	0.00-0.15	M-1	100	92	92	86	82	72	66	54	42	27	14	22	NP	NP	A-1-a (0)	GM	2.5				
27+200	lzq	C-137	>0.15	S/M					ROCA																
27+400	lzq	C-138	0.00-1.50	M-1	100	100	91	82	74	62	56	43	36	28	15	21	NP	NP	A-1-b (0)	GM	4.2	2.040	9.5	15.4	
27+600	Eje	C-139	0.00-0.10	M-1	100	100	100	85	75	63	58	51	39	25	15	31	NP	NP	A-1-b (0)	GM	3.4				
27+600	Eje	C-139	>0.10	S/M					ROCA																
27+800	lzq	C-140	0.00-0.70	M-1	100	100	93	78	71	59	53	42	33	23	13	24	19	5	A-1-a (0)	GM-GC	5.2				
27+800	lzq	C-140	>0.70	S/M					BOLON ERIAS																

PR.	LAD O	N° CALIC	PROF.	MUESTR A No	GRANULOMETRIA, % PASANDO LOS TAMICES											LIMITES DE CONSISTENCIA			CLASIFICACION		% HUM NAT.	PROCTOR		CBR	
					3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	# 4	# 10	# 40	# 200	L.L.	L.P.	I.P.	AASHTO	SUCS		MDS (g/cm3)	OCH (%)	95 %	100%
28+000	Eje	C-141	0.00-1.00	M-1	100	100	86	74	66	60	56	47	36	26	16	16	NP	NP	A-1-b (0 )	GM	3.3				
28+000	Eje	C-141	>1.00	S/M					ROCA																61.4
28+200	Izq	C-142	0.00-1.50	M-1	100	100	100	94	88	80	76	65	58	48	31	23	17	6	A-2-4 (0 )	GM-GC	9.0				
28+400	Der	C-143	0.00-1.50	M-1	100	100	92	87	74	63	55	39	31	21	11	23	19	4	A-1-a (0 )	GP-GC	8.1	2.161	7.4	27.4	
28+600	Izq	C-144	0.00-0.30	M-1	100	97	94	82	73	60	53	43	34	22	11	22	NP	NP	A-1-a (0 )	GW-GM	3.4				
28+600	Izq	C-144	>0.30	S/M					ROCA																
28+800	Der	C-145	0.00-0.30	M-1	100	100	100	98	90	84	82	79	72	61	41	30	27	3	A-4 (0 )	SM	6.8				
28+800	Der	C-145	>0.30	S/M					ROCA																
29+000	Der	C-146	0.00-0.70	M-1	100	100	100	87	82	67	60	48	43	36	26	25	19	6	A-2-4 (0 )	GM-GC	5.6				
29+000	Der	C-146	>0.70	S/M					ROCA																

PR.	LAD O	Nº CALIC	PROF.	MUESTR A No	GRANULOMETRIA, % PASANDO LOS TAMICES											LIMITES DE CONSISTENCIA			CLASIFICACION		% HUM NAT.	PROCTOR		CBR	
					3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	# 4	# 10	# 40	# 200	L.L.	L.P.	I.P.	AASHTO	SUCS		MDS (g/cm3)	OCH (%)	95 %	100%
29+200	Der	C-147	0.00-0.80	M-1	100	100	100	97	91	79	70	59	53	47	37	37	22	15	A-6 ( 1 )	GC	7.8				23
29+200	Der	C-147	>0.80	S/M					ROCA																
29+400	Der	C-148	0.00-0.80	M-1	100	97	91	85	78	70	61	47	37	28	22	24	18	6	A-2-4 ( 0 )	GM- GC	1.4	2.135	6.2	21. 1	
29+400	Der	C-148	>0.80	S/M					ROCA																

### E. Condición estructural del terreno de fundación

Con la finalidad de conocer la capacidad de soporte que presenta el suelo de fundación parámetro importante en el diseño del pavimento se ejecutaron 13 ensayos de CBR, los resultados se muestran en la tabla 4.3

Tabla 4.3 CBR de suelo de fundación

N°	PROG.	LADO	N° CALIC	PROF.	MUESTRA No	CLASIFICACION		CBR	
						AASHTO	SUCS	95%	100%
1	19+800	Eje	C-100	0.00-1.50	M-1	A-1-b ( 0 )	GM	23.1	40.7
2	20+600	Izq	C-104	0.00-1.50	M-1	A-2-4 ( 0 )	GM	20.7	36
3	21+200	Eje	C-107	0.00-1.50	M-1	A-1-b ( 0 )	GM-GC	26.0	44.4
4	22+200	Der	C-112	0.20-1.50	M-2	A-6 ( 0 )	GC	14.1	19.4
5	23+000	Der	C-116	0.20-1.50	M-2	A-2-4 ( 0 )	GC	12.0	23.8
6	23+800	Izq	C-120	0.00-1.50	M-1	A-2-6 ( 0 )	SC	16.7	31.4
7	24+400	Der	C-123	0.00-1.50	M-1	A-2-4 ( 0 )	SC	14.8	23.1
8	25+000	Izq	C-126	0.00-0.95	M-1	A-2-4 ( 0 )	SC	21.0	35.6
9	26+000	Izq	C-131	0.00-0.80	M-1	A-4 ( 0 )	SM	16.4	24.9
10	26+800	Izq	C-135	0.00-1.50	M-1	A-2-4 ( 0 )	SC	12.9	27.2
11	27+400	Izq	C-138	0.00-1.50	M-1	A-1-b ( 0 )	GM	15.4	32.3
12	28+400	Der	C-143	0.00-1.50	M-1	A-1-a ( 0 )	GP-GC	27.4	46.8
13	29+400	Der	C-148	0.00-0.80	M-1	A-2-4 ( 0 )	GM-GC	21.1	34.7

De la tabla 4.3 se puede apreciar que los valores de CBR al 95% para todo el tramo existen valores desde 12.0 hasta 27.4

### F. Análisis de los resultados de laboratorio

La estratigrafía del terreno nos muestra a lo largo de todo el tramo de la carretera básicamente dos estratos de suelo bien definidos, el primero

conformado por una capa de material granular de rodadura y la segunda conformada principalmente por gravas (31%), roca (44%), arenas (19%) y en un menor porcentaje por limos (5%) y arcillas (1%), tal como se muestra en la ilustración 4.1 y 4.2.

Los valores de CBR al 95% calificada de buena a excelente están en 100%; esto nos indica que el suelo tiene una buena resistencia en la subrasante en la mayor parte del tramo en estudio.

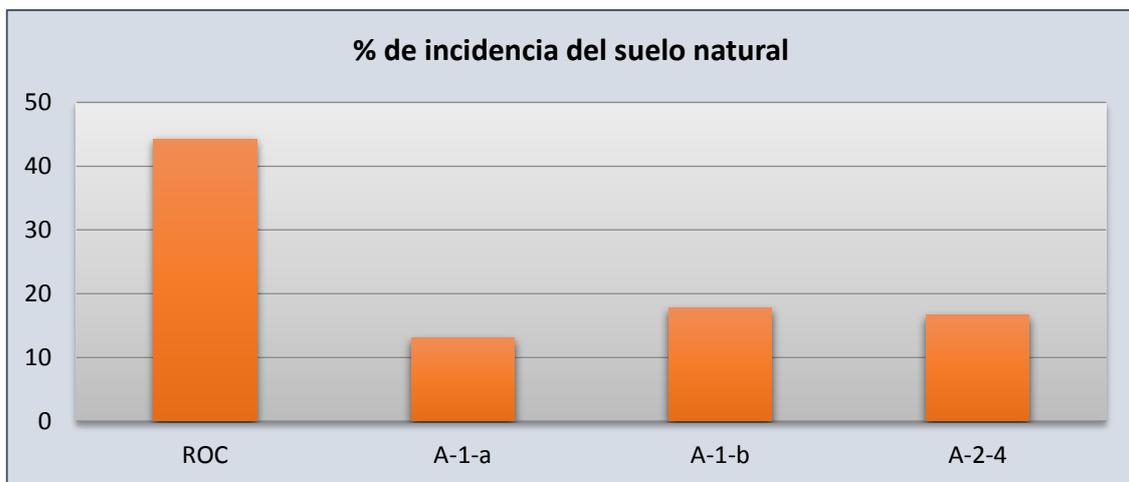


Ilustración 4.1: incidencia del suelo natural

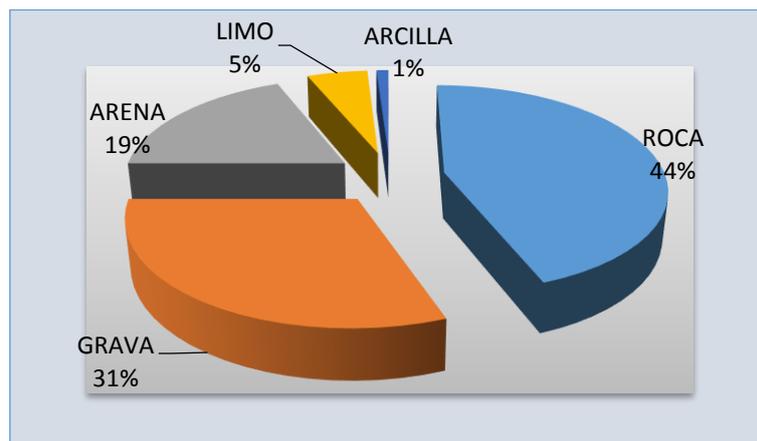


Ilustración 4.2: distribución por tipo de suelo

Los resultados de humedad obtenidos indican que la humedad promedio se encuentra en 4.3 valor menor a al límite líquido promedio de 24, esta situación nos demuestra que los suelos se encuentran por debajo del nivel de saturación.

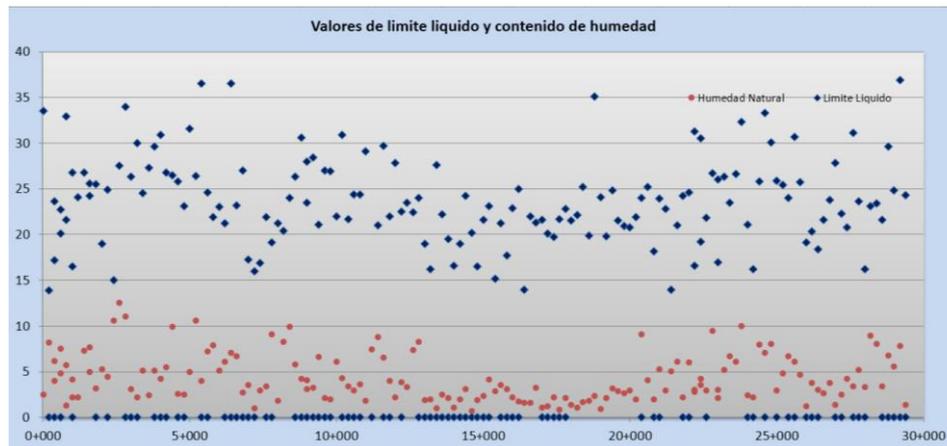


Ilustración 2.3: Límite líquido Vs contenido de humedad

### G. Sectorización

La regularidad del perfil estratigráfico a lo largo de toda la franja de terreno donde se cimentara la carretera permitió visualizar que la subrasante está conformada principalmente por roca y gravas en un 75 %, los valores de CBR califican a la subrasante de buena a excelente en un 100%, tomando en consideración estos detalles y la capacidad de soporte de los suelos se ha considerado sectorizar el en tres tramos siendo el primer sector del km 0+000 – km 6+000, el segundo sector del km 6+000 – km 20+500 y el tercer sector del km 20+500 – km 29+417.

### H. Sector km 21+320 – km 29+417

La estratigrafía del terreno nos muestra a lo largo del sector del Km 21+230 al Km 29+417 de la carretera básicamente dos estratos de suelo bien definidos, el primero conformado por una capa de material granular de rodadura y la segunda conformada principalmente por arenas (30%), roca (45%), gravas (10%) y en un menor porcentaje por limos (11%) y arcillas (4%), tal como se muestra en la ilustración 4.4 y 4.5. En este sector predominan las arenas y gravas, con presencia de limos y arcillas.

Los valores de CBR al 95% calificada de buena a excelente están en 100%; esto nos indica que el suelo tiene una buena resistencia en la subrasante en la mayor parte del tramo en estudio.

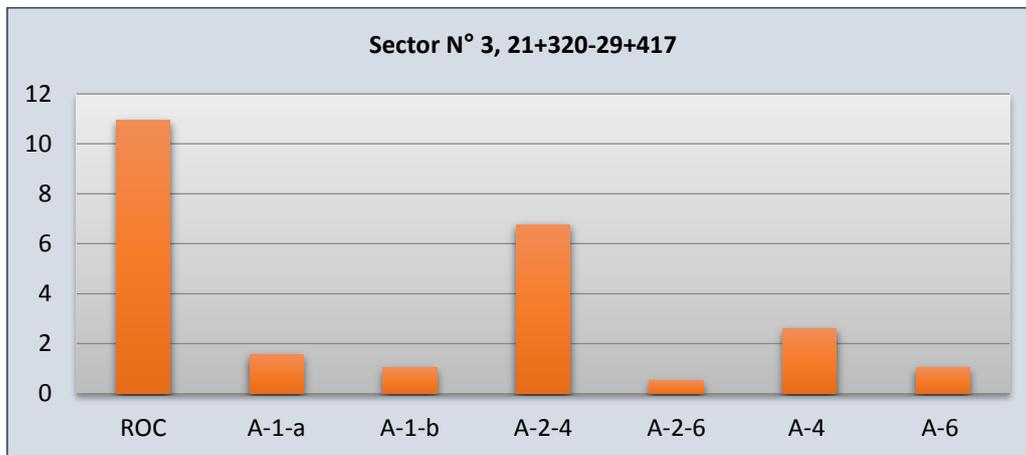


Ilustración 4.4. Incidencia del suelo natural

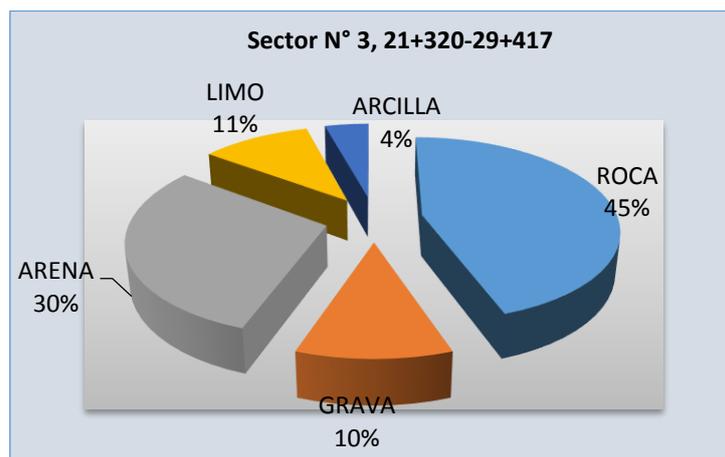


Ilustración 4.5. Distribución por tipo de suelo

## 4.2. ESTUDIO DE TRÁFICO

El estudio de Tráfico tiene como finalidad determinar la cantidad, tipo, peso, origen y destino de los vehículos, así como la cantidad de tráfico generado e inducido relacionado con la vía en estudio. La información es un insumo básico indispensable para el diseño del pavimento y la evaluación económica del estudio.

### 4.2.1. Metodología

La metodología que se utilizó en el presente estudio de tráfico consistió en la aplicación de conteos de tráfico y clasificación vehicular en 3 estaciones principales y 1 estación de cobertura, establecidas por EL CONSULTOR conjuntamente con el ESPECIALISTA de PROVÍAS NACIONAL. En cada estación principal se realizaron conteos de 7 días durante 24 horas y en cada estación cobertura se realizaron conteos de 5 días durante 24 horas. Los conteos proporcionaron información sobre la cantidad y composición del tráfico actual.

Se realizaron censos de carga por tipo de vehículo y por eje, durante 4 días por periodos de 12 horas consecutivas, los que permitieron analizar los factores de carga reales actuantes sobre el pavimento, la presión de llantas para obtener el factor de ajuste a los factores de carga y el factor carril y direccional de carga que permitió determinar, para el diseño de pavimentos, el número de ejes equivalentes de 8.2 TN y el número de repeticiones de EE para el periodo de diseño así como la composición del tráfico.

Las encuestas de origen - destino (O/D) se realizaron en dos estaciones de control: en el tramo Mollepata - Pallasca y la otra en el tramo Mollepata - Angamarca durante cuatro días, 12 horas por día y por estación, establecidas en los Términos de Referencia.

La encuesta incluyó el tipo de vehículo, marca, modelo, año, número de asientos, número de ocupantes, tipo de combustible, origen, destino, propósito de viaje, frecuencia de viaje, peso vacío, peso cargado, carga útil, producto transportado, costo de viaje al usuario (pasajeros y/o carga transportada)

Finalmente en el Área de Estudio se midió las velocidades para obtener la velocidad media de operación por tipo de vehículo, por cada tramo homogéneo establecido.

Tabla 4.4.-Ubicación de Estaciones

COD	Nombre	Inicio	Fin	Ubicación	Días
E1	Pallasca	Pallasca	Dv. Pampas	Salida de Pallasca en el sentido a Mollepata	7
E2	Mollepata 1	Dv. Pampas	Mollepata	Entrada de Mollepata en el sentido a Pallasca	7
E3	Mollepata 2	Mollepata	Mollebamba	Salida de Mollepata en el sentido a Mollebamba	7
C1	Angasmarca	Mollebamba	Santiago de Chuco	CCPP Angasmarca	5

Tabla 4.5.- Ubicación de Estaciones Encuestas Origen Destino

COD	Nombre	Ubicación	Días
OD1	Pallasca	Salida de Pallasca en el sentido a Mollepata	3
OD2	Angasmarca	CCPP de Angasmarca	3

Tabla 4.6 Ubicación de Estaciones Censos de Carga

COD	Nombre	Ubicación	Días
CC1	Pallasca	Salida de Pallasca en el sentido a Mollepata	2
CC2	Chuquicara	Puente Chuquicara	2

#### I. Procesamiento de datos

Los datos obtenidos del Censo de Clasificación Vehicular y Encuesta Origen-Destino se validaron y procesaron en formato Excel, verificando el volumen

de tránsito por tipo de vehículo, hora y sentido a fin de codificar y luego digitalarlos.

Una vez obtenido el resultado de volumen promedio de tránsito, por tipo de vehículo, hora y sentido se calculó la variación horaria, clasificación vehicular, Índice Medio Diario Semanal ( $IMD_S$ ) y el Índice Medio Diario Anual ( $IMD_A$ ) determinados por las siguientes fórmulas:

$$IMD_A = FC \times IMD_S$$

Donde:

$IMD_S$  = Volumen clasificado promedio de la semana.

$FC$  = Factor de corrección estacional.

$IMD_A$  = Índice Medio Diario Anual.

#### J. Índice medio diario según clase vehicular

Se calculó el  $IMD_S$ , el cual será afectado por el factor de corrección mensual (FC), obteniendo el  $IMD_A$

Los resultados obtenidos, indican un volumen vehicular de la siguiente manera:

Tabla 4.7 IMDA Resumen por Tramos

COD	Nombre	Tramo		IMDA
		Inicio	Fin	
E1	Pallasca	Pallasca	Dv. Pampas	53
E2	Mollepata 1	Dv. Pampas	Mollepata	21
E3	Mollepata 2	Mollepata	Mollebamba	16
C1	Angasmarca	Mollebamba	Santiago de Chuco	88

Fuente: Estudio de Trafico 2015

Las Tablas siguientes, contienen el resumen del volumen clasificado diario de las 8 estaciones de control vehicular.

Tabla 4.8.- IMDa Pallasca

E1 - Pallasca				
Vehículo	Pallasca - Dv. Pampas	Dv. Pampas - Pallasca	IMDA	Distribución
Automóvil	0	0	0	0%
Station Wagon	2	2	4	8%
Pick Up	10	9	19	36%
Panel	2	2	4	8%
C. Rural	2	2	4	8%
Microbús	2	3	5	9%
Bus 2E	0	1	1	2%
Bus 3E	0	0	0	0%
Camión 2E	7	6	13	25%
Camión 3E	1	1	2	4%
Camión 4E	1	0	1	2%
Semitrayler 2S1/2S2	0	0	0	0%
Semitrayler 2S3	0	0	0	0%
Semitrayler 3S1/3S2	0	0	0	0%
Semitrayler >=3S3	0	0	0	0%
Trayler 2T2	0	0	0	0%
Trayler 2T3	0	0	0	0%
Trayler 3T2	0	0	0	0%
Trayler 3T3	0	0	0	0%
<b>TOTAL</b>	<b>27</b>	<b>26</b>	<b>53</b>	<b>100%</b>

Fuente: Estudio de Trafico 2015

Tabla 4.9.- IMDa Mollepata 1

E2 Mollepata 1
----------------

Vehículo	Mollepata - Dv. Pampas	Dv. Pampas - Mollepata	IMDA	Distribución
Automóvil	0	0	0	0%
Station Wagon	1	1	2	10%
Pick Up	4	5	9	43%
Panel	0	0	0	0%
C. Rural	2	1	3	14%
Microbús	0	0	0	0%
Bus 2E	0	0	0	0%
Bus 3E	0	0	0	0%
Camión 2E	3	4	7	33%
Camión 3E	0	0	0	0%
Camión 4E	0	0	0	0%
Semitrayler 2S1/2S2	0	0	0	0%
Semitrayler 2S3	0	0	0	0%
Semitrayler 3S1/3S2	0	0	0	0%
Semitrayler >=3S3	0	0	0	0%
Trayler 2T2	0	0	0	0%
Trayler 2T3	0	0	0	0%
Trayler 3T2	0	0	0	0%
Trayler 3T3	0	0	0	0%
<b>TOTAL</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>21</b>	<b>100%</b>

Fuente: Estudio de Trafico 2015

Tabla 4.10.- IMDa Mollepata 2

E3 Mollepata 2				
Vehículo	Mollepata - Mollebamba	Mollebamba - Mollepata	IMDA	Distribución
Automóvil	0	0	0	0%
Station Wagon	0	0	0	0%
Pick Up	3	4	7	44%
Panel	0	0	0	0%
C. Rural	0	1	1	6%
Microbús	0	0	0	0%
Bus 2E	1	1	2	13%
Bus 3E	0	0	0	0%
Camión 2E	3	3	6	38%
Camión 3E	0	0	0	0%
Camión 4E	0	0	0	0%
Semitrayler 2S1/2S2	0	0	0	0%
Semitrayler 2S3	0	0	0	0%
Semitrayler 3S1/3S2	0	0	0	0%
Semitrayler >=3S3	0	0	0	0%
Trayler 2T2	0	0	0	0%
Trayler 2T3	0	0	0	0%
Trayler 3T2	0	0	0	0%
Trayler 3T3	0	0	0	0%
<b>TOTAL</b>	<b>7</b>	<b>9</b>	<b>16</b>	<b>100%</b>

Fuente: Estudio de Trafico 2015

Tabla 4.11.- IMDa Angasmarca

C1 - Angasmarca				
Vehículo	Santiago de Chuco - Mollebamba	Mollebamba - Santiago de Chuco	IMDA	Distribución
Automóvil	3	3	6	7%
Station Wagon	2	3	5	6%
Pick Up	11	11	22	25%
Panel	3	4	7	8%
C. Rural	5	6	11	13%
Microbús	3	6	9	10%
Bus 2E	2	3	5	6%
Bus 3E	0	0	0	0%
Camión 2E	10	8	18	20%
Camión 3E	3	2	5	6%
Camión 4E	0	0	0	0%
Semitrayler 2S1/2S2	0	0	0	0%
Semitrayler 2S3	0	0	0	0%
Semitrayler 3S1/3S2	0	0	0	0%
Semitrayler >=3S3	0	0	0	0%
Trayler 2T2	0	0	0	0%
Trayler 2T3	0	0	0	0%
Trayler 3T2	0	0	0	0%
Trayler 3T3	0	0	0	0%
<b>TOTAL</b>	<b>42</b>	<b>46</b>	<b>88</b>	<b>100%</b>

Fuente: Estudio de Trafico 2015

## K. Proyección de tráfico

Si bien es cierto existen varias metodologías para proyectar el tránsito de vehículos, la falta de información disponible limita su aplicación por lo que para el caso emplearemos la siguiente fórmula:

$$T_{Tn} = T_0 (1 + R_i)^n$$

Donde:

$T_{Tn}$  = Tráfico en el tramo T, en el año n.

$T_0$  = Tráfico en el tramo T, en el año base.

$R_i$  = Tasa de generación de viajes.

$n$  = Tiempo en años.

Puesto que al no existir una serie histórica de tráfico la estimación del crecimiento futuro sobre la base de los indicadores macro económicos Valor Agregado Bruto, Población y VAB per cápita de los departamentos que intervienen en la generación de viajes en la carretera.

De acuerdo a las matrices de origen y destino los departamentos que generan viajes en la carretera en estudio son Ancash, La Libertad y Lima.

### a) Proyección del Tráfico Generado

La ejecución del proyecto producirá la aparición de viajes que no serían realizados de no ejecutarse el proyecto. El tráfico generado por lo general es originado por la reducción importante de costos de transporte debido al proyecto o por la aparición de nuevas actividades.

Las mejoras en el incremento de una calzada por sentido en el actual eje vial tendrán un significativo impacto tanto en el crecimiento del tráfico normal como del tráfico generado (estimando en un 20% como escenario moderado).

El crecimiento del flujo vehicular se debe principalmente a:

Mejoras económica de la región y su incidencia en el parque automotor.

Comportamiento de los centros de acopio de producción y servicios.

Aumento en los servicios de transporte de pasajeros y de carga en las ciudades de Pallasca y Mollepata.

Dinámica productiva de las ciudades de Pallasca y Mollepata.

#### b) Proyección del Trafico Desviado

El Tráfico desviado es aquel que, manteniendo su origen y destino, cambia su ruta original como resultado del mejoramiento de una ruta alterna, para la presente carretera no se prevé tráfico desviado, ya que de acuerdo a los resultados obtenidos de la estación de Angasmarca solo se tienen viajes entre las ciudades de Mollebamba – Trujillo para todos los tipos de transporte.

#### c) Proyección del Trafico Inducido

El tráfico inducido posea la demanda potencial para ser persuadida de utilizar un determinado modo de transporte. Nunca ha habido un criterio general para definir el fenómeno de inducción.

#### d) Proyección del Tráfico Total

Como se ha explicado, el tráfico total de la carretera está compuesto por el tráfico normal, el tráfico generado por el proyecto y el tráfico desviado de otras rutas. Por ello, el tráfico proyectado final es el resultado de sumar los tráficos normal, generado y desviado, proyectados.

## e) Resumen de la Proyección de Trafico

## E1 - PALLASCA

## Tráfico Normal Proyectado

Vehiculo	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
IMDa	53	54	55	56	58	63	63	66	66	68	71	71	74	79	79	81	86	88	89	94	96

## Tráfico Generado Proyectado

Vehiculo	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
IMDa	0	0	11	11	11	11	11	13	13	14	14	14	14	14	14	15	17	17	17	17	17

## Tráfico Total Inducido

Vehiculo	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
IMDa	0	0	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5	5	6	6	6	6	6	6	6	7

## Tráfico Total Proyectado

Vehiculo	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
IMDa	53	54	70	71	73	78	79	84	84	87	90	90	93	99	99	102	109	111	112	117	120

## E2 - MOLLEPATA 1

## Tráfico Normal Proyectado

Vehiculo	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
TOTAL	21	21	22	23	23	23	26	26	26	28	29	29	30	31	32	32	34	35	35	37	37

## Tráfico Generado Proyectado

Vehiculo	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
TOTAL	0	0	5	5	5	5	5	5	5	6	6	6	6	7	7	7	7	8	8	8	8

## Tráfico Total Inducido

Vehiculo	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
TOTAL	0	0	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5	5	6	6	6	6	6	6	6

## Tráfico Total Proyectado

Vehiculo	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
TOTAL	21	21	31	32	32	32	35	36	36	39	40	40	41	43	45	45	47	49	49	51	51

### 4.3. ESTUDIO DE CANTERAS

El estudio de canteras y fuentes de agua tiene como objetivo principal determinar los materiales que serán usados en la construcción de la carretera. Para el cumplimiento de dicho objetivo se ha estudiado las características físicas y mecánicas de los materiales provenientes de las canteras con la finalidad de verificar si cumplen las especificaciones técnicas exigidas para el presente proyecto, en la selección de cada cantera además se ha tomado en cuenta la importancia de su cercanía al proyecto así como la cantidad de material explotable en cada cantera.

#### L. Investigación de campo

##### a) Exploración

Se realizó un reconocimiento de campo en lugares circundantes al proyecto, fijando áreas donde existan materiales cuyas características son aparentemente aptas para su explotación.

##### b) Excavación de calicatas

En cada cantera se excavó calicatas para determinar las características del material y su volumen de explotación. Cada calicata se excavó hasta establecer la profundidad máxima de explotación, así mismo las calicatas se distribuyeron en toda el área de la cantera y fueron referenciadas con coordenadas UTM mediante GPS.

En cada calicata excavada se ha realizado la clasificación de fragmentos gruesos mediante una selección manual de los materiales correspondientes a bolones, bloques y material menor a 3", obteniéndose una distribución cuantitativa.

En cada calicata excavada, se realizó el registro estratigráfico según el procedimiento de la norma ASTM D-2488, describiendo el tipo de material encontrado: clasificación técnica; forma del material granular; color; porcentaje estimado de botonería y bloques, presencia de material orgánico; contenido de humedad; índice de plasticidad / compresibilidad. De cada calicata se extrajeron muestras alteradas representativas para su evaluación en el laboratorio.

c) Levantamiento Topográfico de Canteras

Se ha ejecutado el levantamiento topográfico para determinar el área y el volumen de explotación de cada cantera seleccionada, así como también la ubicación y longitud del acceso con respecto al proyecto. En el presente estudio aún no se presentan los planos debido a que los términos de referencia de topografía exigen solo la presentación de la información al 50%.

d) ensayos de laboratorio

La calidad de los materiales para usos diversos, ha sido verificada mediante los siguientes ensayos estándar.

Tabla 4.12.- Ensayos estándar

Ensayo	Norma
Análisis Granulométrico del agregado grueso, fino y global	MTC E 204
Humedad Natural	MTC E 108
Límite Líquido	MTC E 110
Límite Plástico e índice de plasticidad	MTC E 111
Clasificación de Suelos método SUCS	ASTM D 2487
Clasificación de Suelos método AASHTO	ASTM D 3282

Adicionalmente a los ensayos indicados, se han realizado los siguientes ensayos especiales, dependiendo del uso preliminarmente asignado:

Tabla 4.13.- Ensayos especiales

Ensayo	Norma
Proctor Modificado	MTC E 115 / ASTM D 1557
Razón de soporte California (CBR)	MTC E 132
Porcentaje de partículas chatas y alargadas (Relación 3:1)	ASTM D 4791
Porcentaje de partículas chatas y alargadas (Relación 5:1)	ASTM D 4791
Porcentaje de partículas con una y dos caras fracturadas	MTC E 210
Límites de Atterberg (Material que pasa la Malla N° 200)	MTC E 111
Cantidad de material fino que pasa por el tamiz N° 200	MTC E 202
Equivalente de Arena	MTC E 114

Ensayo	Norma
Abrasión Los Ángeles	MTC E 207
Durabilidad (Agregado Grueso y Fino)	MTC E 209
Adherencia entre el Agregado y Bitumen	MTC E 519
Sales Solubles Totales	MTC E 219
Impurezas Orgánicas	MTC E 213 / ASTN C 40
Pesos Volumétricos	MTC E 203
Peso Específicos y absorción del agregado fino	MTC E 205
Peso Específicos y absorción del agregado grueso	MTC E 206
Adherencia Riedel Weber (PEN 85-100)	MTC E 220
Índice de Durabilidad (Agregado Grueso y Fino)	MTC E-214
Angularidad	MTC E-222
Azul de Metileno	AASHTO TP-57
Carbón y Lignito	MTC E-215
Arcillas en Terrones y Partículas Friables	MTC E-212 / ASTM D 142
Partículas Livianas	MTC E-211 / ASTM C 123
Módulo de Finura	ASTM C 125
Contenido de sulfatos	NTP 400.040
Contenido de cloruros	NTP 400.40

## M. Uso y explotación de canteras

En el presente ítem se describe las características de las canteras que se usaran en la construcción de la carretera, para esto se ha verificado que los resultados de los ensayos de laboratorio se encuentren dentro de los límites establecidos por las especificaciones técnicas del proyecto de acuerdo al uso propuesto para el material que presenta cada cantera. Del levantamiento topográfico y el análisis global del material se determinó la cantidad disponible de material así como los usos y rendimientos de cada cantera.

## N. cantera tablachaca zona n°1

Ubicación: Km 20+330 de la vía proyectada, lado izquierdo.

Accesibilidad: Presenta un acceso total de longitud 400 m, es una trocha en mal estado requiere de trabajos de mejoramiento.



Ilustración 4.6. Ubicación de la cantera Tablachaca Zona N°1

Descripción: Consiste en un depósito de origen fluvial, con presencia de arenas, gravas, cantos y bolonería de forma sub redondeada a redondeada.

Evaluación: Esta cantera fue evaluada con la excavación de 29 calicatas de 1.50m de profundidad; Los resultados de laboratorio han permitido determinar que el material típico está compuesto por grava bien gradada GW, GM, GP,

GP-GM, GW-GM, SW-SM, SM-SC, SP-SM, con tamaño máximo 17", el material según la clasificación AASHTO es A-1-a (0). Ver Ensayos de Canteras.

Tabla 4.14.- Evaluación de resultados, Cantera Tablachaca Zona N°1

Ensayos ejecutados	R y M	SB	B	Prom.
Límite Líquido	-	25 % máx.	-	19.5
Índice de Plasticidad (malla N° 40)	10% máx.	6 % máx.	4 % máx.	3.5
Clasificación AASHTO	A-1-a, A-1-b, A-2-4, A-2-6, A-3	-	-	A-1-a
CBR (natural)	-	40 % mín.	100 % mín.	81.2
CBR (chancado)	-	40 % mín.	100 % mín.	>100.0
Partículas Chatas y Alargadas (natural)	-	20 % máx.	15 % máx.	3.0
Partículas Chatas y Alargadas (chancado)	-	-	15 % máx.	4.6
Abrasión (natural)	60 % máx.	50 % máx.	40 % máx.	28.3
Abrasión (chancado)	60 % máx.	50 % máx.	40 % máx.	23.9
	-			42.4

Ensayos ejecutados	R y M	SB	B	Prom.
Equivalente de arena (natural)		25 % mín.	35 % mín.	42.4
Equivalente de arena (chancado)	-	25 % mín.	35 % mín.	52.4
Equivalente de arena (lavado)	-	25 % mín.	35 % mín.	-
Sales solubles totales	-	1 % máx.	-	0.2177
Sales solubles totales AG	-	-	0.5 % máx.	0.1540
Sales solubles totales AF	-	-	0.5 % máx.	0.2813
Sales solubles totales AF (chancado)	-	-	0.5 % máx.	-
Partículas con una cara fracturada	-	-	80 % mín.	7.3
Partículas con dos caras fracturadas	-	-	40 % mín.	3.3
Partículas con una cara fracturada (chancado)	-	-	80 % mín.	100.0
Partículas con dos caras fracturadas (chancado)	-	-	40 % mín.	100.0

Con respecto al análisis de tamaños que debe tener el material filtrante para cumplir las especificaciones técnicas, remitirse al capítulo de Hidrología e Hidráulica.

De acuerdo a la evaluación de los resultados de ensayos se concluye que el material de la cantera Tablachaca Zona N°1 satisface los requisitos de calidad para ser empleado en la producción de agregados para relleno, mejoramiento y subbase según se indica en la EG-2013.

Usos propuestos: Relleno, mejoramiento, subbase, material filtrante y emboquillados.

Explotación: La extracción se realizara en forma directa, con excavadora, cargador frontal y volquete.

Tratamiento: Dependiendo del uso se tiene el siguiente tratamiento

Relleno y mejoramiento: extracción y zarandeo estático.

Subbase: extracción y zarandeo estático.

Material filtrante: extracción y zarandeo estático.

Emboquillados: selección manual.

Rendimiento:

Porcentajes en volumen (aproximados) del agregado global de la cantera:

Tamaño máximo: 17"

Material < 2": 54%

Material > 6": 24%

Material >12": 4%

Usos con el material natural:

Relleno y mejoramiento: 100% - (24% retiene malla 6") → Rendimiento = 76%

Subbase: 100% - (46% retiene malla 2") → Rendimiento = 54%.

Material filtrante: 100% - (36% retiene malla 3/4") → Rendimiento = 64%.

Emboquillados: 100% - (4% Material mayor a 12") - (54% pasa malla 2") → Rendimiento = 42%

Tabla 4.15. Rendimiento de la cantera Tablachaca Zona 1

Utilización	Rendimiento
Relleno	76 %
Mejoramiento	76 %
Subbase	54 %

Utilización	Rendimiento
Material Filtrante	64 %
Emboquillados	42 %

Volumen: El área de explotación es de 29,829.40 m<sup>2</sup> y los volúmenes de explotación comprenden:

Tabla 4.16. Resumen de Volumen, Cantera Tablachaca Zona 1

Descripción	Símbolo	%	Volumen (m <sup>3</sup> )
Volumen Bruto	Vb		73,572
Desbroce (h=0.00 m)	D	0.00 % Vb	1,486
Volumen Neto	Vn=Vb-D		72,086
Volumen Over (>12")	Vo	4.00 % Vn	2,883
Volumen Utilizable	Vu=Vn-Vo		69,202
Merma	M	0.00 % Vu	0
Volumen Desechable	Vd=D+Vo+M		4,370

Periodo de explotación: La explotación se puede realizar entre los meses de mayo a noviembre.

Propietario: Municipalidad Distrital de Pallasca.

## 4.4. FUENTES DE AGUA

### 4.4.1. Reconocimiento

El Estudio de Fuentes de Agua tiene por objeto la selección de las fuentes de aprovisionamiento de agua para la obra, tanto para la fabricación de concreto portland como para el humedecimiento de materiales para su compactación.

A lo largo del tramo en estudio se ubican ríos y quebradas que presentan un caudal permanente durante todo el año y por consiguiente constituyen potenciales fuentes de abastecimiento de agua para la obra.

Tabla 4.17. Características de las fuentes de agua

Nombre	Ubicación	Acceso			Longitud	Fuente	Caudal	Régimen
		Tipo	Estado	Tratamiento				
Tukua	7+235, LD	-	-	-	-	Quebrada	Regular	Permanente
Tablachaca	20+720 LI	Trocha	Malo	Mejoramiento	100 m	Río	Regular	Permanente
Tablachaca Zona Alta	21+020, LD	Trocha	Malo	Mejoramiento	100 m	Río	Regular	Permanente

### 4.4.2. Trabajo de campo

Para el análisis químico de las fuentes de agua, se tomaron muestras de agua en recipientes apropiados y posteriormente se remitieron al laboratorio para la ejecución de los siguientes ensayos.

Tabla 4.14. Ensayos realizados en muestras de agua

Ensayo	Norma	Tolerancia
Sólidos en suspensión	ASTM D 5907	5000 Máx.

Materia Orgánica	NTP 339.072	3.00 Máx.
Alcalinidad	NTP 214.026	1000 Máx.
Contenidos de Sulfatos	ASTM D 516	600 Máx.
Contenidos de Cloruros	ASTM D 512	1000 Máx.
Potencial de Hidrogeno Ph	ASTM D 1293	5.5 a 8.0

#### 4.4.3. Evaluación de resultados

A partir de los resultados de los análisis químicos se determinó que las cinco fuentes de agua analizadas, no superan los límites máximo permitidos por las especificaciones técnicas, por lo tanto son aptas para ser usada en la fabricación de concreto portland.

Tabla4.18. Evaluación de análisis de agua

Nombre	Ubicación	Contenido de sulfatos (ppm)	Contenido de cloruros (ppm)	Materia Orgánica (ppm)	Sólidos en suspensión (ppm)	Potencial de hidrogeno (Ph)	Alcalinidad (ppm)
		600 máx.	1000 máx.	3.0 máx.	5000 máx.	5.5-8.0	1000 máx.
Tukua	7+235, LD	40	46	0.9	97	6.9	52.1
Tablachaca	20+720, LI	247	84	1.2	241	6.5	658.0
Tablachaca Zona Alta	21+020, LD	197	70	1.0	180	6.0	871.0

#### 4.5.4 Panel fotográfico de fuentes de agua

##### FUENTE DE AGUA TUKUA



##### FUENTE DE AGUA TABLACHACA



## 4.5. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO

El estudio de pavimentos comprende principalmente el diseño de la estructura de pavimento de la carretera Mollepata - Pallasca.

Procedemos al cálculo del Sn propuesto para ello utilizaremos la metodología AASHTO 1993 y NAASRA.

### 4.5.1. Diseño estructural de pavimento, metodología AASHTO 1993

El procedimiento desarrollado en el presente estudio se encuentra en conformidad con lo estipulado en AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, 1993 reconocida a nivel mundial por el sustento experimental en el que está basado, el cual consiste en determinar un Número Estructural (SN) requerido por el pavimento para soportar el volumen de tránsito vehicular satisfactoriamente durante su periodo de diseño. El procedimiento de diseño es el siguiente:

Calculo del tráfico de diseño

Determinación del módulo resiliente efectivo de diseño

Calculo del numero estructural

Calculo de los espesores de diseño

Con respecto al número estructural es un valor adimensional que representa una equivalencia numérica de la capacidad estructural del pavimento y se calcula para el caso de los pavimentos flexibles de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\log W_{18} = Z_R S_0 + 9.36 \log(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log M_R - 8.07 \dots (7)$$

Dónde:

W18: número estimado de ejes simples equivalentes de 8.2 t.

ZR: confiabilidad

S0: desviación estándar

$\Delta$  PSI: perdida de serviciabilidad

Pt: serviciabilidad final

MR: módulo resiliente de la subrasante

$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3$

Siendo:

$a_1, a_2, a_3$ : Coeficientes de capa

$m_1, m_2$ : Coeficientes de drenaje

$D_1, D_2, D_3$ : Espesor de capa

#### 4.5.2. Parámetros de diseño

##### a) Tráfico y ejes equivalentes

El número de repetición de ejes equivalente ha sido calculado en el estudio de tráfico realizado como parte del presente proyecto. En la tabla siguiente se muestran los valores de ESAL para el periodo de diseño de 10 años.

Tabla 4.19. Número de ejes equivalentes de diseño

AÑO	Pallasca - DV. Pampas km 00+000 - km 21+320	Dv. Pampas – Mollepata km 21+320 - km 29+417
2017	1.52E+04	4.06E+02
2026	1.10E+05	3.87E+03
2036	2.66E+05	8.98E+03

Fuente: Estudio de Tráfico del Expediente Técnico del Estudio Definitivo “Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera pallasca – Mollepata – Molebamba – Santiago de Chuco – EMP Ruta 10, Tramo: Mollepata – Pallasca”

##### b) Confiabilidad

La confiabilidad es un parámetro relacionado con el grado de incertidumbre, la variación en las predicciones del tráfico y la importancia de la vía los valores

fluctúan entre 50% para vías locales y 99.9% en vías nacionales tal como se aprecia en la siguiente tabla:

Tabla 4.20. Niveles de confiabilidad

Clasificación funcional	Nivel recomendado por AASHTO para carreteras
Carretera interestatal o autopista	80-99.9
Red principal o federal	75-95
Red secundaria o estatal	75-95
Red rural o local	50-80

Fuente: AASHTO guide for design of pavements structures

De acuerdo a los términos de referencia del estudio, el nivel de confiabilidad del diseño de pavimento de la carretera Pallasca - Mollepata debe ser 90%.

En la siguiente tabla se muestran los valores de la desviación estándar normal, que se adopta en base al Nivel de Confianza seleccionado. Según la Guía de Diseño AASHTO, resulta un  $Z_r$  de -1.282.

Tabla 4.21.- Valores sugeridos de confiabilidad

Niveles de confiabilidad	Desviación estándar
90	-1.282
95	-1.645
96	-1.751
97	-1.881
98	-2.054
99	-2.327
99.9	-3.090

Fuente: AASHTO guide for design of pavements structures

Considerando que se ha efectuado un estudio de tráfico detallado, el cual ha incluido censos de vehículos y de cargas, se adopta para pavimento flexibles un valor  $S_o = 0.45$ .

#### c) Serviciabilidad

La serviciabilidad de un pavimento está definida como su habilidad para servir al tipo de tráfico (automóviles y camiones) que usa la vía. La medida fundamental de la serviciabilidad, tal como fue establecida en el Experimento Vial de la AASTHO, es el Índice de Serviciabilidad Presente (PSI- Present Serviciability Index), que varía entre 0 (camino intransitable) a 5 (camino perfecto).

Para el diseño de pavimento flexible, se adoptó como índice de serviciabilidad inicial  $p_0=4.2$  y el índice de serviciabilidad final  $p_t=2.0$  se tomó de acuerdo a lo indicado por los términos de referencia.

#### d) Suelo de fundación

La estratigrafía del terreno, la capacidad de soporte y el tráfico ha determinado la sectorización del terreno en tres tramos homogéneo de diseño, el sector I del km 00+000 – km 06+000, el sector II del km 06+000 – km 21+320 y el sector III del km 21+320 – km 29+417, el sector I conformado por gravas, arenas y rocas con presencia de limos de buena capacidad de soporte, el sector II conformado por gravas, arenas y rocas con poca presencia de limos, el sector III conformado por arenas, gravas y rocas con presencia de limos y arcillas.

El parámetro requerido del suelo de fundación para el diseño de la estructura de pavimento es el módulo resiliente, dicho valor ha sido determinado de manera indirecta a partir del ensayo CBR de laboratorio, aplicando la siguiente ecuación.

$$M_R = 2555 \times CBR^{0.64}$$

En la siguiente tabla se presenta el cálculo del módulo resiliente de diseño el cual es un valor representativo del material comprendido dentro de cada sector, de acuerdo al método AASHTO 1993 se considera como módulo resiliente de diseño el promedio de los valores.

#### Método de las diferencias acumuladas

Antes de iniciar los cálculos de diseño, debemos realizar el método de las diferencias acumuladas, este método nos permitirá tener tramos con un CBR promedio, estas tendencias se ven reflejadas en el cuadro y en el grafico que veremos a continuación:

Tabla4.22.- Sectores por diferencias acumuladas

CALICATA	PROGRESIVA	CBR (%)	DISTANCIA ENTRE INTERVALO	DISTANCIA ACUMULADA ENTRE INTERVALO	INTERVALO PROMEDIO	ÁREA DEL INTERVALO	ÁREA ACUMULADA	Zx
INICIO	0+000		10.00	10.00				
CA-01	0+010	26.1	190.00	200.00	26.10	4959.00	4959.00	212.01
CA-05	0+200	18.5	200.00	400.00	22.30	4460.00	9419.00	-74.98
C-3	0+400	19.7	800.00	1200.00	19.10	15280.00	24699.00	-3782.95
C-7	1+200	13.9	800.00	2000.00	16.80	13440.00	38139.00	-9330.92
C-11	2+000	33.3	400.00	2400.00	23.60	9440.00	47579.00	-9384.90
C-13	2+400	25.0	1000.00	3400.00	29.15	29150.00	76729.00	-3969.86
C-18	3+400	17.6	600.00	4000.00	21.30	12780.00	89509.00	-5430.83
C-21	4+000	27.2	1000.00	5000.00	22.40	22400.00	111909.00	-6765.79
C-26	5+000	10.4	1000.00	6000.00	18.80	18800.00	130709.00	-11700.75
C-31	6+000	25.0	1000.00	7000.00	17.70	17700.00	148409.00	-17735.70
C-36	7+000	36.3	1000.00	8000.00	30.65	30650.00	179059.00	-10820.66
C-41	8+000	15.8	1000.00	9000.00	26.05	26050.00	205109.00	-8505.62
C-46	9+000	38.0	1000.00	10000.00	26.90	26900.00	232009.00	-5340.58
C-51	10+000	35.0	1000.00	11000.00	36.50	36500.00	268509.00	7424.47
C-56	11+000	23.4	1000.00	12000.00	29.20	29200.00	297709.00	12889.51
C-61	12+000	32.0	1000.00	13000.00	27.70	27700.00	325409.00	16854.55
C-66	13+000	22.4	1000.00	14000.00	27.20	27200.00	352609.00	20319.59
C-71	14+000	26.3	1000.00	15000.00	24.35	24350.00	376959.00	20934.63
C-76	15+000	33.0	1000.00	16000.00	29.65	29650.00	406609.00	26849.68
C-81	16+000	28.4	1000.00	17000.00	30.70	30700.00	437309.00	33814.72
C-86	17+000	25.9	1000.00	18000.00	27.15	27150.00	464459.00	37229.76
C-91	18+000	32.4	1000.00	19000.00	29.15	29150.00	493609.00	42644.80
C-96	19+000	24.4	800.00	19800.00	28.40	22720.00	516329.00	46376.84
C-100	19+800	23.1	800.00	20600.00	23.75	19000.00	535329.00	46388.87
C-104	20+600	20.7	600.00	21200.00	21.90	13140.00	548469.00	45287.90
C-107	21+200	26.0	1000.00	22200.00	23.35	23350.00	571819.00	44902.94
C-112	22+200	19.4	800.00	23000.00	22.70	18160.00	589979.00	44074.97
C-116	23+000	12.0	800.00	23800.00	15.70	12560.00	602539.00	37647.01
C-120	23+800	16.7	600.00	24400.00	14.35	8610.00	611149.00	32016.03
C-123	24+400	14.8	600.00	25000.00	15.75	9450.00	620599.00	27225.06
C-126	25+000	21.0	1000.00	26000.00	17.90	17900.00	638499.00	21390.10
C-131	26+000	16.4	800.00	26800.00	18.70	14960.00	653459.00	17362.13
C-135	26+800	12.9	600.00	27400.00	14.65	8790.00	662249.00	11911.16
C-138	27+400	15.4	1000.00	28400.00	14.15	14150.00	676399.00	2326.20
C-143	28+400	27.4	1000.00	29400.00	21.40	21400.00	697799.00	-8.76
C-148	29+400	21.1	17.00	29417.00	24.25	412.25	698211.25	0.00
FIN	29+417.00						<b>At</b>	698211.25
							<b>Lp</b>	29417.00
							<b>F</b>	23.7349577

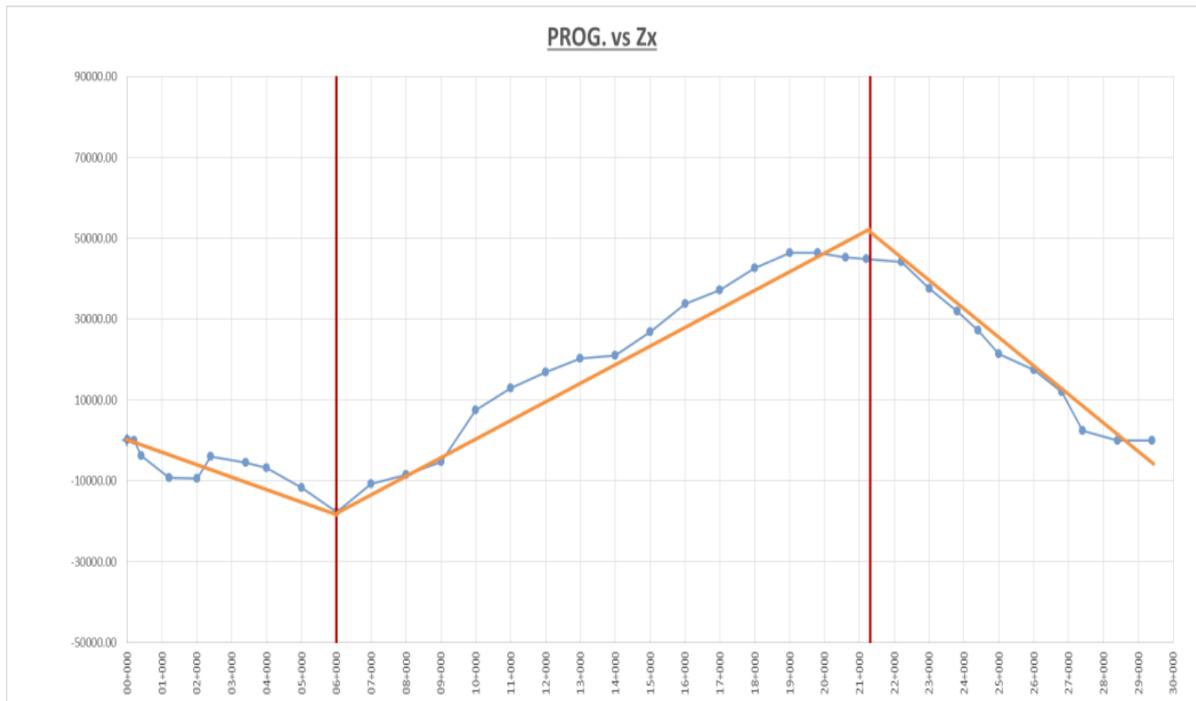


Grafico.. Progresiva vs Zx

#### 4.5.3. Variables de diseño con el método AASHTO 1993

Teniendo el tramo dividido en 3 sub tramos con los CBR promedio procedemos a realizar el cálculo del número estructural requerido, así mismo proponemos un espesor de acuerdo al análisis suelo-cemento descrito en el capítulo anterior, dando como resultado un numero estructural propuesto este mismo debe estar por encima del requerido y el mínimo que es 0.87.

#### 4.5.4. Diseño de espesores del pavimento

Se estudió y analizo un diseño para 20 años con ejecución en una sola etapa y dos etapas, considerando una primera etapa de 10 años y la segunda hasta el año 20 para los dos sectores de diseño determinados.

La tabla muestra los parámetros de entrada para el diseño de pavimento.

Tabla 4.23.- Parámetros de diseño de pavimentos

Parametro	PLATAFORMA		
	SECTOR - III		
	En 1 Etapa	En 2 Etapas	
	(0-20 años)	0-10 años	10-20 años
CBR	17.7	17.7	17.7
MR (psi)	15,971	15,971	15,971
W18	8.98E+03	3.87E+03	5.11E+03
ZR	90	90	90
S0	0.45	0.45	0.45
p0	4.2	4.2	4.2
pt	2	2	2
Δ PSI	2.2	2.2	2.2

Finalmente el espesor de refuerzo que tendrá el pavimento para soportar el tráfico desde el año 10 hasta el año 20 será calculado a partir del número estructural de refuerzo el cual se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$SN_{ref} = SN_{req} - SN_{eff}$$

Dónde:

$SN_{ref}$  Número Estructural de Refuerzo

$SN_{req}$  Número Estructural requerido para el nuevo periodo de diseño

$SN_{eff}$  Número Estructural efectivo en el año del refuerzo

En base a la aplicación de la metodología AASHTO 1993 se obtuvieron los siguientes resultados

Tabla 4.24.- Número Estructural de Refuerzo

Sector	$N_p$	$N_{1.5}$	RL	CF	$SN_0$	$SN_{eff}$	$SN_{req}$
S - III	3.87E+03	2.12E+04	81.7	0.96	1.32	1.27	1.00

Por lo tanto los espesores de refuerzo a colocar sobre la estructuras de pavimento, culminada la primera etapa serán las que se presentan en la tabla. No obstante previo a la colocación del refuerzo asfáltico se deberá efectuar la evaluación superficial, funcional y estructural del pavimento, de tal manera que se pueda determinar con mayor precisión el espesor de pavimento requerido.

Tabla4.25.- Espesores de refuerzo.

Sector	SN01	a01	D01 (cm)
S - III	-0.27	0.17	-1.6

Como resultado del diseño de pavimentos se tienen los siguientes espesores:

Tabla4.26.- Estructura del pavimento

Periodo diseño 0-10 años	
Sector	Sector – III
carpeta asfáltica (cm)	3.0
base (cm)	15.0
subbase (cm)	-
Periodo diseño 10-20 años	
Sector	Sector – III

refuerzo asfáltico (cm)	Sello asfáltico
----------------------------	-----------------

Por agentes climáticos atmosféricos y de incremento de tráfico en el tiempo para el periodo de diseño de 10-20 años se adopta en el sector III un sello asfáltico a fin

Tabla 4.27.- Espesores de diseño, 20 años

capa	Sector - III
carpeta asfáltica (cm)	3.0*
base (cm)	15.0**
Subbase (cm)	-

\* En el sector III dado el tráfico AASHTO recomienda una carpeta de 2.5cm o TS, pero debido a la topografía sinuosa existente para este proyecto se adopta una CA de 3.0cm de espesor mínimo.

\*\* Se adopta 15 cm de espesor de base granular por proceso constructivo

#### 4.5.5. Diseño con el método NAASRA

A diferencia del método AASHTO 1993, el método NAASRA se calcula el espesor a partir del CBR y los Ejes equivalentes, tomando como referencia el número estructural mínimo que es de 0.87. Hallamos un espesor requerido con la fórmula del método NAASRA, luego proponemos un espesor el con el cual el número estructural propuesto será mayor al número estructural requerido que en este caso sería el mínimo 0.87. A continuación mostramos el cuadro de resultados:

## CAPÍTULO V: DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 5.1 COMPARACIÓN DE LO SN DEL MÉTODO AASHTO 1993 Y NASSRA

Del capítulo anterior habiendo obtenido el Sn propuesto por ambos métodos de diseño a continuación presentamos un cuadro comparando ambas propuestas:

	<b>SECTOR III</b>
<b>INICIO(km)</b>	<b>21+200</b>
<b>FIN (km)</b>	<b>29+417</b>
<b>SN propuesto método AASHTO 93</b>	<b>1.270</b>
<b>SN propuesto método NAASRA</b>	<b>0.945</b>

Cuadro 5.1.-Comparación del Sn propuesto del AASHTO 1993 y NAASRA

Como podemos apreciar del cuadro el numero estructural más alto es el calculado con el método AASTHO 1993, ambos números estructurales están por encima del numero estructural mínimo que es 0.87.

### 5.2 COMPROBACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DEL NÚMERO ESTRUCTURAL

Para ambos métodos de diseño se halla un número estructural requerido el cual tiene que ser menor que el número estructural propuesta. En el caso del método AASHTO 1993 el Sn requerido se halla mediante formula. En el método NAASRA el Sn requerido se halla con el espesor que arroja la formula multiplicado por el coeficiente de drenaje y multiplicado por el coeficiente estructural, en el siguiente cuadro mostramos esta verificación:

	<b>SECTOR III</b>
<b>INICIO(km)</b>	<b>21+200</b>
<b>FIN (km)</b>	<b>29+417</b>
<b>SN requerido método AASHTO 93</b>	<b>1.12</b>
<b>SN propuesto método AASHTO 93</b>	<b>1.27</b>

Cuadro 5.2.-Verificación de los Sn requeridos de AASHTO 1993

	<b>SECTOR III</b>
<b>INICIO(km)</b>	<b>21+200</b>
<b>FIN (km)</b>	<b>29+417</b>
<b>SN requerido método NAASRA</b>	<b>0.94</b>
<b>SN propuesto método NAASRA</b>	<b>0.945</b>

Cuadro 5.3.-Verificación de los Sn requeridos de NAASRA

Como se puede observar ambos métodos cumplen con su Sn requerido.

### 5.3 COMPARACIÓN DE LOS ESPESORES OBTENIDOS POR AMBOS MÉTODOS

Ya que ambos métodos cumplen con el mínimo número estructural y el número estructural requerido, realizamos un análisis más profundo de los resultados de ambos métodos considerando prioritariamente el espesor final del pavimento diseñado.

A continuación mostramos el cuadro comparativo:

Del capítulo anterior habiendo obtenido el  $S_n$  propuestos por ambos métodos de diseño a continuación presentamos un cuadro comparando ambas propuestas:

	<b>SECTOR III</b>
<b>INICIO(km)</b>	<b>21+200</b>
<b>FIN (km)</b>	<b>29+417</b>
<b>Espesor con método AASHTO (cm)</b>	<b>18</b>
<b>Espesor con método NAASRA (cm)</b>	<b>18</b>

Cuadro 5.4.-Comparación de espesores según el método AASHTO 1993 y NAASRA

**Para ambos métodos:**

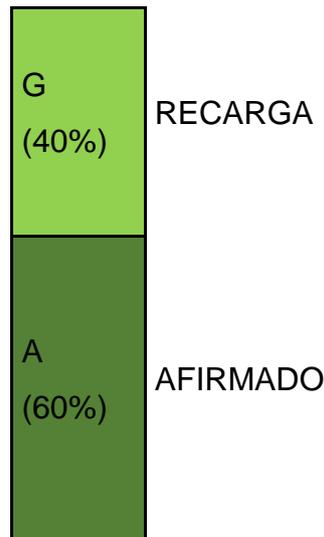


Figura 5.1 -proporción final recarga y afirmado

#### 5.4 ELECCIÓN DEL MÉTODO DE DISEÑO

Según los resultados obtenidos encontramos que en ambos métodos de diseño los espesores son iguales, por lo tanto, se opta por el método NAASRA ya que este ha sido calculado considerando una base reciclada de suelo cemento por lo que requiere menor movimiento de tierra, menor explotación de canteras, menor movilización de maquinarias y menor tiempo de ejecución, por lo que se vuelve una alternativa más viable y económica para el proyecto de mejoramiento vial.

## CONCLUSIONES

- El reciclado suelo-cemento es una técnica cuyo objetivo es reconstruir el pavimento con los materiales del pavimento existente. Utiliza medios mecánicos para pulverizar, homogenizar y mezclar el pavimento deteriorado, logrando una nueva mezcla, con labores de reciclado, alcanzando el nivel de acuerdo al diseño del pavimento.
- Se señala que, tomando los materiales existentes en la vía de afirmado y terreno de fundación, mezclándolos con materiales selectos de cantera, todos en proporción participativa según la realidad encontrada y filtrada al diseño, incorporando además al agente cemento Portland, se logran preparar briquetas y a la rotura obtener un diseño de laboratorio. Este diseño, reiterando, preparado en cuerpos de prueba y sometidos a roturas a los 7 días, permite encontrar los valores de resistencia a la compresión no confinada, valores que conllevarán a encontrar el coeficiente estructural de aporte y con el espesor previsto, en consecuencia, conlleva a obtener el número estructural que representa al pavimento a ser construido, que debe ser igual o mayor al número estructural requerido de 0.87.
- Terminado el procedimiento formal de cálculo que establece la metodología para obtener los SN propuestos, se demuestra que se ha cumplido el nivel de servicio de ingeniería que establecen los términos de referencia, (ver gráfico evaluador de nivel de servicio), mostrando la eficiencia de la aplicación de la tecnología de reciclado suelo – cemento.
- Se realizó el proyecto integral del corredor vial contratado, evaluando las condiciones iniciales en las que se encuentra referida a su comportamiento estructural, funcional y superficial. Para ello se incorporaron evaluaciones geotécnicas, campo y laboratorio, y evaluaciones mecanicistas complementarias, inclusive utilizando equipos de medición de alta performance, como los deflectómetros de impacto y perfiló metros láser.

**VERIFICACIÓN DE CUMPLIMIENTO DEL NIVEL DE SERVICIO  $S_n=0.87$**

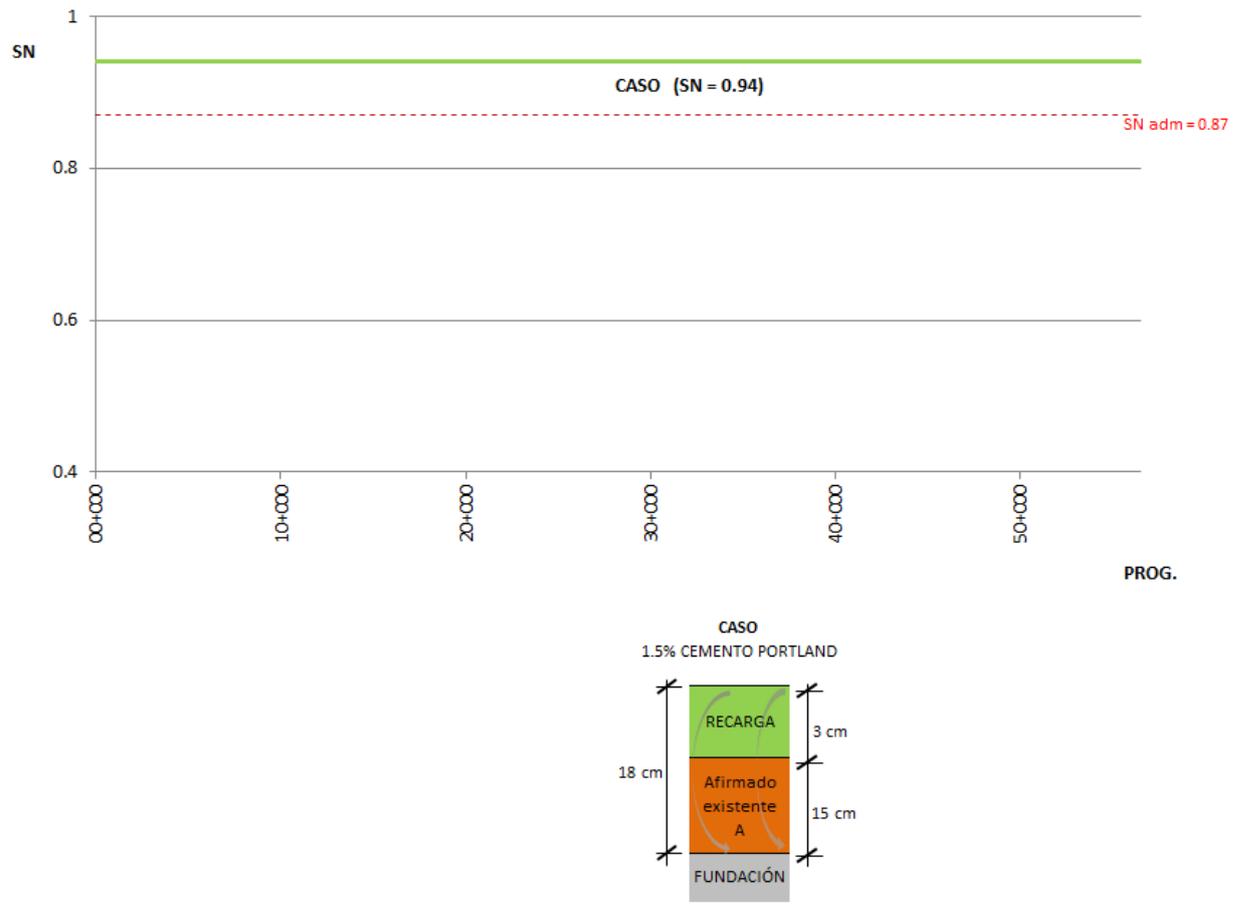


Grafico 6.1.-verificación de cumplimiento del Número Estructural

## RECOMENDACIONES

- Se propone como intervención principal en la construcción del pavimento, utilizar la tecnología del reciclado en frío utilizando un agente estabilizador, que de acuerdo a las consideraciones del párrafo anterior y de los resultados de la ingeniería de pavimentos, se selecciona al cemento hidráulico como el estabilizador suficiente para garantizar el soporte necesario que debe alcanzar el paquete de pavimentos.
- Por otro lado, complementariamente para cerrar el ciclo, fue conveniente verificar el SN requerido partiendo, ahora, de los valores de soporte que ofrecen los terrenos de fundación y el tráfico proyectado para el tiempo correspondiente a todo el servicio, 5 años.
- El método NAASRA a comparación con el método AASHTO 1993, se puede recomendar a utilizar en diseño de bajo volumen de tráfico por sus diferentes beneficios, ya sea por lo económico, porque se utiliza menos material y es de espesor más bajo que el diseñado con el AASHTO 1993, esto no quiere decir que el método de AASHTO 1993, sea inviable, pero lo que se prioriza en este caso la economía.
- Se recomienda también que el método NAASRA solo podría ser utilizado para vías con bajo volumen de tránsito debido a que se consideran menos variables de diseño de espesores.
- En el caso de que la vía tenga un volumen de tránsito se recomienda utilizar otros métodos de diseño como el AASHTO 1993 o el método de diseño estructural de pavimento ASPHAL INSTITUTE.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- MTC. "Sección de Suelos y Pavimentos del Manual de Suelo, Geotecnia, Geología y Pavimentos." Rep. No. R.D. N°05-2013-MTC/14, Ministerio de Transporte y Comunicaciones del Perú, Lima, Perú. (2013).
- AASHTO. AASHTO Guide for Design of Pavement Structures. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, DC. (1993).
- Huang, Y.H. Pavement analysis and design Pearson/Prentice, Upper Saddle River, NJ. (2004).
- Guthrie, W.S., Sebesta, S., and Scullion, T. "Selecting Optimum Cement Contents for Stabilizing Aggregate Base Materials." Rep. No. FHWA/TX-05/7-4920-2, Texas Transportation Institute, College Station, TX. (2002).
- MTC. Especificaciones Generales de Carreteras EG. Ministerio de Transporte y Comunicaciones del Perú, Lima, Perú (2000).
- PCA. Soil-Cement Laboratory Handbook. Portland Cement Association, Skokie, Illinois. (1992).
- MTC. Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción. Dirección General de Caminos y Ferrocarriles, Ministerio de Transporte y Comunicaciones del Perú, Lima, Perú. (2013).