

## **CAPÍTULO I**

### **DISEÑO TEÓRICO**

#### **INTRODUCCIÓN**

Con el mejoramiento de los suelos de mala calidad, se busca uniformizar lo mayor parte posible la subrasante lo cual servirá para un futuro diseño de la vía pavimentada sobre el tramo en la búsqueda de porcentajes que sean óptimos en una estabilización suelo-suelo para el mejoramiento de la subrasante intervienen los factores económico y técnico para elegir valores que tomen en cuenta estos factores y que sean aplicados a carreteras de bajo volumen de tráfico estudio.

Evaluar la subrasante mediante un estudio de las propiedades de los suelos, realizando una identificación y sectorización de los mismos, con el propósito de mejorar los de mala calidad con una estabilización suelo-suelo en porcentajes que lleguen a ser óptimos para carreteras de bajo volumen de tráfico.

En carreteras de bajo volumen de tráfico la incidencia del tránsito, en las solicitudes de carga es de menor frecuencia hacia la subrasante, lo cual hace que las especificaciones técnicas sean menos exigentes a comparación de las carreteras de primer nivel donde el suelo de fundación está sometido a grandes solicitudes debido al tráfico, entonces en estos casos la subrasante debe ser de una calidad buena.

El aporte teórico es la utilización de la teoría de evaluación de subrasante y las normas que rigen a los ensayos, como también se hará uso de teoría de estabilización mecánica de suelos; su aplicación será para el estudio geotécnico de carreteras de bajo volumen de tráfico; la relevancia social estará enfocada como una alternativa para el mejoramiento de carreteras que conecten comunidades o poblaciones pequeñas.

## **DETERMINACIÓN DE LA LÍNEA DE ESTUDIO**

Para la determinación de la línea de estudio se enfocó primero en el área de suelos, como los suelos están relacionado en cimentaciones de edificaciones y también a subrasante de carreteras, se siguió la tendencia de la subrasante donde se evaluará las propiedades de los suelos clasificándolos en buenos y malos de los cuales se buscará un mejoramiento.

### **Breve descripción de causales identificados**

Entre las causales podríamos nombrar no se realiza una homogenización en la subrasante de carreteras, no se realiza un adecuado diseño en los espesores del pavimento por la gran variación de los suelos a lo largo de un tramo vial, no se toman porcentajes adecuados de combinación de suelos para su mejoramiento en carreteras de bajo volumen de tráfico.

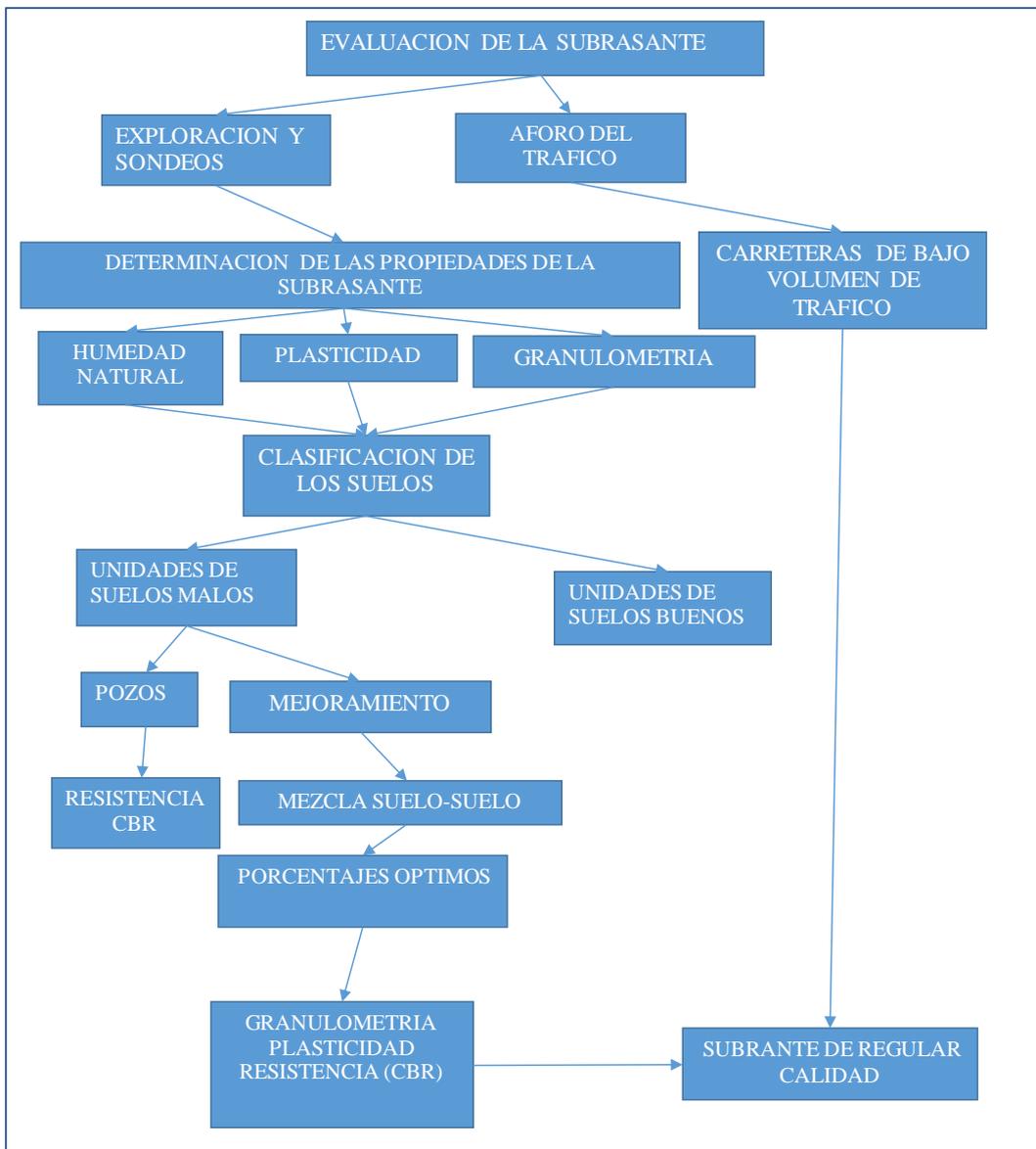
### **Identificación del objeto de estudio**

Mediante la identificación de causales, con lo cual se determinó el objeto de estudio en el presente trabajo la optimización en los porcentajes de mezcla de suelos en el mejoramiento de la subrasante de una carretera de bajo volumen de tráfico.

### **Determinación de la perspectiva de solución**

Para poder identificar suelos que son desfavorables para el diseño de una carretera se tiene que realizar una evaluación en la subrasante, poder caracterizar los suelos, definir sus propiedades físicas (clasificación de los suelos) e ingenieriles (resistencia), con lo cual llegar a tomar decisiones de cómo mejorar estos suelos.

## Marco conceptual



## Posición del investigador

Se vio la necesidad de mejorar la subrasante mediante la combinación de suelos buscando porcentajes que sean óptimos utilizando también porcentajes el suelo natural ya existente en la subrasante con la mezcla de otro suelo de mejor calidad que pueda existir en la zona.

Al decir porcentajes que sean óptimos lo sé que busca es que la subrasante donde los suelos sean malos llevarlos a una calidad regular, con esto también se tratara de uniformizar la subrasante por tramos, ya que los suelos malos se los llevara a regulares, existiendo la posibilidad de llevar suelos de regular calidad alcancen una buena calidad.

## **SITUACIÓN PROBLÉMICA**

Los suelos de Tarija están generalmente compuestos por arcillas las cuales son muy desfavorables para el diseño de carreteras ya que presentan muy baja resistencia (CBR) y una alta expansión los cuales afectan seriamente a las estructuras de una carretera.

En subrasantes de carreteras se trabaja con los suelos más desfavorables si bien esto asegura que el diseño de carpeta asfáltica el cual se comporta de manera correcta pero se sobre dimensiona en sectores donde los suelos son de mejor calidad este sobre dimensionamiento implica grandes espesores de la sub base y base estos materiales estos deben ser acopiados y transportados muchas veces grandes distancias lo cual representa un alto costo en la construcción, lo cual en carreteras de bajo volumen de tráfico no son justificados.

Con la evaluación de la subrasante se podrá identificar las propiedades de los suelos de mala calidad, con los cuales se realizará un mejoramiento mediante la combinación de otro suelo en porcentajes que lleguen a ser los óptimos.

## **DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Cómo se llegará a los porcentajes óptimos en la combinación de los suelos para el mejoramiento en la subrasante después de realizar su evaluación en una carretera de bajo volumen de tráfico?

## **JUSTIFICACIÓN**

Con este trabajo se pretende proponer una forma práctica para mejorar los suelos de una subrasante mediante una estabilización suelo-suelo utilizando el método grafico para encontrar porcentajes que sean óptimos, en una carretera de bajo volumen de tráfico donde no existe estudios de suelos de la subrasante.

La estabilización o mejoramiento de las propiedades de la subrasante es un problema importante que debe atenderse adecuadamente, ya que el cimiento para la estructura de

una vía dependerá de la capacidad portante que esta pueda tener para que la capas sub base y base que conformen el paquete estructural tengan menor espesor, con un ahorro económico por la reducción de los materiales necesarios para garantizar las solicitaciones de cargas impuestas por el tráfico y el medio ambiente.

Este trabajo se aplicará a un tramo vial donde se realizará la evaluación de la subrasante y se mejorara los suelos no aptos, lo cual servirá para un futuro diseño de la vía pavimentada sobre el tramo en estudio, y la posibilidad que ejecute el mejoramiento realizando este tipo de estabilización.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo general**

- Evaluar la subrasante mediante un estudio de las propiedades de los suelos, realizando una identificación y sectorización de los mismos, con el propósito de mejorar y uniformizar la subrasante con una estabilización suelo-suelo en porcentajes que lleguen a ser óptimos aplicadas a carreteras de bajo volumen de tráfico.

### **Objetivos específicos**

- Ubicar un tramo carretero en el cual el volumen de tráfico sea bajo.
- Utilizar el método gráfico de mezcla de dos suelos para encontrar los porcentajes con los cuales se mejorará la subrasante.
- Utilizar un material que tenga características aceptables y que se encuentre en la zona de estudio para realizar un el mejoramiento de la subrasante.
- Comparar la estabilización suelo-suelo con otro tipo de mejoramientos.
- Calcular los espesores de la subrasante mejorada para los diferentes tipos de suelos mejorados.

## **HIPÓTESIS**

Con la evaluación de la subrasante se determinará el comportamiento de los suelos y se identificara los de mala calidad, entonces podrá mejorar las propiedades físico mecánicas de los mismos con la combinación de otro suelo en porcentajes que sean óptimos y llegar a una subrasante de mejor calidad.

## **VARIABLES**

### **Variable independiente.**

Material de la capa subrasante de una carretera de bajo volumen de tráfico.

### **Variables dependientes.**

Comportamiento de las propiedades de la subrasante.

## **ALCANCE**

El presente trabajo está enfocado a evaluar los suelos naturales de la subrasante siguiendo la metodología de su evaluación en una carretera de volumen de tráfico bajo

Las características de los suelos analizadas serán:

1. Análisis granulométrico
2. Límites de Atterberg.
3. Prueba de Proctor.
4. Prueba de relación de soporte del suelo (CBR).
5. Clasificación AASHTO de las Muestras.

Con los suelos que no cumplan con las condiciones se realizara una estabilización mezclando con otro suelo para generar un nuevo que tenga mejores condiciones que el natural

Se analizará en el suelo estabilizado las siguientes propiedades:

- Granulometría
- Índice de plasticidad
- Densidad máxima y contenido de humedad óptima.
- CBR (resistencia).

Se analizarán los resultados obtenidos en las pruebas para poder proporcionar conclusiones y evaluaciones sobre los porcentajes con los que fueron mejorados los suelos e uniformizada la subrasante.

## CAPÍTULO II

### ESTADO DE CONOCIMIENTO SOBRE LA EVALUACIÓN DE LA SUBRASANTE Y LA COMBINACIÓN DE SUELOS BUSCANDO PORCENTAJES ÓPTIMOS PARA SU MEJORAMIENTO

#### DEFINICIÓN DE LA SUBRASANTE

La subrasante, se define como la parte de la corteza terrestre, que le va a servir de soporte a la estructura del pavimento; puede ser sub-rasante natural (en el caso de los cortes), o constituirse en el sitio (artificial, para los terraplenes)<sup>1</sup>.

De la calidad de ésta depende gran parte, del espesor que debe tener un pavimento sea flexible o rígido. Como parámetro de evaluación de esta capa se emplea la capacidad soporte o resistencia a la deformación por esfuerzo cortante bajo cargas del tránsito.

Es necesario tener en cuenta la sensibilidad del suelo a la humedad, tanto en lo que se refiere a la resistencia eventual a las variaciones de volumen en suelos expansivos, pueden ocasionar graves daños a las estructuras que se apoyan sobre éste<sup>2</sup>.



en cuenta la sensibilidad del suelo a la humedad, tanto en lo que se refiere a la resistencia eventual a las variaciones de volumen en suelos expansivos, pueden ocasionar graves daños a las estructuras que se apoyan sobre éste<sup>2</sup>.

*Figura ;Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..1 .Problemas en la subrasante*

---

<sup>1</sup> (Benavides, 2006).

<sup>2</sup> (Álvarez Pabón-ICPC).

*Fuente: Álvarez –ICPC*

## **PROPIEDADES DE LOS MATERIALES DE SUBRASANTE**

Las propiedades más significativas de los materiales de subrasante se pueden dividir en dos clases como son: las propiedades físicas que son aquellas que determinan el tipo de material y sus características constructivas; y las propiedades mecánicas o ingenieriles que son aquellas que establecen la calidad del suelo para ser utilizado en obras viales.

Las propiedades físicas se evalúan mediante características como:

- La clasificación del suelo.
- Relación humedad-densidad (compactación) del suelo.

Mientras que las características que miden las propiedades mecánicas o ingenieriles se determina mediante los siguientes parámetros:

- El módulo Resiliente (Mr.).
- Módulo de Poisson.
- Valor de soporte (CBR).
- Módulo de reacción de la subrasante (k)<sup>3</sup>.

## **CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS DE LA SUBRASANTE**

### **Tipos de clasificación de los suelos**

Los suelos con propiedades similares se clasifican en grupos y sub grupos basados en su comportamiento ingenieril. Los sistemas de clasificación proporcionan un lenguaje común para expresar en forma concisa las características generales de los suelos que son variadas infinitamente sin una descripción detallada. En la actualidad dos sistemas de clasificación que usan la distribución por tamaño de grano y plasticidad de los suelos son

---

<sup>3</sup> (Riofrío, 2015).

usados comúnmente por los ingenieros de suelos. Estos son el Sistema de Clasificación AASHTO y el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.

El sistema AASHTO lo usan principalmente los departamentos de caminos estatales mientras que los ingenieros geotécnicos usualmente prefieren el Sistema Unificado.

### **Clasificación de los suelos por el método AASHTO**

Este sistema de clasificación fue desarrollado en 1929 como el Public Road Administration Classification System (Sistema de clasificación de la oficina de caminos Públicos).

El sistema de clasificación AASHTO actualmente en uso se muestra en la tabla abajo mostrada, de acuerdo a esta el suelo se clasifica en siete grupos mayores: A-1 al A-7. Los suelos clasificados en los grupos A-1, A-2, A-3, son materiales granulares, donde 35% pasan por la criba No 200 son clasificados en los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7. La mayoría están formados por materiales tipo limo y arcillas. Este sistema de clasificación se basa en los siguientes criterios:

#### **Tamaño del grano**

Grava: fracción que pasa la malla de 75 mm y es retenida en la malla No 10(2 mm) de Estados Unidos.

Arena: fracción que pasa la malla No 10(2 mm) U.S. y es retenida en la malla No 200 (0.075 mm) U.S.

Limo y arcilla: fracción que pasa la malla No 200 U.S.<sup>4</sup>.

#### **Descripción de los grupos de suelos**

##### **Suelos granulares**

Se denomina suelos granulares aquellos materiales que contengan menos del 35% por el tamiz N°200.

**Grupo A-1:** Mezcla bien gradada de piedra, grava, arena gruesa y fina, con o sin finos ligeramente plásticos y no plásticos.

---

<sup>4</sup> (Braja M. Das, 2015).

### **Sub-grupos:**

**A-1-a:** fragmentos de piedra, grava con o sin finos bien gradado

**A-1-b:** incluye aquellos materiales en que predominan la arena gruesa con o sin finos bien gradado.

**Grupo A-2:** este grupo incluye una extensa variación de materiales granulares, que se encuentran en el límite entre los suelos perteneciente a los grupos A-1 y A-3, y los materiales limo – arcillosos de los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7. Se incluye en este grupo todo material que contiene un 35% o menos de partículas que pasan por el tamiz N° 200 y que no pueden clasificarse como A-1 y A-3 debido a que su contenido fino o su plasticidad, o ambos se encuentran en exceso de las limitaciones de estos grupos.

### **Sub-grupos**

**A-2-4 y A-2-5:** incluyen diversos materiales granulares, con un 35% o menos de partículas que pasan el tamiz N°200 y la fracción que pasa el tamiz N°40 posee las características de los grupos A-4 y A-5. Estos grupos incluyen materiales, tales como arena gruesa grava, que contiene limo o con índice de plasticidad que exceden las limitaciones del grupo A-1 y arena fina con limo no plástico que exceden las limitaciones del grupo A-3.

**A-2-6 y A-2-7:** incluyen materiales similares a los descritos en los sub-grupos A-2-4 y A-2-5, con excepción de que la porción que contiene arcilla presenta características de los grupos A-6 y A-7. Los efectos combinados aproximados de índices de plasticidad exceden de 10 y los porcentajes que pasan el tamiz N°200 exceden de 15, se reflejan en valores de índice de grupo de 0 a 4.

**Grupo A-3:** el material típico de este grupo es la arena de playa, de dunas sin finos limosos o arcillosos o con pequeña porción de limo no plástico. También incluye mezclas de arena fina aluviales, de pobre gradación y porciones limitadas de arena gruesa.

### **Suelos limo-arcillosos**

Contienen más del 35% que pasa el tamiz N°200.

**Grupo A-4:** el material típico de este grupo es un suelo limoso, no plástico, o de moderada plasticidad, que posee por lo regular un 75% o más que pasa el tamiz N°200.

También incluye mezcla de suelos finos limosos y hasta con un 64% de arena y grava retenido en el tamiz N°200.

**Grupo A-5:** el material típico de este grupo es similar al descrito en el anterior grupo con la excepción de que por lo regular es de carácter micáceo o diatomáceo, pudiendo ser sumamente elástico por su alto límite líquido.

El índice de grupo varía entre 0 a 12, indicando con valores combinado de limite liquido alto y porcentaje disminuido de material grueso.

**Grupo A-6:** el material típico de este grupo es un suelo arcilloso con un 75% o más de este material que pasa el tamiz N° 200. También incluye mezclas de suelos finos arcillosos hasta con un 64% de arena y grava retenidos en el tamiz N°200.

El índice de grupo varia de 1 a 16, indicando con los valores elevados, el efecto combinado de indice de plasticidad elevado y porcentajes disminuidos de material granular.

**Grupo A-7:** el material típico de este grupo es similar al descrito bajo el grupo A-6, con la excepción de que tiene las características elevado del grupo A-5 y puede ser elástico y puede ser sujeto a cambios considerables de volumen. Los valores de índice de grupo varían de 1 a 20, indicando los valores del efecto combinado de índice de plasticidad elevado y porcentajes disminuidos de material granular.

### **Sub- grupos**

**A-7-5:** incluye aquellos materiales con índice de plasticidad moderado en relación al límite líquido y que pueden ser muy elásticos, así como también estar sujetos a considerables cambios de volumen.

A-7-6: incluye aquellos materiales con índices de plasticidad elevada en relación con el límite líquido, los cuales están sujetos a considerables cambios de volumen<sup>5</sup>.

---

<sup>5</sup> (Pérez y Torres, 2007).

## **Consistencia del suelo**

Cuando existen minerales de arcillas en un suelo de grano fino, este puede ser remodelado en presencia de alguna humedad sin desmoronarse. Esta naturaleza cohesiva es debido al agua absorbida que rodea a las partículas de arcilla. A principios de 1900 un científico sueco Albert Mauritz Atterberg desarrollo un método para describir la consistencia de los suelos de grano fino con contenidos de agua variables. A muy bajo contenido de agua es suelo se comporta más como un sólido frágil. Cuando es contenido de agua es muy alto, el suelo y el agua fluyen como un líquido. Por tanto, dependiendo del contenido de agua, la naturaleza del comportamiento del suelo se clasifica arbitrariamente en cuatro estados básicos, denominados, solido, semisólido, plástico y líquido.

El contenido de agua en porcentaje en el que la transición de estado sólido a semisólido tiene lugar, se define como el límite de contracción el contenido de agua en el punto de transición de estado semisólido a plástico es el límite plástico y de estado plástico a liquido es el límite líquido. Esos límites se conocen también como límites de Atterberg.

Además del LL y del LP una característica a obtener es el índice de plasticidad IP, que se define como la diferencia entre LL y LP.

$$\mathbf{IP=LL-LP}$$

El índice de plasticidad indica la magnitud del intervalo de humedades en el cual el suelo posee consistencia plástica y permite clasificar bastante bien un suelo. Un IP grande corresponde a un suelo arcilloso; por lo contrario, un IP pequeño es característico de un suelo poco arcilloso<sup>6</sup>.

## **Índice de grupo de los suelos**

Es un factor de evaluación importante que determina la calidad del suelo a través de características similares en los grupos de suelos.

$$IG = 0.2a + 0.005ac + 0.01bd$$

Donde:

**IG**=índice de grupo.

---

<sup>6</sup> (Braja M. Das, 2015).

**a**=% que pasa N° 200 -35% (Si %N°200>75, se anota 75 si es, <35, se anota 0).

**b**=% que pasa N° 200 -15% (Si %N°200>55, se anota 55 si es, <15, se anota 0).

**c**=Limite liquido -40% (Si LL>60, se anota 60 si es, <40, se anota 0).

**d**= Índice de plasticidad -10% (Si IP>30, se anota 30 si es, <10, se anota 0).

Considerando que cualquier factor que pudiera salir negativo, este se asume con el valor de cero<sup>7</sup>.

## **METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE LA SUBRASANTE**

La evaluación de la subrasante comprende las siguientes etapas:

- Delimitación de áreas homogéneas.
- Ejecución de ensayos de resistencia sobre los suelos predominantes.
- Determinación del valor de resistencia o de respuesta de diseño para cada área homogénea.

## **CALIDAD DE LA SUBRASANTE PARA CARRETERAS EN GENERAL**

Se consideran como materiales aptos para las capas de la subrasante suelos con CBR > 6%. En caso de ser menor (subrasante pobre o subrasante inadecuada), se procederá a la estabilización de los suelos, para lo cual se analizará alternativas de solución, como la estabilización mecánica, el remplazo del suelo de cimentación, estabilización química de los suelos, estabilización con geo sintéticos, elevación de la rasante, cambiar el trazo vial, eligiéndose la más conveniente técnica y económica<sup>8</sup>.

*Tabla ;Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..1: Categoría de la subrasante*

Calidad.	CBR.
SO: Subrasante inadecuada	CBR<3%
S1:Subrasante insuficiente	CBR ≥3% A CBR<6%
S2:Subrasante regular	CBR≥6% A CBR<10%
S3:Subrasante buena	CBR≥10% A CBR<20%
S4:Subrasante muy buena	CBR≥20% A CBR<30%
S5:Subrasante excelente	CBR≥30%

*Fuente: MTC ,2013*

<sup>7</sup> (Guía de laboratorio U.A.J.M.S, 2015).

<sup>8</sup> (MTC ,2013).

## **Unidades homogéneas de diseño**

Son zonas longitudinales que guardan homogeneidad en parámetros de gran trascendencia en el comportamiento de los pavimentos como:

- Condiciones geológicas.
- Condiciones topográficas.
- Tipo de suelo.
- Condiciones de drenaje.
- Condiciones ambientales.

Las unidades homogéneas de diseño, se pueden determinar con base en:

- Estudios preliminares.
- Exploraciones en la zona.
- Fotografías aéreas.

## **Estudios en la unidad homogénea**

- Clasificación geotécnica preliminar.
- Clasificación geotécnica definitiva.
- Análisis de estabilidad volumétrica.
- Evaluación de condiciones de drenaje.
- Posibilidad de mejoramiento.

## **Clasificación geotécnica preliminar**

Se hacen sondeos, que son perforaciones de área superficial pequeña, hasta una profundidad de 1.50 m por debajo de la sub-rasante, si el suelo es propicio y homogéneo. El espaciamiento longitudinal de los sondeos, está en función de la uniformidad del suelo e importancia del proyecto; se recomienda un sondeo cada 250 m en carreteras y un sondeo cada 50 m en aeropuertos. En un sondeo, se evalúa, según los siguientes casos:

Límites de consistencia → propiedad del suelo.

Humedad natural → estado circunstancial del suelo.

Los ensayos que se realizan son:

- Condiciones de humedad, que se evalúan en profundidad.
- Condiciones de plasticidad.

Si el suelo es granular, se realizan ensayos de granulometría.

## **Clasificación geotécnica definitiva**

Se usa para el diseño de la estructura del pavimento, determinando las condiciones de resistencia de la subrasante en cada una de las unidades homogéneas. Para su evaluación, se realizan una serie de pozos de área mayor en comparación con los sondeos, con el fin de extraer muestras representativas.

El objetivo principal de los pozos, es conocer las características de resistencia del suelo, que está en función de la humedad natural y de su densidad; se debe tratar de que coincidan los pozos, con las abscisas de los sondeos; el espaciamiento entre apiques depende del perfil estratigráfico; como recomendación, se debe tratar de hacer un apique por kilómetro lineal, aunque se pueden definir sus separaciones en base a los siguientes criterios:

- Perfil estratigráfico deducido del estudio geotécnico preliminar.
- Condiciones de consistencia del suelo.
- Características de humedad y plasticidad.
- Condiciones excepcionales.

Para cada uno de los apiques, de la unidad de diseño, se evalúa:

- Condiciones de humedad y plasticidad.
- Condiciones granulométricas.
- Condiciones de Compactación.
- Condiciones de Resistencia.

## **Posibilidad de mejoramiento**

Procedimientos para mejorar los suelos:

- Métodos Físicos.
- Métodos Químicos.
- Métodos Mecánico<sup>9</sup>.

---

<sup>9</sup> (Benavides, 2006).

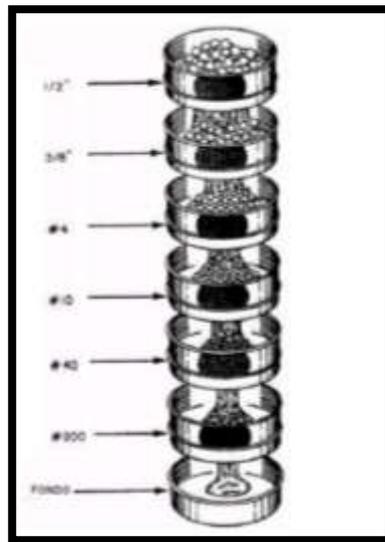
## ENSAYOS NECESARIOS PARA EVALUAR LA SUBRASANTE

### Contenido de humedad

Los suelos habitualmente están compuestos volumétricamente por los siguientes componentes: material sólido, aire y agua. El contenido de humedad en un suelo es la suma de las cantidades de volumen de agua sea esta libre, capilar o higroscópica, existentes en el terreno al extraer la muestra. El resultado de este procedimiento se expresa en porcentaje con respecto al peso seco del suelo con porcentajes que van desde 0% de humedad para los suelos más secos y para suelos con porcentajes que rondan el 100% de saturación para suelos que seguramente se ven afectados por la existencia de nivel freático.

### Análisis granulométrico

La granulometría determina la distribución de tamaños de las partículas en suelos. Para el caso de partículas en la malla 200) su por tamizado, mientras partículas menores a un proceso de EL método ASTM D tamaño de las partículas procedimientos para granulometría.



Para mayores a  $75\mu\text{m}$  (retenidas distribución es determinada que para de tamaños de  $75\mu\text{m}$  es determinado por sedimentación.

422 para el análisis del del suelo proporciona los llevar a cabo el ensayo de

*Figura ;Error! No hay*

*especificado en el documento..2: Determinación granulométrica*

*texto con el estilo*

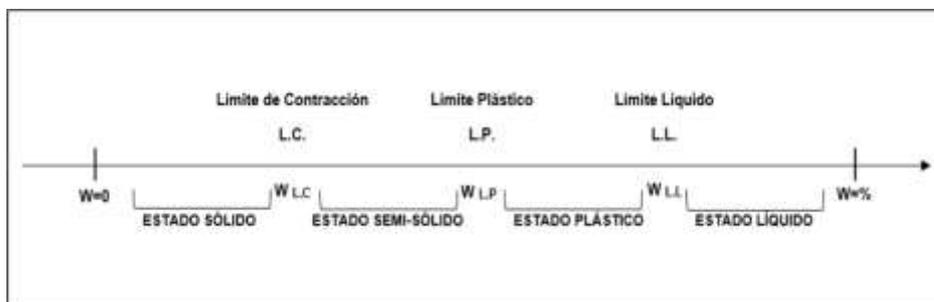
Fuente: Sánchez, 2008

La gradación es una propiedad importante de cada tipo de suelo. El tamaño y la distribución de las partículas de un material que va a ser utilizado en un pavimento, tiene una gran influencia en el comportamiento de la estructura.

El tamaño de las partículas de un suelo es muy variable, van desde partículas gruesas a fino granules. Se puede distinguir varios tipos de suelos a medida que el tamaño de sus partículas decrece teniendo fragmentos de rocas, gravas, arenas, limos y arcillas.

### Plasticidad

La plasticidad de los suelos es su propiedad a deformarse, sin llegar a la ruptura bajo la acción de esfuerzos externos. Esta propiedad está determinada por el contenido de humedad del suelo, ya que mediante esta un suelo puede presentarse en diferentes estados como: límite plástico, semisólido o sólido; mismos en medida que el contenido de humedad disminuye.



Los límites de

Atterberg son los estados en los que un suelo cambia de estado de consistencia a medida que este pierde humedad. Los mencionados límites son Límite Líquido (LL), el Límite Plástico (LP) y Límite de Contracción (LC), mediante los cuales se tendrá una idea del tipo de suelos en estudio. La determinación de los límites se lleva a cabo con el material que pasa el tamiz N°40. Los límites líquido y plástico dependen de la cantidad de arcilla en el suelo.

Figura *¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..3: Estado de consistencia del suelo.*

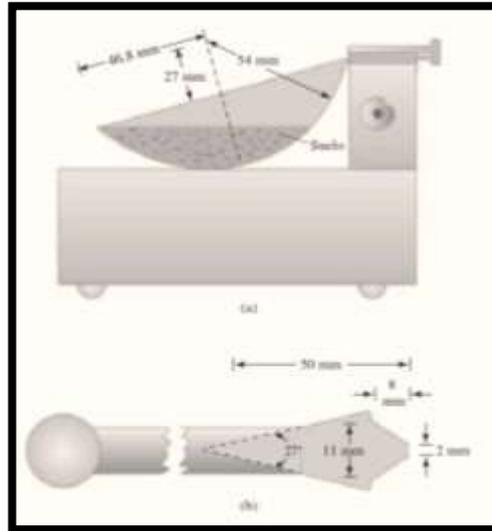
Fuente: Crespo Villalaz, 2010.

### Límite líquido.

El límite líquido de contenido de suelo cambia de plástico, su valor representado en humedad existente suelo seco.

Según Atterberg

tienen en su límite resistencia al esfuerzo de corte de  $25 \text{ g/cm}^2$ , es por ello que se determina el LL en 25 golpes de la cuchara de Casagrande (equipo)<sup>10</sup>.



define como el humedad con el cual un estado líquido al numérico está porcentaje de la con respecto al peso del

los suelos plásticos líquido una pequeña

Figura *¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..4:* a) Dispositivo del Límite Líquido, b) Herramienta de ranurado

<sup>10</sup> (Riofrío, 2015).

*Fuente: Braja M. Das.*

### **Límite plástico**

El límite plástico contenido de porcentaje, en el enrollarse en diámetro se



se define como el humedad, en que el suelo al hilos de 3.2 mm de desmorona. El límite

plástico es el límite inferior del escenario plástico del suelo. La prueba es simple y se realiza mediante rodados repetidos por parte de una masa de tierra de tamaño elipsoidal sobre una placa de vidrio esmerilado.

*Figura ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..5: Prueba del límite plástico*

*Fuente: Braja M. Das.*

### **Compactación**

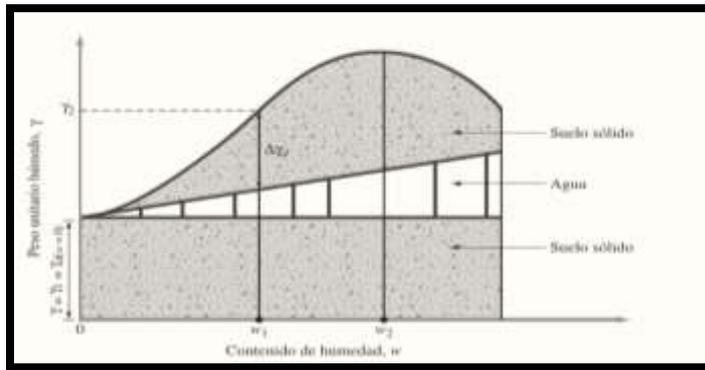
La compactación es un proceso artificial/mecánico, por el cual pretende obtener mejores características en los suelos que constituyen la sección estructural de las carreteras, de tal manera que la obra resulte duradera con el objetivo por el cual fue proyectada<sup>11</sup>.

La compactación es la consolidación del suelo por la eliminación del aire, lo que requiere energía mecánica. El grado de compactación de un suelo se mide en términos de su peso

---

<sup>11</sup>(Montejo, 2002).

unitario seco. Cuando se añade agua a la tierra durante la compactación, ésta actúa como agente suavizante sobre las partículas del suelo. Estas se deslizan una sobre la otra y se mueven en una posición densamente empaquetadas.



El peso unitario seco después de la compactación primero aumenta a medida que se incrementa el contenido de humedad (gráfica 2.1). Tenga en cuenta que el contenido de humedad  $w=0$ , la unidad de peso ( $\gamma$ ) es igual a la unidad del peso seco ( $\gamma_d$ ), 0.

*Gráfica ;Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..1: Principio de la Compactación*

*Fuente: Braja M. Das.*

Cuando el contenido de humedad se aumenta gradualmente el mismo esfuerzo compactador se utiliza para la compactación, el peso de los sólidos del suelo en una unidad de volumen aumenta gradualmente. Por ejemplo, con  $w=w_1$ , el peso unitario húmedo es igual a:

$$\gamma = \gamma_2$$

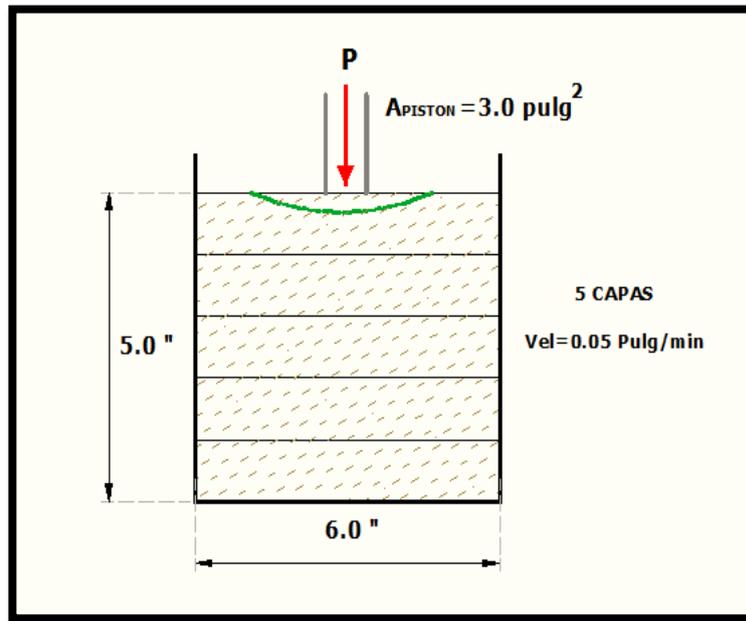
Sin embargo, el peso unitario seco para este contenido de humedad se da por:

$$\gamma_{d(w=w_1)} = \gamma_{d(w=0)} + \Delta\gamma_d$$

Más allá de cierto contenido de humedad  $w=w_2$  (figura) cualquier aumento en este tiende a reducir el peso unitario seco. Esto debido a que el agua llena los espacios que han sido ocupados por las partículas sólidas. El contenido de humedad en el que se alcanza el peso

unitario  
máximo se  
denomina  
contenido  
de humedad  
óptimo<sup>12</sup>.

**Ensayo**



seco  
denomina  
de humedad

**del CBR  
(California  
Bearing  
Ratio)**

Es una  
indirecta  
resistencia

medida  
de la  
al corte de un

suelo bajo condiciones controladas de densidad y humedad, valor que se expresa como una relación porcentual entre el esfuerzo requerido para penetrar un pistón de 3 Pulg<sup>2</sup> de área dentro de una probeta de suelo de 6 pulg de diámetro y 5 pulg de altura, la cual se penetra a una velocidad de 0.05 pulg/min; Y el esfuerzo requerido para introducir el mismo pistón hasta la misma profundidad en una muestra patrón.

El valor de CBR en suelos se determina a 0.1" y 0.2" de deformación, porque a esos niveles son las sollicitaciones normales que soportan los suelos<sup>13</sup>.

*Figura ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..6: Esquema de penetración en el suelo*

<sup>12</sup> (Braja M. Das, 2015).

<sup>13</sup> (Benavides, 2006).

*Fuente: Benavides, 2006.*

## **PARÁMETROS DETERMINANTES EN LA RESPUESTA LA SUBRASANTE**

El comportamiento de una subrasante generalmente depende de tres características básicas, las cuales se hallan interrelacionadas entre sí.

### **La capacidad portante**

La subrasante debe tener la capacidad de soportar las cargas transmitidas por la estructura del pavimento. La capacidad de carga es función del tipo de suelo, del grado de compactación y de su contenido de humedad.

El propósito del pavimento es proporcionar superficie confortable al tránsito de vehículos. Consecuentemente, es necesario que la subrasante sea capaz de soportar un número grande de repeticiones de carga sin presentar deformaciones.

El contenido de humedad es afectado principalmente por las condiciones de drenaje, elevado nivel freático, infiltración etc. Una subrasante con elevado contenido de humedad sufrirá deformaciones prematuras ante el paso de las cargas de sollicitación de los vehículos.

### **Contenido de humedad**

El diferente grado de humedad de la subrasante afecta en forma determinante su capacidad de carga pudiendo además llegar a provocar inclusive contracciones y/o expansiones indeseables, especialmente en el caso de la presencia de suelos finos.

## **Contracción y/o expansión**

Algunos suelos se contraen o se expanden dependiendo de su grado de plasticidad y su contenido de humedad. Cualquier pavimento construido sobre estos suelos, si no se adoptan las medidas pertinentes, tenderán a deformarse y/o deteriorarse prematuramente.

Para evitar que las deflexiones admisibles en la subrasante excedan los límites establecidos, deben cumplirse que la presión transmitida por la carga se mantenga por debajo del valor de la carga máxima transmitida al suelo para lo cual deberá tomarse en cuenta el tránsito de diseño a través del número de repeticiones de carga, las deformaciones máximas esperadas y el CBR del material con el que se ejecutara el mejoramiento<sup>14</sup>.

## **ESTABILIZACIÓN DE LOS SUELOS PARA LA OPTIMIZACIÓN EN EL MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE**

### **Introducción**

Es frecuente que el ingeniero encuentre no adecuados en algún sentido los suelos que ha de utilizar para un determinado fin, en un lugar específico. Este hecho abre obviamente tres posibilidades de decisión.

- Aceptar el material tal como lo encuentre pero tomando en cuenta realísticamente su calidad en el diseño efectuado.
- Eliminar el material insatisfactorio o prescindir de usarlo, substituyendo por otro de características adecuadas.
- Modificar las propiedades del material existente para hacerlo capaz de cumplir mejores requerimientos.

La última alternativa da lugar a las técnicas de estabilización de suelos. En rigor son muchos los procedimientos que pueden seguirse para lograr esa mejoría de las propiedades de los suelos con vistas a hacerlos apropiados para algún uso específico, lo que constituye la estabilización. La siguiente lista de tipos de procedimientos más comunes:

- Estabilización por medios mecánicos, de los que la compactación es el más conocido pero entre las mezclas de suelos se utilizan también muy frecuente.

---

<sup>14</sup> (Leiva, 2016).

- Estabilización por drenaje.
- Estabilización por el empleo de calor y calcinación.
- Estabilización por medios químicos generalmente lograra por adición de agentes estabilizantes específicos, como el cemento, la cal, el asfalto, u otros<sup>15</sup>

Con la estabilización se pretende en primer lugar, aumentar la resistencia mecánica, trabando las partículas de una forma más efectiva y asegurando que las condiciones de humedad en las que trabaja el suelo varíen dentro de unos rangos reducidos consiguiendo una adecuada estabilidad a las cargas y una escasa variación volumétrica<sup>16</sup>.

### **Estabilización mecánica**

En este párrafo se tratara exclusivamente el caso de estabilización de suelo por mezcla con otro, dejando de lado, por haber sido analizada con anterioridad la más común y rutinaria forma de tratamiento mecánico, que es la compactación.

Cuando se diseña mezclas de suelo, para lograr con ellas unas determinadas propiedades deseables, la granulometría suele ser requisito más relevante en fracción gruesa, en tanto que la plasticidad lo es, naturalmente, en la fina.

El tamaño máximo de partículas de la mezcla tiene importancia, puesto q el tamaño demasiado grande son difíciles de trabajar y producen superficies muy rugosas; una proporción demasiado grande de tamaño grueso conduce a mezclas muy segregables. La presencia de contenidos importantes de materiales finos, menores que la malla 40, hace difícil lograr buenas características de resistencia y de deformabilidad<sup>17</sup>

Estas mezclas suelen realizarse con suelos arenosos o, en general, granulares ya que son los que en mejor medida pueden corregir los efectos de las arcillas. El proceso se basa fundamentalmente en la alteración granulométrica del suelo mediante la adición de partículas gruesas y la consiguiente dilución del efecto de las partículas finas características de las arcillas.

Este mecanismo es bien conocido en el campo agrícola para la mejora de fincas y en la construcción de vías y pistas rurales<sup>18</sup>

---

<sup>15</sup> (Rico y del Castillo, 1977).

<sup>16</sup> (Bañon).

<sup>17</sup> (Rico y del Castillo, 1977).

<sup>18</sup> (Baldiviezo,2014)

## Método gráfico en la mezcla de dos suelos para encontrar los porcentajes óptimos

Para la realización del método gráfico se comienza por dibujar un cuadro (Figura. 2.2) en cuyos lados se coloca los porcentajes granulométricos en la disposición mostrada.

En la escala vertical de la derecha se dibujan puntos según la granulometría que muestra el material, señalando en cada porcentaje la malla correspondiente en que tal porcentaje ocurre, igual en el material 2 en la escala vertical de la izquierda. Si se unen tales puntos por líneas rectas como se hace en la figura, se tendrá una recta para cada malla. Sobre esas líneas rectas y con base en las escalas verticales de porcentajes que pasan se colocan en cada una, los límites de las especificaciones a que se desea se sujete la mezcla (ver Tabla.2.2 para interpretar los límites señalados en la figura. 2.2).

*Tabla ;Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..2: Datos para la mezcla de suelos*

Malla	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	Nº 8	Nº 30	Nº 50	Nº 100	Nº 200
Suelos									
1	100	90	59	16	3,2	1,1	0	0	0
2	100	100	100	96	82	51	36	21	9,2
Mezcla	100	80-90	70-90	50-70	35-50	19-29	13-23	8-16	4-10

*Fuente: Rico y del Castillo, 1977.*

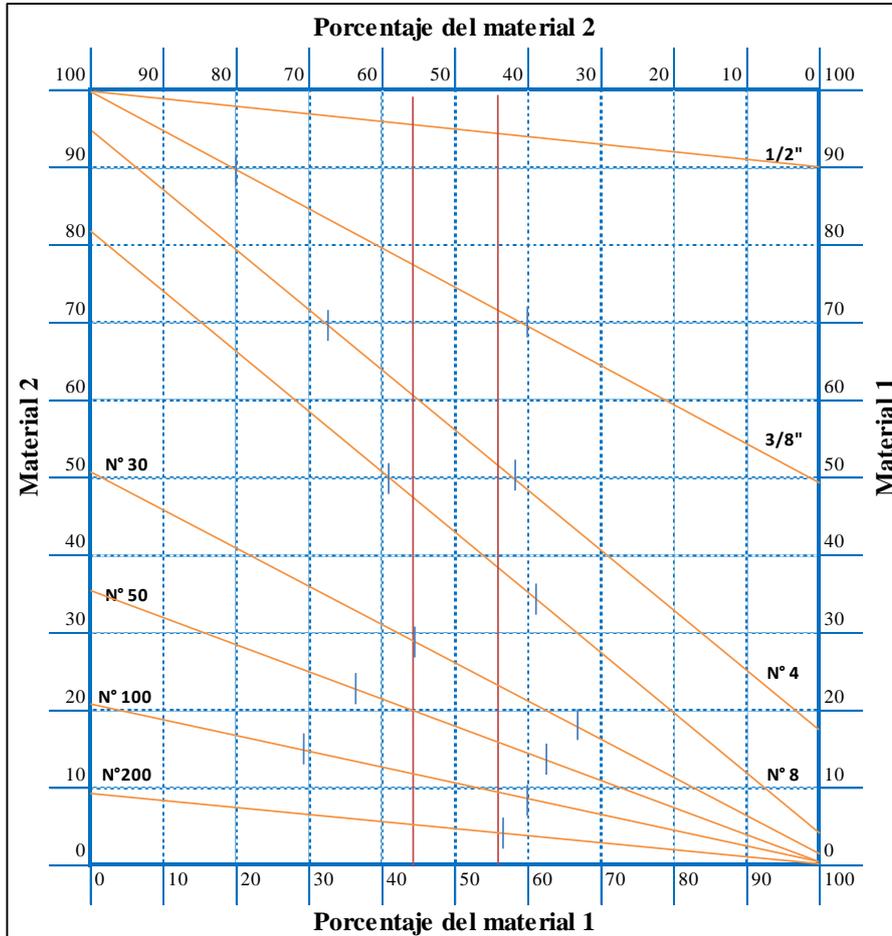
La figura está construida de tal manera que un punto cualquiera de los señalados en una de las líneas inclinadas, que representa a un cierto porcentaje de mezcla en el tamaño correspondiente a la línea, permite leer en las escalas horizontales superior e inferior los respectivos porcentajes en que deberían entrar en la mezcla de los materiales 1 y 2 para producir un porcentaje como el señalado en el tamaño correspondiente.

Así, se trazan las dos líneas verticales de puntos, por puntos más próximos entre sí de todos los corresponden a los límites de especificación de la mezcla, se habrá limitado una zona tal los que porcentajes en que se mezclan los suelos 1 y 2 quedaran dentro de ella, se producirá una mezcla que automáticamente resulta dentro de todas las especificaciones señaladas.

Una utilización de las mezclas se suelos de uso no demasiado común, pero de tremenda potencialidad es aquella que tiende a modificar la composición mineralógica y la naturaleza de los iones intercambiables de los minerales.

Las proporciones de finos de una u otra naturaleza pueden ser modificadas, lográndose grandes cambios muy importantes en alguna propiedad específica. Ejemplos típicos de esta técnica son la adición de arenas finas.

*Gráfica **¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..2: Método gráfico de para el diseño de mezclas de dos suelos***



*Fuente: Rico y del Castillo, 1977.*

### **Método analítico para la mezcla de dos suelos**

Se tiene un suelo dividido en varias fracciones conocido el porcentaje que constituye cada fracción y se desea variar uno o más de estos porcentajes por la adición de alguna porción de otro suelo de granulometría conocida.

En general, si A, B, C,... son los porcentajes que pasan una cierta malla de un conjunto de suelos 1, 2,3,...y que se van a combinar para formar un suelo único y si a, b, c,... son

los porcentajes en los que los susodichos suelos 1, 2,3,..van a entrar en la combinación, el porcentaje de la mezcla que pasara por una cierta malla estará dado por la ecuación:

*Ecuación ;Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..1*

$$P = aA + bB + cC$$

Supóngase que se tiene una mezcla de solo dos suelos; entonces la ecuación 2.1 queda:

*Ecuación ;Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..2*

$$P = aA + bB$$

Evidentemente  $a + b = 100\%$  de donde:

$$a = 1 - b$$

Sustituyendo en la Ecuación 2.2

$$p = A = \pi r^2 A = \pi r^2 A = \pi r^2 (1 - b)A + bB = A - Ab + bB$$

$$p - A = b(B - A)$$

De donde se obtiene:

*Ecuación ;Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..3*

$$b = \frac{p - A}{B - A}$$

Trabajando similarmente, puede llegarse a:

*Ecuación ;Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..4*

$$a = \frac{p - B}{A - B}$$

Las expresiones de las ecuaciones 2.3 y 2.4 dan los porcentajes en que los suelos 1 y 2 deben combinarse, para mezcla tenga el porcentaje  $p$  pasando la malla que se haya elegido

como base del cálculo. Obviamente p debe ser seleccionado por el proyectista, con base en sus necesidades prácticas<sup>19</sup>.

## **Estabilización química**

### **Mejoramiento de los suelos con cal**

La cal hidratada es el agente estabilizador que se ha usado más profusamente a través de la historia, pero solo recientemente se han hecho estudios científicos relacionados a su empleo como estabilizador de suelos y se han cuantificado sus magníficos resultados.

Cuando tenemos arcillas muy plásticas podemos disminuir dicha plasticidad y consecuentemente los cambios volumétricos de la misma asociados a la variación en los contenidos de humedad con el solo hecho de agregarle una pequeña proporción de cal.

Este es un método económico para disminuir la plasticidad de los suelos y darle un aumento en la resistencia. Los porcentajes por agregar varían del 2 al 6% con respecto al suelo seco del material para estabilizar, con estos porcentajes se consigue estabilizar la actividad de las arcillas obteniéndose un descenso en el índice plástico y un aumento en la resistencia.

Es recomendable no usar más del 6% ya que con esto se aumenta la resistencia pero también tenemos un incremento en la plasticidad. Los estudios que se deben realizar a suelos estabilizados con cal son: límites de Atterberg, granulometría, valor cementante, equivalente de arena, VRS, compresión.

Como especificamos anteriormente, la dosificación dependerá del tipo de arcilla, se agregará de 1% al 6% de cal por peso seco. Este porcentaje debe determinarse en el laboratorio, pero lo más común en la mayoría de los casos se requiere de un porcentaje cerca del 3%.

#### **Procedimiento Constructivo:**

La capa inferior a la que se va a estabilizar, deberá estar totalmente terminada, el mezclado puede realizarse en una planta adecuada o en campo, obteniéndose mejores

---

<sup>19</sup> (Rico y del Castillo, 1977).

resultados en el primer caso, la cual puede agregarse en forma de lechada, a granel o en sacada. Si se agrega en forma de lechada, ésta se disuelve en el agua de compactación, la que se incrementa en un 5%.

Cuando se efectúa el mezclado en el campo, el material que se va a mejorar deberá estar disgregado y acamellonado, se abre una parte y se le agrega el estabilizador distribuyéndolo en el suelo para después hacer un mezclado en seco, se recomienda agregar una ligera cantidad de agua para evitar los polvos. Después de esto se agrega el agua necesaria y se tiende la mezcla debiendo darle un curado de hasta 48 horas de acuerdo con el tipo de arcilla de que se trate, luego se tiende la mezcla y se compacta a lo que marca el proyecto para después aplicarle un curado final, el cual consiste en mantener la superficie húmeda por medio de un ligero rocío. Se recomienda no estabilizar cuando amenace lluvioso o cuando la temperatura ambiente sea menor a

5 ° C, además se recomienda que la superficie mejorada se abra al tránsito vehicular en un tiempo de 24 a 48 horas.

### **Estabilización con cemento**

El cemento mezclado con el suelo mejora las propiedades de éste desde el punto de vista mecánico.

Partículas inertes granulares con otras activas de diversos grados de plasticidad, la acción que en ellos produce el cemento es doble. Por una parte actúa como conglomerante de las gravas, arenas y limos desempeñando el mismo papel que en el hormigón. Por otra parte, el hidrato de calcio, que se forma al contacto del cemento con el agua, libera iones de calcio que por su gran afinidad con el agua roban algunas de las moléculas de ésta interpuestas entre cada dos laminillas de arcilla. El resultado de este proceso es la disminución de la porosidad y de la plasticidad así como un aumento en la resistencia y en la durabilidad. Se pueden utilizar todos los tipos de cementos, pero en general se emplean los de fraguado y endurecimiento normales. En algunos casos, para contrarrestar los efectos de la materia orgánica son recomendables los cementos de alta resistencia y si las temperaturas son bajas se puede recurrir a cementos de fraguado rápido o al cloruro de calcio como aditivo. Este tipo de estabilización es de uso cada vez más frecuente y consiste comúnmente en agregar cemento Portland en proporción de un 7% a un 16% por volumen de mezcla.

Al mejorar un material con cemento Pórtland se piensa principalmente en aumentar su resistencia, pero además de esto, también se disminuye la plasticidad, es muy importante para que se logren estos efectos, que el material por mejorar tenga un porcentaje máximo de materia orgánica del 34%.

Casi todos los tipos de suelo que encontramos pueden estabilizarse con cemento con excepción de los que contienen altos porcentajes de materia orgánica. Por otra parte, los suelos de arcilla o limo requerirán un mayor porcentaje de cemento para lograr los resultados esperados.

Existen dos formas o métodos para estabilizar con cemento Portland, una es la llamada estabilización del tipo flexible, en el cual el porcentaje de cemento varía del 1 al 4%, con esto solo se logra disminuir la plasticidad y el incremento en la resistencia resulta muy bajo, las pruebas que se les efectúan a este tipo de muestras son semejantes a las que se hacen a los materiales estabilizados con cal.

Otra forma de mejorar el suelo con cemento, se conoce como estabilización rígida, en ella el porcentaje de cemento varía del 6 al 14%, este tipo de mejoramiento es muy común en las bases, ya que resulta muy importante que éstas y la carpeta presenten un módulo de elasticidad semejante, ya que con ello se evita una probable fractura de la carpeta, ya que ambos trabajan en conjunto; para conocer el porcentaje óptimo a emplear se efectúan pruebas de laboratorio con diferentes contenidos de cemento<sup>20</sup>.

## **CARRETERAS DE BAJO VOLUMEN DE TRÁFICO**

Se consideran vías de bajo volumen, aquellas en que se esperen menos de 2 millones de EE en el periodo de diseño. Adicionalmente, con la finalidad de mejorar la precisión del procedimiento, el tráfico ha sido sub-dividido en 3 categorías, como se indica en la Tabla 2.3.

*Tabla ;Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..3:  
Clasificación de tráfico en vías de bajo volumen*

Clasificación	Repeticiones de EE en periodo de diseño (REE)
Bajo.	Menos de 400.000

---

<sup>20</sup> (De la Cruz y Salcedo, 2016).

Medio.	400.000 a 1.400.000
Alto.	1.400.000 a 2.000.000

*Fuente: Jugo, 2010.*

### **Diferencias entre carreteras de alto y bajo volumen de tráfico**

En la tabla siguiente se puede apreciar la diferencia de algunos parámetros que diferencian las carreteras de alto y bajo volumen de tráfico

*Tabla ;Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..4: Parámetros de alto y bajo volumen de tráfico*

Parámetros	Bajo tráfico	Alto tráfico
EE	2.000.000	>2.000.000
Periodo de diseño (Años)	8-15	>20
Nivel de falla ( $\Delta$ PSI)	2.2	>2.0
Confiabilidad	50-70%	>70%

*Fuente: Jugo, 2010.*

Otra de las características de es que las carreteras de bajo volumen de tráfico son vías secundarias como terciarias, siendo las carreteras de alto volumen de tráfico vías principales como auto pistas.

*Tabla ;Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..5: Clasificación de carreteras según TPDs*

Tipo de Vía	TPDs
Vt-E	0 a 200
(Vs)-(M o E)-(CC)	201 a 500
(Vp)-(A)-(AP-MC-CC)	501 a 10.000
(Vp)-(A)-(AP-MC-CC)	Más de 10.001

*Fuente: ICPC.*

*Tabla ;Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..6: Siglas para denominar categorías carreteras*

Vt: Vía terciaria	A: Anchas
Vs: Vía secundaria	CC: Carreteras de 2 direcciones
Vp: Vía principal	MC: Carreteras multicarriles
E: Estrechas	AP: Autopistas
M: Medias	

*las  
de*

*Fuente: ICPC.*

### **Cálculo de ejes equivalentes en carreteras de bajo tráfico**

Como se ha indicado la demanda sobre la estructura corresponde a las cargas esperadas actuantes sobre el pavimento. Este parámetro se cuantifica como Ejes Equivalentes (EE) de 18.000 lbs (8.2 ton) en el periodo de diseño. Como se indicó es una variable de gran importancia para el dimensionamiento de la estructura.

Estimación de cargas en el periodo diseño:

Para la estimación de las repeticiones de EE esperadas en el periodo de diseño

(REE) deben emplearse las siguientes variables:

- Ejes equivalentes esperados en el primer año (EEo)
- Periodo de diseño en años
- Taza de crecimiento interanual de tráfico

A continuación se presenta un procedimiento simplificado para estimar REE tomando en cuenta conceptos aplicables a vías de bajo volumen y cifras representativas de las distintas variables de tráfico para Venezuela.

El primer paso es la determinación de EEo, o sea el número de EE en el canal crítico -o de diseño- durante el primer año en servicio del pavimento. Para ello se emplea la siguiente ecuación:

$$\mathbf{EEo = PDT \times \%cam \times FC \times 365}$$

Donde:

EEo= Ejes equivalente en el año inicial

PDT = promedio diario de tráfico en un sentido (canal de diseño)

% cam= porcentaje de vehículos pesados /100

FC= Factor Camión (promedio de EE por camión)

El valor del PDT y % cam, puede obtenerse de estadísticas o proyecciones de data existente, o mediante conteos de tráfico. En vías para las que no se encuentre información, puede hacerse un conteo manual clasificado.

Conocido el valor de EEo, se puede estimar el número de repeticiones (REE), esperadas en el periodo de diseño, mediante la ecuación:

$$\mathbf{REE = EEo \times Fcr}$$

Donde:

REE = Repeticiones de carga esperados en el periodo

EEo= Ejes equivalente en el año inicial

Factor de crecimiento o de acumulación de tráfico en función de periodo de diseño de diseño (n) en años y tasa de crecimiento (r); este factor se obtiene de la Tabla 5 para valores considerados apropiados en vías de bajo volumen.

De acuerdo a información recabada y procesada por el Prof. Gustavo Corredor M., correspondiente a los años 2002 a 2008.

EE/camión. Adicionalmente los FC promedio de los distintos tipos de vehículos de carga y colectivos se muestran en la tabla 2.7.

Para vías de bajo volumen es normal usar periodos de diseño entre 8 y 12 años, el cual es definido en función de la importancia de la vía y otros factores como, recursos existentes, políticas de rehabilitación, crecimiento esperado de tráfico, etc. Para vías muy menores un periodo de 8 años debe considerarse como mínimo.

*Tabla ;Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..7: Factor camión para diferentes tipos de vehículos*

Clase de Vehículo	FC	Número total de ejes
2RD Autobús	0.48	2
2RD Liviano	0.02	
2RD Pesado	2.59	
O3E Autobús	1.88	3
O3E Camión	3.84	
2S1	6.66	
2S2	4.08	4
3S2	3.19	5
2R3	8.96	
3R2	6.33	
3S3	3.37	6

*Fuente: Jugo, 2010.*

*Tabla ;Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..8: Factor de crecimiento de tráfico (fcr)*

Periodo de diseño (años)	Tasa de crecimiento anual (%)			
8	8.58	9.41	9.90	10.64
10	10.95	12.01	13.18	14.49
12	13.41	15.03	16.87	18.98

*Fuente: Jugo, 2010.*

### **Nivel de falla o comportamiento del pavimento**

El nivel de falla, corresponde al mínimo valor de serviciabilidad o calidad de rodaje para el que se diseña el pavimento. Este término, en la ecuación AASHTO, se representa como DPSI, o sea la diferencia entre la calidad de rodaje inicial y final del pavimento. En nuestro caso, para vías de bajo volumen, se ha considerado un valor de DPSI de 2.2.

## **Confiabilidad estadística**

La confiabilidad estadística se refiere a un factor de seguridad que se incorpora en el diseño en función del error de predicción de tráfico y comportamiento. Este factor o nivel de confiabilidad se incrementa a medida que la información de diseño es menos precisa o que la vía sea de mayor importancia, lo se traduce en una estructura más resistente y de mayor costo. Debe indicarse que la incorporación de este factor en el proceso de diseño es relativamente compleja.

Para vías menores se emplean niveles de confiabilidad bajos. En nuestro caso se presentan 3 alternativas: 50 % adecuado para vías de muy bajo tráfico; 60 % para aquellas en las que se tenga buena información de diseño, especialmente de suelo de subrasante y tráfico, y 70 % para vías más importantes y/o de información poco confiable, o para las que se considere adecuado incorporar mayor confiabilidad al diseño y/o aumentar la probabilidad de extender su vida útil<sup>21</sup>.

## **CAPÍTULO III**

### **DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN SOBRE LA EVALUACIÓN DE LA SUBRASANTE BUSCANDO LOS PORCENTAJES ÓPTIMOS PARA SU MEJORAMIENTO**

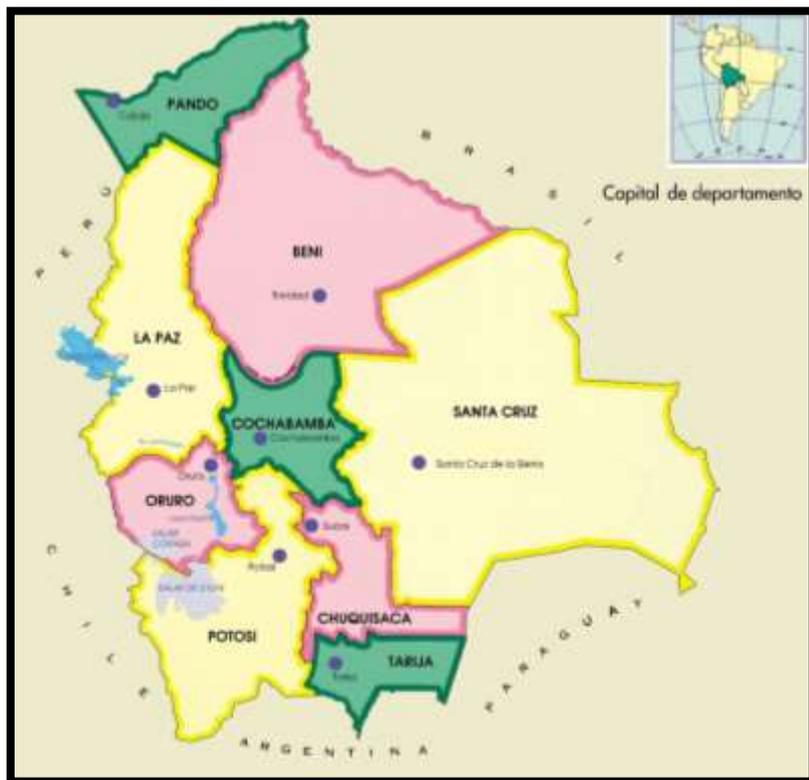
#### **UBICACIÓN DE LA ZONA EN ESTUDIO**

El área de estudio se encuentra en el Departamento de Tarija-Bolivia, Provincia Avilés, en un tramo carretero que une dos comunidades Sunchuhuayco-Laderas Centro, con una longitud de 7.50 Km.

---

<sup>21</sup> (Jugo, 2010.)

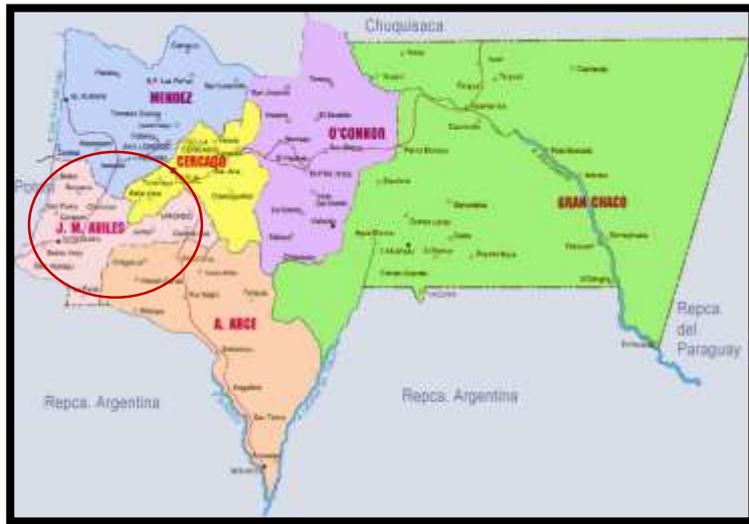
Figura *¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento.*7: Ubicación geográfica del departamento de Tarija en el Estado Plurinacional de Bolivia.



Fuente:

threeblindants.com

Figura *¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento.*8: Ubicación de la provincia Avilés en el Dpto. de Tarija



Fuente: [carreterasbolivia.com/tarija/](http://carreterasbolivia.com/tarija/)

Figura *¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento.*9: Ubicación del área de estudio de la Provincia Avilés en el Dpto. de Tarija



Google

Fuente: earth.

## DETERMINACIÓN DE LA CARRETERA DE BAJO VOLUMEN DE TRÁFICO

### Aforo del tráfico en la carretera

Se realizó un aforo en las horas picos para determinar la cantidad de vehículos que transitan por dicha carretera teniendo por resultados los siguientes que se muestran en la

tabla 3.1 , comprobando así que se trata de una vía de poco tráfico, siendo aplicable nuestro estudio.

*Tabla ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..9: Resumen de aforo de vehículos en las horas pico*

Tiempo	Semana 1 (veh/h)	Semana 2 (veh/h)	Semana 3 (veh/h)	Semana 4 (veh/h)
7:00-8:00	9	6	7	7
12:00-13:00	9	5	6	8
18:00-19:00	8	6	7	8

*Fuente: Elaboración Propia.*

Las planillas de aforo se encuentran en anexos y el cálculo de tráfico promedio diario.

### **Determinación de los ejes equivalentes**

TPD= 40 Veh/día (ver anexos)

*Tabla ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..10: Porcentaje de camiones*

*Fuente: Elaboración propia.*

% de veh pesados	
Mediano	Pesado
33%	17%
% Camiones	50%

*Tabla ¡Error! No hay texto con especificado en el*

*el estilo documento..11:*

*Estimación del Factor Camión*

Tipo de vehículo	% Veh <sub>i</sub>	Fc <sub>i</sub>	(% Veh <sub>i</sub> *Fc <sub>i</sub> )/100
Mediano	66	0,03	0,02
Pesado	34	3,84	1,31
Factor Camión (FC)			1,33

*Fuente: Elaboración propia*

$$EEo = 40 \times 0.50\% \times 1.325 \times 365$$

$$EEo = 9672.50$$

$$REE = EEo \times Fcr$$

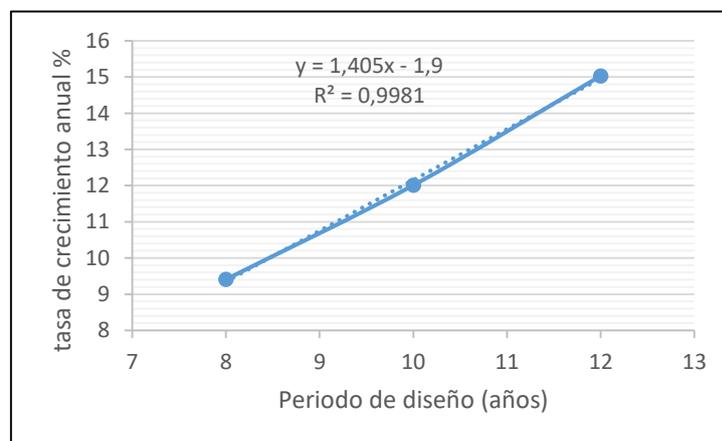
Para definir la tasa de crecimiento de los vehículos. La metodología permite definir tasas de crecimiento 4 y 7%. La elección de una u otra depende de quien realiza el análisis, sin embargo se recomienda la utilización de la tasa de 4% salvo en el caso en que se puede afirmar con seguridad que el cambio de estándar del camino producirá un tránsito generado significativo

De la tabla de factor de crecimiento del tráfico se obtuvo el valor para un periodo de 15 años con lo cual tenemos el factor de 19.17

$$REE = 9672.5 \times 19.175$$

REE = 185470.19 EE se puede evidenciar que la carretera es de bajo volumen de tráfico.

**Grafica *¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..3: Factor de crecimiento del tráfico***



*Fuente: Elaboración propia.*

## ESTADO ACTUAL DEL TRAMO DE APLICACIÓN

De la  
hasta la  
0+750  
tramo  
recto este  
pendiente  
ancho de  
m en este  
suelos



progresiva 0+00  
progresiva  
tenemos un  
prácticamente  
sector tiene  
muy leve, un  
calzada de 7.20  
tramo tenemos  
naturales A-6(7).

Cuenta con una carpeta de ripio de 15 cm el cual presenta hundimientos de aproximadamente de unos 8 cm debido al tráfico vehicular y la presencia de suelos arcillosos.

*Figura ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..10:  
Hundimiento de la calzada debido al tráfico*



*Elaboración*

*Figura  
texto con el  
especificado*

*Apreciación*

*Fuente:  
propia.*

*¡Error! No hay  
estilo  
en el  
documento..11:  
del hundimiento*

*Fuente: Elaboración propia.*

En la progresiva 0+800 existe un paso de quebrada donde el tramo presenta problemas debido a la acumulación de material arcilloso sobre la plataforma lo cual se presenta en el la siguiente figura.

*Figura ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..12: Presencia de material arcilloso sobre el ripiado.*



*propia.*

A partir

1+250

2+250 tenemos suelos A-2-4(0) en este sector la pendiente poco pronunciada casi plano en este sector, debido a la presencia de suelos naturales con buena calidad no presenta problemas en su plataforma

En la progresiva 2+260 existe un primer puente que cuenta con una longitud de 20 m.

*Fuente:  
Elaboración*

de la  
progresiva

hasta la

*Figura ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..13: Puente de 20m emplazado sobre la carretera*



*Fuente:*

*Elaboración propia.*

En la progresiva 2+250 a 3+000 se presenta suelos A-4(1) este sector cuenta con pendiente más pronunciada entre 2% a 5%, de la progresiva 3+250 hasta la 4+000 se presenta suelo A-2-4(0) en este sector tenemos un segundo puente el cual tiene 60 m de longitud.

*Figura ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..14: Puente de 60m emplazado sobre la carretera*



*Fuente: Elaboración propia.*

En el sector de la progresiva 4+250 hasta la 5+250 se encuentra suelos naturales A-7-5(13), este tramo se encuentra con una pendiente de 15%, en la plataforma presenta ahuellamientos en ciertos sectores un daño en las cunetas.

*Figura ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..15: Cunetas en mal estado*



*Fuente: Elaboración propia.*

Desde la progresiva 5+500 hasta la progresiva 7+500 se presentan suelos A-6 en este sector podemos apreciar la presencia de huecos en la plataforma debido a la presencia del lluvias que hicieron que se lave la plataforma en sectores estos huecos presentan una profundidad de 15 cm.

*Figura ;Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..16:  
Formación de surcos en la calzada*



*Fuente:  
propia.*

*Elaboración*

## **EVALUACIÓN DE LA SUBRASANTE NATURAL**

### **Ubicación de los sondeos**

Para la ubicación de los sondeos a lo largo de la carretera se ubicó los puntos de los sondeos cada 250 m de distancia uno del otro para lo cual se colocó estacas para poder identificar claramente el punto de extracción de la muestras.

Una vez colocado las estacas a los costados de la carretera cada 250 m como el tramo tiene aproximadamente 7.500 km se utilizó 31 estacas para poder identificar donde se realizara los sondeos a los respectivos suelos.

Descripción	Prog. (km)	Sondeo
Tramo Sunchuayco - Laderas Centro	0+000	1
	0+250	2
	0+500	3

*Tabla ¡Error! No  
estilo especificado  
documento..12:  
sondeos*

	0+750	4
	1+000	5
	1+250	6
	1+500	7
	1+750	8
	2+000	9
	2+250	10
	2+500	11
	2+750	12
	3+000	13
	3+250	14
	3+500	15
	3+750	16
	4+000	17
	4+250	18
	4+500	19
	4+750	20
	5+000	21
	5+250	22
	5+500	23
	5+750	24
	6+000	25
	6+250	26
	6+500	27
	6+750	28
	7+000	29
	7+250	30
	7+500	31

*hay texto con el  
en el  
Ubicación de los*

*Fuente: Elaboración propia.*

## **Extracción de las muestras de la subrasante**

Las muestras de suelos a utilizarse para el estudio de la subrasante se las obtuvo de la calzada a diferentes progresivas teniendo como referencia el trazo actual de la carretera, con la finalidad de evaluar y establecer las características físico-mecánicas de la subrasante (terreno natural).

Los sondeos fueron ejecutados con un espaciamiento uno cada 250 m en el tramo carretero se tuvo que levantar una capa de material granular antes de llegar a la subrasante.

Las muestras de suelos, debidamente identificadas con el número de sondeo y protegidas mediante recipientes adecuados (bolsas plásticas), se han trasladado y ensayado parte en el laboratorio de campo y el resto se ha enviado al laboratorio de Mecánica de Suelos del Servicio Departamental de Caminos y otras muestras en el laboratorio de Suelos de la Universidad Juan Misael Saracho.

*Figura **¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..17**: Toma de muestra del tramo Sunchuhuayco-Laderas Centro*



*Fuente: Elaboración*

*propia.*

## Ensayos para caracterizar la subrasante

Con el objetivo de evaluar la subrasante es necesario realizar los ensayos de laboratorio, los cuales se presentan en la siguiente tabla:

*Tabla ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..13: Ensayos a realizar para la caracterización de la subrasante*

Propiedad analizada	Ensayo a realizar	Norma o especificación
Granulometría	Análisis por tamizado	ASTM D422 AASHTO T88
Plasticidad	Ensayo de Límite Líquido	ASTM D4318 AASHTO T89
	Ensayo de Límite Plástico e IP	ASTM D 4318 AASHTO T90
Clasificación	—	Según el sistema AASHTO
Compactación	Método modificado T-180	ASTM D422 AASHTO T180
Capacidad Portante	Ensayo de CBR (California Bearing Ratio)	ASTM D1883 AASHTO T193

*Fuente: Elaboración propia.*

## Humedad natural de los suelos

Conocer el porcentaje de humedad que tiene un suelo en la subrasante es importante para poder inspeccionar el estado en el que se encuentra ese suelo para poder determinar el contenido de humedad se procede a pesar un recipiente vacío luego con el suelo húmedo con lo cual se lleva al horno luego de secado se procedió a pesar y calcular el porcentaje de humedad presente en el suelo.

*Tabla ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..14: Humedad de los suelos de los diferentes sondeos*

Prog. (km)	Sondeo	Humedad natural
0+000	1	5,43%
0+250	2	4,65%
0+500	3	8,25%
0+750	4	7,92%
1+000	5	6,74%
1+250	6	6,96%
1+500	7	6,68%
1+750	8	6,66%
2+000	9	6,74%
2+250	10	7,59%
2+500	11	8.86%
2+750	12	8.91%
3+000	13	8.74%
3+250	14	9,10%
3+500	15	9,55%
3+750	16	9,48%
4+000	17	10.74%
4+250	18	15.66%
4+500	19	15.76%
4+750	20	15.63%
5+000	21	15.36%
5+250	22	15.56%
5+500	23	11,64%
5+750	24	11,37%
6+000	25	12,33%
6+250	26	11,94%
6+500	27	11.35%
6+750	28	11.25%
7+000	29	12.37%
7+250	30	11.61%
7+500	31	12.10%

*Fuente: Elaboración propia.*

## Granulometría (AASHTO T88)

La prueba de granulometría sirve para determinar el porcentaje en peso de las partículas de diferentes tamaños, teniendo una visión de la distribución del tamaño de los granos presentes en un suelo. El ensayo de análisis granulométrico por tamizado se realizó mediante el método del lavado en el cual se pesa 500 gr como peso total, se procede a realizar el lavado por la malla número 200 el material retenido es secado y vuelto a tamizar por las mallas N°10 , N°40 y N°200.

*Figura ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..18: Lavado del material por el tamiz N°200*



*Fuente: Elaboración propia.*

Sondeos	3"	2"	1"	3/4"	3/8"	N°4	N°10	N°40	N°200
1	100	100	100	100	100	100	99.50	85.10	61.90
2	100	100	100	100	100	100	99.80	84.20	61.20
3	100	100	100	100	100	100	98.40	82.90	62.30
4	100	100	100	100	100	100	98.30	84.60	61.00
5	100	100	100	100	100	100	99.50	82.90	60.80
6	100	100	100	100	100	100	87.70	78.50	29.30
7	100	100	100	100	100	100	85.40	75.40	27.30
8	100	100	100	100	100	100	86.00	76.60	28.00
9	100	100	100	100	100	100	85.10	74.80	28.40
10	100	100	100	100	100	100	86.30	75.10	27.50
11	100	100	100	100	100	100	91.20	84.60	41.00
12	100	100	100	100	100	100	91.90	86.10	42.00
13	100	100	100	100	100	100	90.10	83.60	39.40
14	100	100	100	100	100	100	85.70	76.30	28.40
15	100	100	100	100	100	100	86.90	79.40	30.30
16	100	100	100	100	100	100	86.10	76.50	29.40
17	100	100	100	100	100	100	85.60	76.10	27.90
18	100	100	100	100	100	100	99.70	97.90	92.90
19	100	100	100	100	100	100	99.60	96.60	90.50
20	100	100	100	100	100	100	99.50	97.30	90.00
21	100	100	100	100	100	100	99.40	96.40	89.90
22	100	100	100	100	100	100	99.30	95.30	89.00
23	100	100	100	100	100	100	99.00	84.20	62.00
24	100	100	100	100	100	100	99.10	83.80	61.00
25	100	100	100	100	100	100	99.20	84.30	61.40
26	100	100	100	100	100	100	99.10	83.10	61.30
27	100	100	100	100	100	100	98.60	85.70	57.50
28	100	100	100	100	100	100	98.70	84.30	58.30
29	100	100	100	100	100	100	98.20	84.90	57.20
30	100	100	100	100	100	100	99.00	84.80	58.30
31	100	100	100	100	100	100	98.50	83.00	57.60

*Tabla ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..15: Resumen de la granulometría.*

*Fuente: Elaboración propia.*

### **Determinación del límite líquido (AASHTO T89)**

Con la ayuda del equipo de Casagrande se realizó este ensayo. Para ello, se hace pasar el suelo seco por el tamiz N°40, se lo humedece hasta que se forme una pasta y se coloca

sobre la copa de Casagrande y se acciona el mecanismo de este, contándose el número de golpes necesario para cerrar un surco (realizado previamente con un ranurado normalizado) en una longitud alrededor de 12mm, se repite el proceso para diferentes humedades del suelo, la humedad correspondiente al límite líquido será la correspondiente a 25 golpes.

*Figura ;Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..19:  
Realización del ensayo límite líquido.*



*Fuente: Elaboración propia.*

### **Determinación del límite plástico (AASHTO T90)**

Se determina en base de la menor humedad de un suelo que permite realizar con el cilindros de 3 mm de diámetro que presenten fisuras sin que se desmoronen, realizándose 4 determinaciones y hallando la media .Este ensayo se realiza con aproximadamente 200 gr. De muestra seca y filtrada a través tamiz N°40, como en el caso anterior.

A la diferencia entre ambos limites se denomina “índice de plasticidad” (IP), y da una idea del grado de plasticidad que presenta el suelo; un suelo muy plástico tendrá un alto índice de plasticidad.

*Figura ;Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..20:  
Realización del límite plástico*



*Fuente: Elaboración propia.*

*Figura **¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..21**: Secado taras del material para determinar el límite líquido y plástico*



*Elaboración propia.*

*Fuente:*

*Tabla*

Sondeo	Prog.(km)	Límites		
		L.L.	L.P.	I.P.
1	0+000	34.40	20.90	13.50
2	0+250	34.30	21.00	13.30
3	0+500	33.80	20.60	13.20
4	0+750	34.30	20.90	13.40
5	1+000	33.80	20.40	13.40
6	1+250	15.40	10.70	4.70
7	1+500	15.30	10.80	4.50
8	1+750	15.40	11.00	4.40
9	2+000	15.30	11.00	4.30
10	2+250	15.20	10.80	4.40
11	2+500	23.70	14.20	9.60
12	2+750	23.80	14.00	9.80
13	3+000	23.90	14.50	9.40
14	3+250	15.30	10.70	4.60
15	3+500	15.70	10.80	4.90
16	3+750	15.50	11.00	4.50
17	4+000	15.50	10.90	4.60
18	4+250	50.70	34.10	16.60
19	4+500	50.00	33.40	16.50
20	4+750	50.20	33.80	16.40
21	5+000	50.30	34.10	16.30
22	5+250	50.30	33.90	16.40
23	5+500	34.30	20.80	13.40
24	5+750	34.40	20.90	13.40
25	6+000	34.00	20.70	13.40
26	6+250	33.90	20.50	13.40
27	6+500	32.20	19.40	12.80
28	6+750	31.90	19.30	12.60
29	7+000	32.00	19.30	12.70
30	7+250	32.10	19.50	12.70
31	7+500	32.00	19.40	12.60

*¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..16: Plasticidad de la subrasante natural*

Prog. (Km)	0+000 a 1+000	1+250 a 2+250	2+500 a 3+000	3+250 a 4+000	4+250 a 5+250	5+500 a 6+250	6+500 a 7+500
Suelo	A-6(7)	A-2-4(0)	A-4(1)	A-2-4(0)	A-7-5(13)	A-6(7)	A-6(6)

*Fuente: Elaboración propia.*

### **Clasificación de los suelos por el método AASHTO**

Mediante la granulometría, la determinación de los límites líquido, plástico y el índice de plasticidad se clasifico los suelos a lo largo de la subrasante que se detallan de la siguiente manera:

*Tabla **¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..17:**  
Disposición de los suelos a lo largo del tramo*

*Fuente: Elaboración propia.*

Como se puede observar en la tabla 3.9. se tiene a lo largo del tramo 5 tipos de suelos de progresiva 0+000 a 1+000 es un suelo A-6(7) , pasando de esta progresiva el material cambia a un A-2-4(0) un material con alta presencia de arena que está comprendida entre las progresivas 1+250 hasta la 2+250, en este sector existe un A-4(1) este suelo comprende desde las progresivas 2+250 a 3+000 ,después de esta progresiva vuelve a aparecer un suelo A-2-4(0) desde la progresiva 3+250 a la 4+000, desde este punto el suelo cambia radicalmente teniendo presencia de suelos arcillosos de color similar a las cenizas según la clasificación nos dio suelos A-7-5(13) desde la progresiva 4+250 hasta la 5+250, entrando al sector de las progresivas 5+500 a la 6+250 tenemos suelos A-6(7) en la última parte de la progresiva 6+500 a 7+500 tenemos un suelo A-6(6).

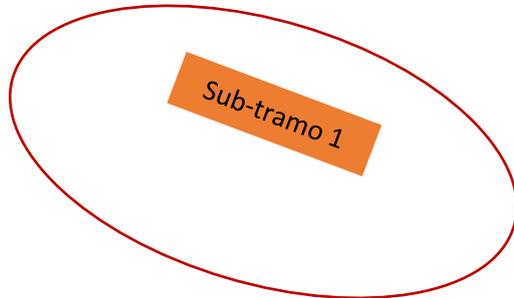
Se dividió en tramo en 3 sectores o sub tramos en primer sector está comprendido por los suelos A-6(7), el segundo sub tramo está compuesto por los suelos A-2-4(0) y el A-4(1) finalmente el ultimo sub tramo está compuesto por los suelos A-7-5(13), A-6(7) y A-6(6) en la tabla siguiente se detalla esta disposición :

*Tabla ;Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..18: División del tramo para su estudio.*

Sub-tramo	Prog.(Km)	Suelos
1	0+000-1+000	A-6(7)
2	1+250-4+000	A-2-4(0)-A-4(1)
3	4+250-7+500	A-7-5(13)-A-6(7)-A-6(6)

*Fuente: Elaboración propia.*

*Figura ;Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..22: Ubicación del sub-tramo 1*



*Fuente:  
Google  
Earth.*

El  
tramo

sub  
1

comprende desde la progresiva 0+000 hasta la progresiva 1+000 este sector está comprendido por los suelos A-6(7) con límite líquido que varía de 33.8 a 34.4, el límite plástico esta de 20.4 a 21.0 y con el índice de plasticidad de 13.3 a 13.5 de este sub-tramo se trabajara con el suelo que tiene mayor índice de plasticidad el cual se encuentra en la progresiva 0+000.

El segundo sub-tramo abarca desde la progresiva 1+250 a 4+000 en este sector se encuentras dos tipos de suelos el suelo A-2-4(0) de la progresiva 1+250 -2+250 y 3+250-4+000, el suelo A-4(1) en la progresivas 2+500 hasta 3+000.

De los suelos con clasificación A-2-4(0) se tomó el que tiene una mayor plasticidad en cual se encuentra en la progresiva 3+500.

De los suelos A-4 se trabajara con el suelo A-4(1) el que se encuentra en la progresiva 2+750 por tener una plasticidad mayor de este tipo de suelos.

*Figura ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..23: Ubicación del sub-tramo 2.*

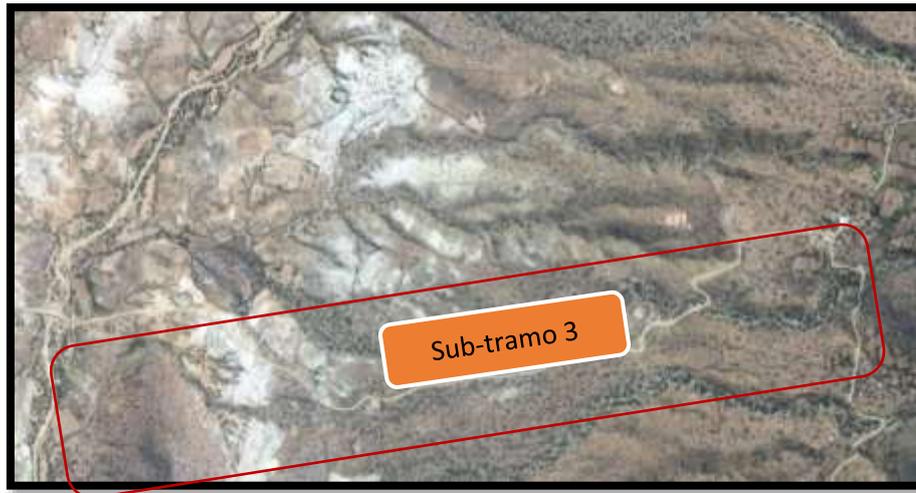


*Fuente: Google Earth.*

El tercer sector está comprendido desde las progresivas 4+250 hasta 7+500 a lo largo de este sub tramo está comprendido por suelos A-7-5(13) desde la progresiva 4+250 hasta 5+250 y A-6(7) desde la progresiva 5+500 hasta la 6+250, y la progresiva 6+500 hasta la progresiva 7+500 tenemos un suelo A-6(6).

Del grupo de suelos A-7-5(13) se toma el que está en la progresiva 4+250.

*Figura ;Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..24: Ubicación del sub-tramo.*



*Fuente: Google Earth.*

### **Compactación (AASHTO T-180)**

Para la realización de la compactación se usara el Proctor T-180 previamente se prepara la muestra haciendo pasar el material por el tamiz N°4, se pesa el molde vacío más su base, se pesa 6 kilos de la muestra se mezcla uniforme, con una cierta cantidad de agua luego se compacta con el martillo respectivo 5 capas de 56 golpes cada una de las capas una vez compactado se realiza el enrasado del material se procede a pesar el molde más el suelo compactado se procede a sacar una pequeña muestra del suelo para llegar a conocer la humedad a la cual fue compactada el suelo en el momento de realización del ensayo.

Con el porcentaje de humedad y la densidad del suelo se procede a dibujar la curva de compactación de suelo llegando a conocer así su humedad óptima y la densidad máxima que puede alcanzar con dicha humedad.

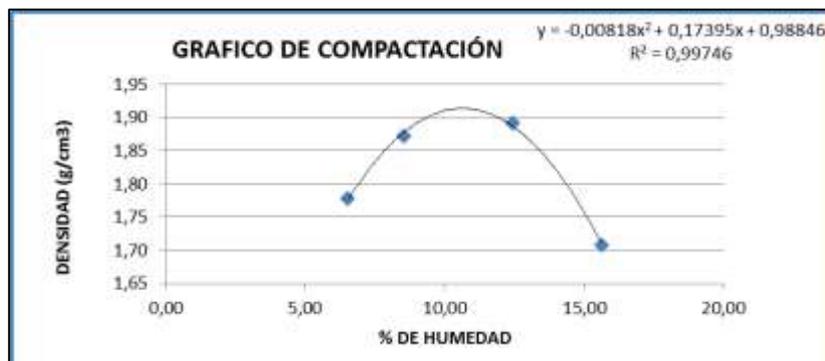
Los suelos que se determinaran la humedad óptima y la densidad máxima serán A-6(7), A-4(1), A-2-4(0) y A-7-5(13) y A-6(6).

Tabla *¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..19*: Densidad máxima y contenido de humedad óptimo en la subrasante.

Suelo	Densidad máxima (gr/cm <sup>3</sup> )	Contenido de humedad óptimo (%)
A-6(7)	1.80	15.70
A-4(1)	1.93	10.50
A-2-4(0)	2.03	9.70
A-7-5(13)	1.71	23.10
A-6(6)	1.82	15.00

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica  
No hay  
el estilo



*¡Error!*  
texto con

*especificado en el documento..4*: Curva característica de la compactación

Fuente: Elaboración propia.

## Relación de soporte de California (AASHTO T 193)

Antes de realizar este compactación se se hizo pasar el N°4 para su posterior tener la muestra seca cero.

*Figura ¡Error! No estilo especificado en Tamizado del malla N° 4.*



ensayo como en la realizó al molido y material por el tamiz secado al horno para con una humedad de

*hay texto con el el documento..25: material por la*

*Fuente: Elaboración propia.*

Una vez teniendo el material seco con la humedad óptima se procede a realizar el mezclado del material con el porcentaje de agua, se realiza el pesado de los moldes vacíos más la base, se coloca un rodillo dentro del molde luego se procede a compactar 5 capas para cada molde un molde de 12 golpes otro de 25 y el último de 56 golpes.

Una vez realizado la compactación a diferente número de golpes se procede al pesado del molde más el suelo compactado y se coloca el vástago y las pesas correspondientes, estando listos para ser sumergidos en agua antes de esto se los lectura la expansión inicial de todos los moldes.

Después de 4 días los moldes son retirados del agua se los pesa y se los hace correr para determinar el valor de resistencia (CBR).

*Figura  
hay texto  
estilo  
especificado*



*¡Error! No  
con el  
en el*

*documento..26: Lectura de la expansión*

*Elaboración*

*Figura  
hay texto  
especificado*



*Fuente:  
propia.*

*¡Error! No  
con el estilo  
en el*

*documento..27: Retiro del molde luego de la lectura.*

Suelo	CBR (%)	Expansión (%)
A-6(7)	3.50	3.70
A-4(1)	7.40	1.80
A-2-4(0)	16.10	1.10
A-7-5(13)	2.20	5.00
A-6(6)	3.60	3.60

*Elaboración*

Una vez calculado

diferentes tipos de suelos los cuales se reflejan en la siguiente tabla:

*Fuente: propia.*

el CBR de los

*Tabla ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..20: Valores de CBR de la subrasante natural.*

*Fuente: Elaboración propia.*

Los valores del CBR se tomaron al 95% de la densidad máxima según la Tabla 2.1 tenemos la calidad de la subrasante.

*Tabla ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..21: Calidad de la Subrasante*

*Fuente: Elaboración propia.*

## **PROCEDIMIENTO PARA EL MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE BUSCANDO PORCENTAJES ÓPTIMOS**

Entre los aspectos que se tomaron en cuenta para elegir los porcentajes óptimos son los siguientes:

El volumen de tráfico.- En este tipo de carreteras el tránsito es muy limitado esto hace que la solicitud de

frecuencia en la  
hace que el terreno de  
gran fatiga con el

Económico.-Querer  
a una buena calidad  
volumen de material

Suelo	CBR (%)	Calidad
A-6(7)	3.50	S1:Insuficiente
A-4(1)	7.40	S2: Regular
A-2-4(0)	16.10	S3:Buena
A-7-5(13)	2.20	S0:Inadecuada
A-6(6)	3.60	S1:Insuficiente

cargas sea de menor  
subrasante, lo cual  
fundación no sufra  
pasar con el tiempo.

llevar una subrasante  
implica mayores  
con el que se va a

estabilizar o mejorar, el utilizar mayores porcentajes de material con el que se va a mejorar, trae consigo un incremento económico en el proceso de estabilización.

Uniformidad de la subrasante.-En ciertos sectores se puede tener dos o más tipos de suelos, si se toma el más desfavorable de todos se estará sobre dimensionando las capas sub base y base, en los suelos tienen propiedades de mejor calidad, esto trae consigo un gasto económico adicional por que el paquete estructural cuando se desee construir será de mayores espesores.

## Características del material con el que se va a mejorar

Suelo	Limite liquido (%)	Limite plástico (%)	Índice de plasticidad (%)	Densidad máxima ( gr/cm <sup>3</sup> )	CBR (%)
A-2-4(0)	15.70	10.80	4.90	2.03	16.10

Como el presente trabajo se pretende mejorar la subrasante mediante la mezcla de suelo-suelo en este caso aprovecharemos que existe un material en la subrasante de condiciones favorables el cual se utilizara como material para combinarlo con los de mala calidad para llegar a tener suelos de mejores condiciones.

El suelo seleccionado para el mejoramiento es un suelo A-2-4(0), con un índice de plasticidad de 4.90% una densidad máxima de 2.03 gr/cm<sup>3</sup> y un CBR de 16.10% al 95% de la densidad máxima.

*Tabla ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..22: Características del material con el que se va a mejorar la subrasante*

*Fuente: Elaboración propia.*

### **Procedimiento para encontrar el porcentaje óptimo en el mejoramiento del suelo A-6(7) (Método gráfico)**

El suelo A-6(7) se encuentra a lo largo de las progresivas 0+000 hasta la 1+000 este sector se denominó como un sub tramo 1.

Como se trata de carreteras de bajo volumen de tráfico es llevar este suelo a uno de mejor calidad si bien se busca mejorarlo a que llegue a unas características aceptables, con lo cual se busca para este suelo convertirlo en un A-4, en el tramo existe un sector de suelo A-4 del cual se tomó las características granulométricas para buscar este tipo de suelo se dio límites inferior y superior a los porcentajes que pasan los tamices N° 10, 40 y 200 y siendo el valor medio de la granulometría los porcentajes del suelo A-4 existente.

*Tabla ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..23: Valores y límites de la granulometría del suelo A-4(1).*

*Fuente: Elaboración propia.*

Como se ve en la Tabla 3.15 el valor medio es el porcentaje que pasan los tamices de suelo A-4 existente un valor inferior y un tienen los pasan los tamices N° suelos A-6(7) y A-4- en el tramo y se dio valor superior .Se porcentajes que 10, 40 y 200 de los 2(0), no se toma los porcentajes del tamiz de mayor abertura por que el material pasa el 100%.

Tamiz	A-6(7)	A-2-4(0)
N° 10	99.50	86.90
N° 40	85.10	79.40
N° 200	61.90	30.30

Con los porcentajes de la Tabla 3.14 se procedió a ubicar en al lado izquierdo el suelo A-6(7) y a la derecha el suelo A-2-4(0).

*Tabla ;Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..24:  
Granulometría de los suelos A-6(7) y A-2-4(0).*

Tamiz	Inferior	A-4(1)	Superior
N° 10	88	92	96
N° 40	82	86	90
N° 200	38	42	46

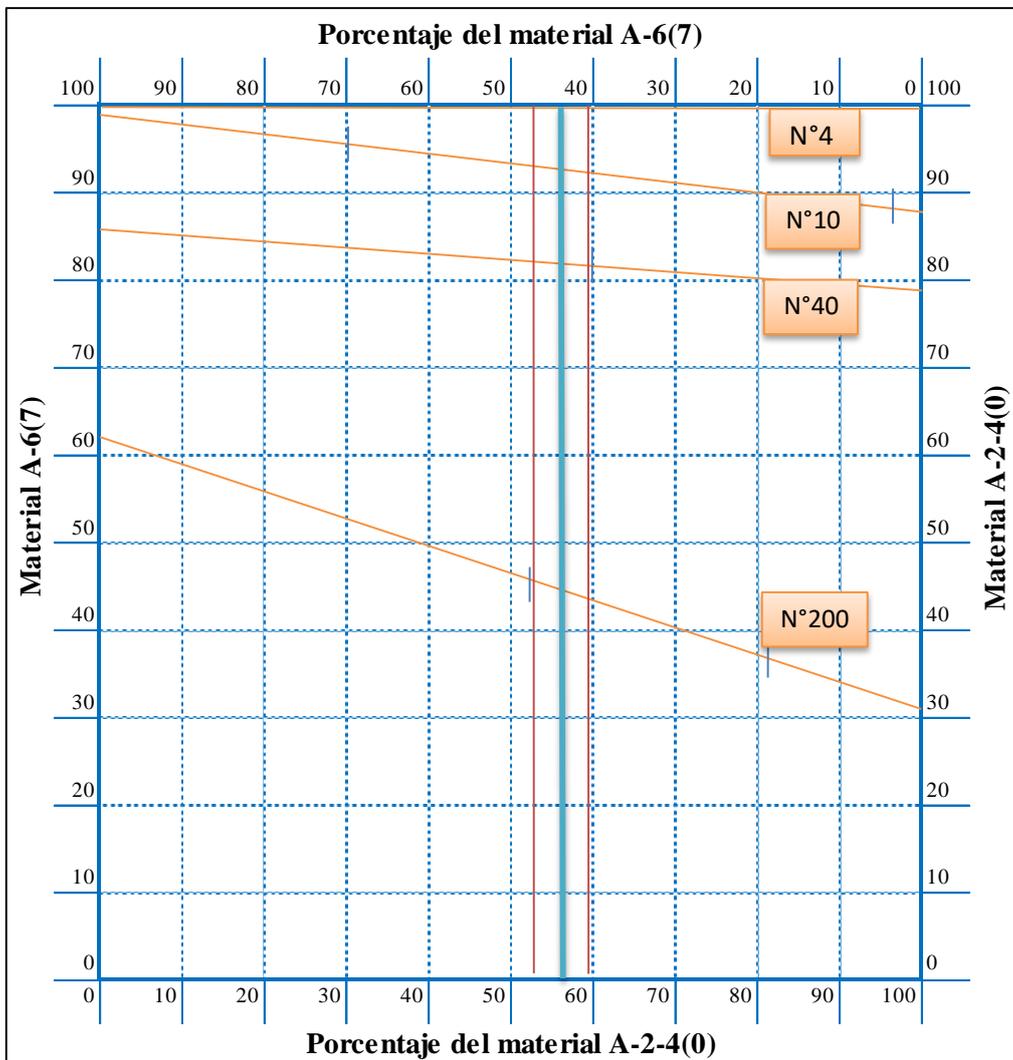
*Fuente:*

*Elaboración propia.*

Se unió estos puntos de derecha a izquierda mediante una recta como se muestra en la Gráfica 3.3. con los limites generados por las especificaciones para el suelo A-4 se entró a las rectas para colocar estas limitaciones superior e inferior por los puntos más próximos se trazó dos rectas generando la zona en la que se podrá generar un suelo con las características deseadas.

Una vez realizado el graficado de los puntos y a identificación de la franja para el porcentaje de la mezcla del suelo se tomó uno que está dentro de la franja del cual se utilizara los siguientes porcentajes para las mezclas del suelo A-6(7) un 45% y del suelo con el que se va a mejorar A-2-4(0) un 55%.

Gráfica *¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..5: Cuadro para la mezcla de los suelos A-6(7) y A-2-4(0).*



Fuente: Elaboración propia.

Una vez realizado el mezclado de los suelos tenemos la granulometría del nuevo suelo y se determinó los límites líquido y plástico con lo cual se calculó el índice de plasticidad del suelo.



Los resultados de la clasificación de este suelo se presentan en la siguientes tablas tanto de granulometría y plasticidad.

los límites líquido y plástico con lo cual se calculó el índice de plasticidad del suelo. Los resultados de la clasificación de este suelo se presentan en las siguientes tablas tanto de granulometría y plasticidad.

*Figura ;Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..28: Mezcla del suelo A-6(7) y A-2-4(0)*

*Fuente: Elaboración propia.*

**Tabla ;Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..25:**  
*Granulometría de la mezcla de los suelos A-6(7) en un 45% y A-2-4(0) en un 55%*

Suelo	Limite líquido (%)	Limite Plástico (%)	Índice de plasticidad (%)
A-4(2)	24.40	14.50	9.90

*propia.*

**Tabla ;Error! No hay especificado en el Plasticidad de la mezcla un 45%** y

Tamiz	Porcentajes
3"	100,00
2"	100,00
1 1/2"	100,00
1"	100,00
3/4"	100,00
1/2"	100,00
3/8"	100,00
N° 4	100,00
N° 10	92.10
N° 40	82.80
N° 200	44.10

*Fuente:*

*Fuente: Elaboración*

**texto con el estilo documento..26:**  
*de los suelos A-6(7) en A-2-4(0) en un 55%*

*Elaboración propia.*

Ya teniendo las características de este nuevo suelo se procedió a realizar la compactación para buscar su densidad máxima y la humedad optima de este suelo con estos datos realizar el ensayo del CBR del suelo, el procedimiento fue el mismo que cuando se realizó la evaluación de la subrasante.

**Tabla ;Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..27:**

*Compactación y CBR de la mezcla de los suelos A-6(7) en un 45% y A-2-4(0) en un 55%*

Suelo	Densidad máxima (gr/cm <sup>3</sup> )	Humedad óptima (%)	CBR (%)
A-4(2)	Tamiz 1.91	A-4 (10.63)	A-2-4(0) 7.00
	N° 10	91.90	86.90
	N° 40	86.10	79.40
	N° 200	42.00	30.30

*Fuente:*

*Elaboración propia.*

Una vez que se hizo correr el CBR se pudo determinar este valor, se tomó el que se encuentra al 95% de la densidad máxima encontrada en el laboratorio los resultados se muestra en la tabla 3.19.

**Procedimiento para mejorar el porcentaje óptimo en el mejoramiento del suelo A-4(1) (Método gráfico)**

En el sub tramo 2 tenemos dos tipos de suelos a ambos extremos tenemos un suelo A-2-4(0) y al medio un sector compuesto de suelos A-4(1) lo cual se trata llevarlo a A-2-4(0) para que este sector será lo más uniforme posible.

Para lo cual lo primero que se hace es con los porcentajes de los suelos A-4(1) y A-2-4(0) ubicar los puntos en el cuadro para la mezcla de dos suelos.

**Tabla ;Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..28:**  
*Granulometría de los suelos A-4(1) y A-2-4(0).*

*Fuente: Elaboración propia.*

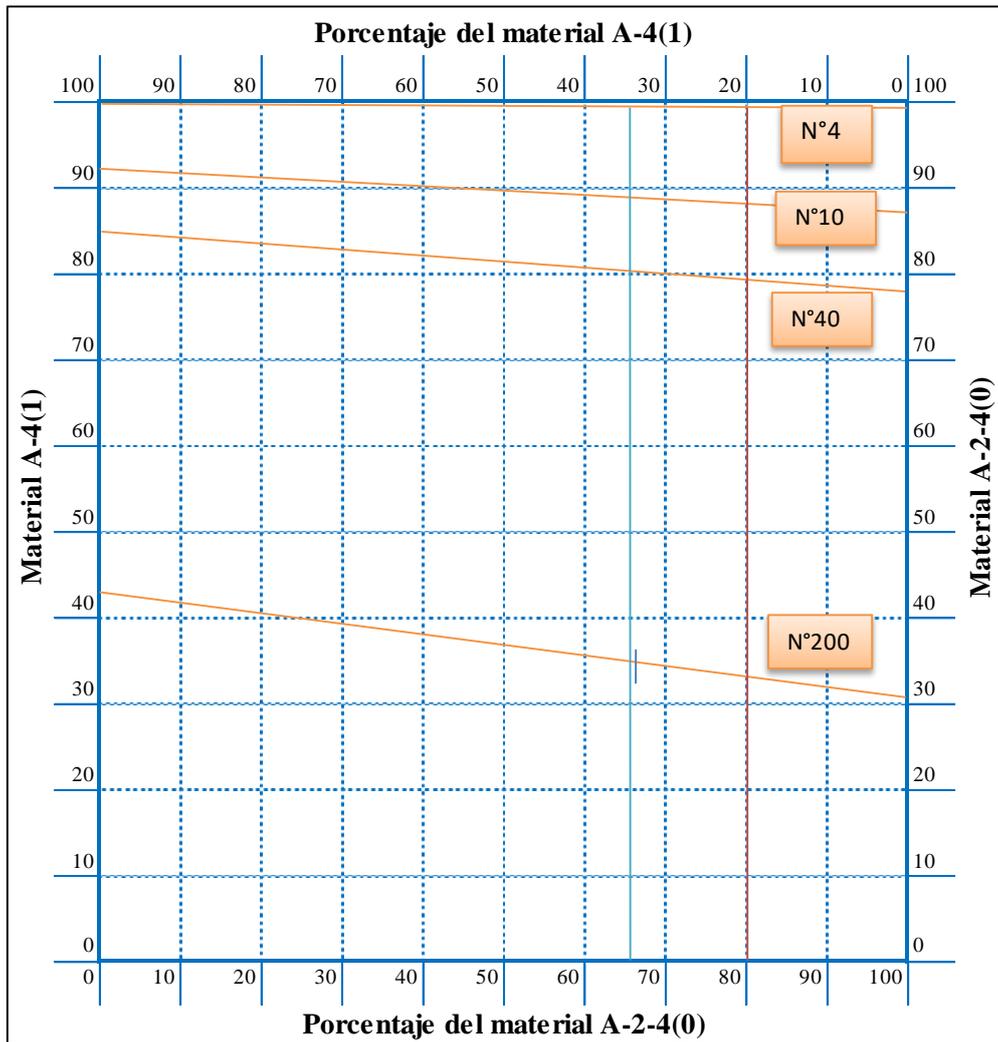
Se une mediante rectas los diferentes porcentajes de los dos suelos para esta mezcla de suelos se utilizó los tamices N° 10, 40 y 200 ya que los tamices de mayor apertura en los suelos pasa el 100% de la composición de los materiales.

Para la elección del porcentaje para mezclar se hace una interpretación del cuadro se ubica como frontera el 35% que pasa el tamiz N° 200 según la clasificación AASHTO, los porcentajes con los cuales se puede contar para llegar a un suelo A-2-4(0) los cuales son los siguientes 76%, hasta un 100% del material A-2-4(0) como se trata de q se busque una optimización en el porcentaje en este caso se utilizara un valor que este cerca la mitad de esta franja.

Entonces se utilizara un 20% del material A-4(1) y del A-2-4(0) un 80% para realizar la mezcla de ambos suelos.

Una vez mezclado de los suelos se realizó la granulometría y la plasticidad los resultados se presentan en las siguientes tablas

Gráfica *¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..6: Cuadro para la mezcla de los suelos A-4(1) y A-2-4(0)*



Fuente: Elaboración propia

**Tabla ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..29:**  
**Granulometría de la mezcla de los suelos A-4(1) en un 20%** **y A-2-4(0) en un 80%**

Tamiz	Porcentajes
3"	100,00
2"	100,00
1 1/2"	100,00
1"	100,00
3/4"	100,00
1/2"	100,00
3/8"	100,00
N° 4	100,00
N° 10	87.10
N° 40	80.50
N° 200	32.54

*Fuente: Elaboración propia.*

**Tabla ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..30: Plasticidad de la mezcla de los suelos A-4(1) en un 20%** **y A-2-4(0) en un 80%**

Suelo	Límite líquido (%)	Límite plástico (%)	Índice de plasticidad (%)
A-2-4(0)	18.00	12.00	5.90

*Fuente: Elaboración propia.*

Con la granulometría y la plasticidad podemos comprobar el tipo de suelo y su índice de grupo como se muestra en la tabla anterior.

Ya teniendo la clasificación de este nuevo suelo se procedió a realizar la compactación para buscar su densidad máxima y la humedad óptima de este suelo con estos datos realizar el ensayo del CBR del suelo.

Los resultados se reflejan en la siguiente tabla:

**Tabla ;Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..31:**

Compactación y CBR de la mezcla de los suelos A-4(1) en un 20% y A-2-4(0) en un 80%.

Suelo	Densidad máxima ( gr/cm <sup>3</sup> )	Humedad óptima (%)	CBR (%)
A-2-4(0)	1.98	9.96	13.50

*Fuente: Elaboración propia.*

### **Procedimiento para encontrar el porcentaje óptimo en el mejoramiento del suelo A-7-5(13) (Método gráfico)**

En el sub tramo 3 tenemos tres suelos los cuales A-7-5(13), A-6(7) y A-6(6) como el suelo A-6(7) se mejoró en el tramo 1 entonces en este sub tramo se trabajara con el suelo A-7-5(13) y el A-6(6) en esta parte se mejora el suelo A-7-5(13).

La granulometría de los suelos a mezclar se presenta en la siguiente tabla.

**Tabla ;Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..32:**  
*Granulometría de los suelos A-7-5(13) y A-2-4(0).*

Tamiz	A-7-5(13)	A-2-4(0)
N° 10	99.70	86.90
N° 40	97.90	79.40
N° 200	92.90	30.30

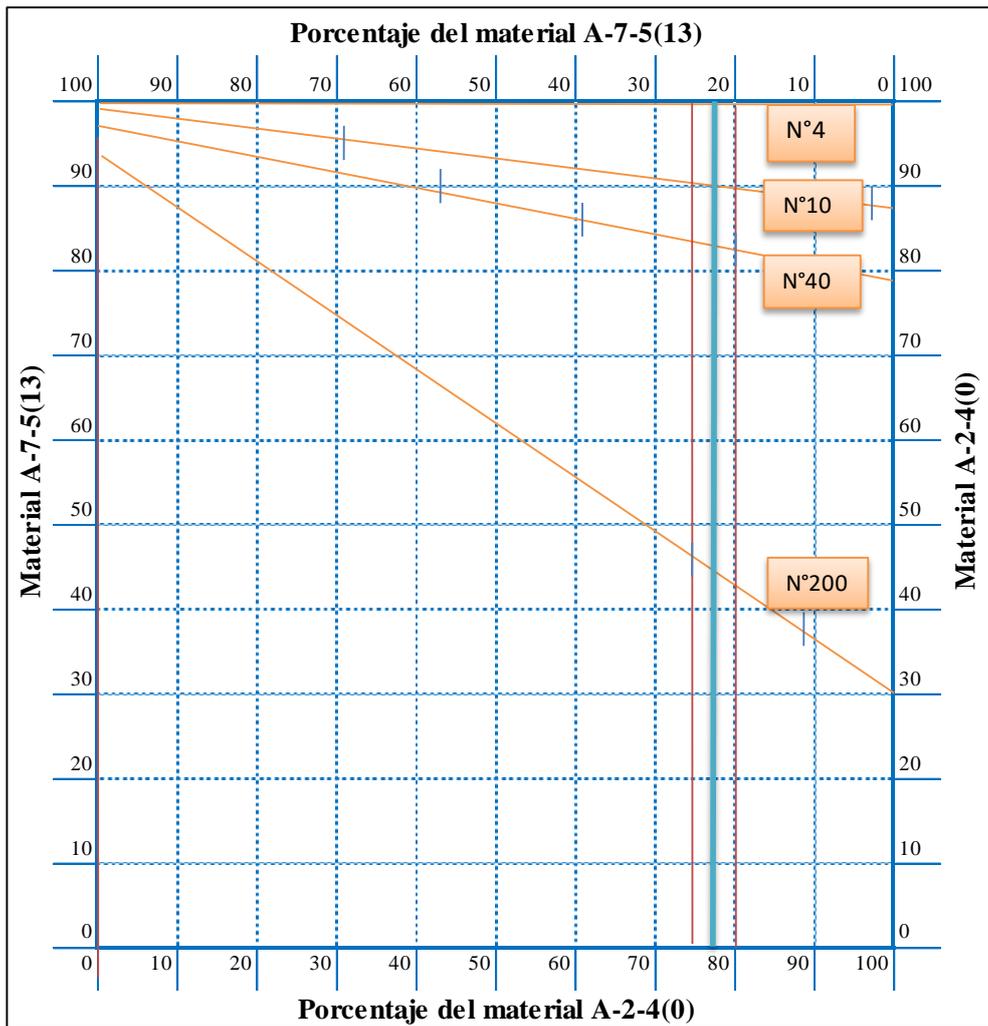
*Fuente: Elaboración propia.*

Para el mejoramiento de este grupo de suelos es llevarlo a un suelo de mejor se tomó la granulometría del suelo A-4 para que la mezcla entre en la zona granulométrica generada por dicho suelo, los valores de esta zona granulométrica está en la Tabla 3.15.

Una vez dibujado el cuadro se procedió a ubicar los porcentajes de los dos suelos A-7-5(13) y el suelo A-2-4(0) en respectivo cuadro y se unió los puntos de los diferentes tamices que se encuentra generando rectas entre estos dos tipos de suelos.

Con los limites generados por las especificaciones para el suelo A-4 se entró a las rectas para colocar estas limitaciones superior e inferior por los puntos más próximos se trazó

dos rectas generando la zona en la que se podrá generar un suelo con las características



deseadas.

Una vez realizado el graficado de los puntos y la identificación de la franja para el porcentaje de la mezcla del suelo se tomó uno que está dentro de la franja para realizar los ensayos respectivos y poder determinar sus propiedades.

Teniendo la franja en la cual se generara un suelo A-4, los porcentajes de material A-2-4(0) que se puede combinar va desde un 75% hasta un 80%, se tomara un 77% del material A-2-4(0) y un 23% del material A-7-5(13).

Con estos porcentajes se realiza la granulometría plasticidad, los resultados se pueden ver reflejadas en las tablas posteriores.

Gráfica **¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..7:** Cuadro para la mezcla de los suelos A-7-5(13) y A-2-4(0)

*Fuente: Elaboración propia.*

*Tabla ¡Error! No hay especificado en el Granulometría de la 5(13) en un 23%*

Tamiz	Porcentajes
3"	100,00
2"	100,00
1 1/2"	100,00
1"	100,00
3/4"	100,00
1/2"	100,00
3/8"	100,00
N° 4	100,00
N° 10	89.70
N° 40	83.50
N° 200	44.40

*texto con el estilo documento..33: mezcla de los suelos A-7- y A-2-4(0) en un 77%*

*Fuente: Elaboración propia.*

Suelo	Límite líquido	Límite Plástico	Índice de plasticidad
-------	----------------	-----------------	-----------------------

Tabla  
hay texto  
especificado

	(%)	(%)	(%)
A-4(2)	25.10	14.90	10.20

**¡Error! No  
con el estilo  
en el**

**documento..34:** Plasticidad de la mezcla de los suelos A-7-5(13) en un 23%  
y A-2-4(0) en un 77%

*Fuente: Elaboración propia.*

Con la granulometría, la plasticidad se pudo clasificar el suelo resultando un suelo A-4(2), se realiza la compactación buscando la densidad máxima y la humedad óptima de este suelo, para luego encontrar el valor de CBR del mismo los resultados se ven reflejados en la siguiente tabla.

**Tabla ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..35:**  
*Compactación y CBR de la mezcla de los suelos A-7-5(13) en un 23% y A-2-4(0) en un 77%*

Suelo	Densidad máxima ( gr/cm <sup>3</sup> )	Humedad óptima (%)	CBR (%)
A-4(2)	1.90	10.92	6.90

*Fuente: Elaboración propia.*

### **Procedimiento para encontrar el porcentaje óptimo en el mejoramiento del suelo A-6(6) (Método gráfico)**

De la misma manera que se realizó para los suelos A-6(7) y A-7-5(13) se llevara este suelo a un A-4 para lo cual se dibujara en el cuadro para mezclar dos suelos los porcentajes de ambos suelo a combinar que tiene la siguiente granulometría.

**Tabla ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..36:**  
*Granulometría de los suelos A-6(6) y A-2-4(0)*

*Fuente: Elaboración propia.*

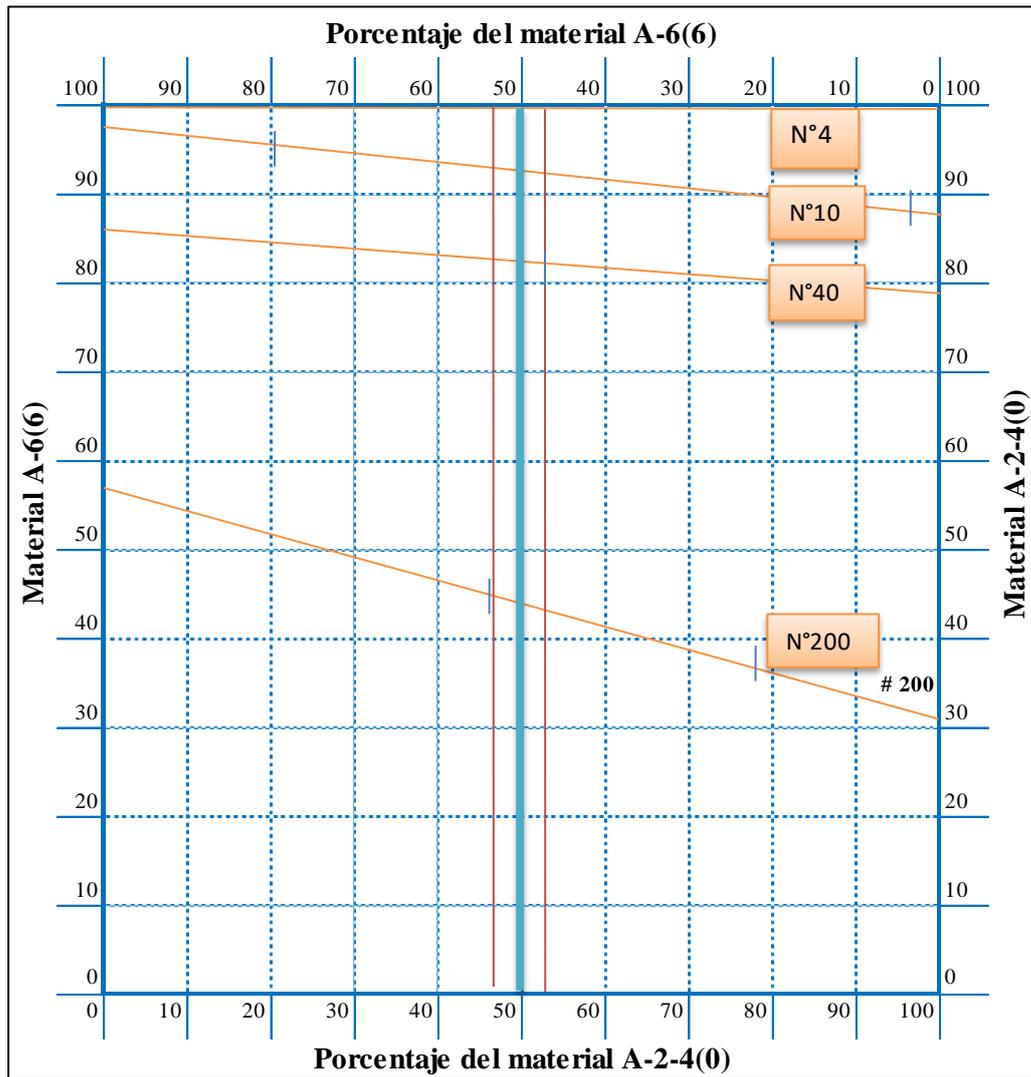
Una vez dibujado el cuadro se procedió a ubicar los porcentajes de los dos suelos A-6(6) y el suelo A-2-4(0) en respectivo cuadro y se unió los puntos de los diferentes tamices que se encuentra generando rectas entre estos dos tipos de suelos.

Con los límites generados por las especificaciones para el suelo A-4 se entró a las rectas para colocar estas limitaciones superior e inferior por los puntos más próximos se trazó dos rectas generando la zona en la que se podrá generar un suelo con las características deseadas.

Una vez realizado el graficado de los puntos y a identificación de la franja para el porcentaje de la mezcla del suelo se tomó uno que está dentro de la franja.

Tamiz.	A-6(6)	A-2-4(0)
N° 10	98.60	86.90
N° 40	85.70	79.40
N° 200	57.50	30.30

Gráfica *¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..8: Cuadro para la mezcla de los suelos A-6(6) y A-2-4(0)*



Fuente: *Elaboración propia.*

Se encontró la franja en la cual se generara un suelo A-4, los porcentajes de material A-2-4(0) que se puede combinar va desde un 55% hasta un 54%, se tomara un 50% del material A-2-4(0) y un 50% del material A-6(6).

Con estos porcentajes se realiza la granulometría plasticidad, los resultados se presentan en las siguientes tablas.

**Tabla ;Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..37:**

Granulometría de la mezcla de los suelos A-6(6) en un 50% y A-2-4(0) en un 50%

Tamiz	Porcentajes
3"	100,00
2"	100,00
1 1/2"	100,00
1"	100,00
3/4"	100,00
1/2"	100,00
3/8"	100,00
N° 4	100,00
N° 10	92.72
N° 40	82.50
N° 200	43.96

*Fuente: Elaboración*

*propia.*

**Tabla ;Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..38: Plasticidad de la mezcla de los suelos A-6(6) en un 50% y A-2-4(0) en un 50%**

Suelo	Límite líquido (%)	Límite plástico (%)	Índice de plasticidad (%)
A-4(2)	24.10	14.30	9.80

*Fuente: Elaboración propia.*

Con la granulometría, la plasticidad se pudo clasificar el suelo resultando un suelo A-4(2), se realiza la compactación buscando la densidad máxima y la humedad optima de este suelo, para luego encontrar el valor de CBR del mismo los resultados se ven reflejados en la siguiente tabla.

**Tabla ;Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..39:**

Compactación y CBR de la mezcla de los suelos A-6(6) en un 50% y A-2-4(0) en un 50%

Suelo	Densidad máxima (gr/cm <sup>3</sup> )	Humedad óptima (%)	CBR (%)
A-4(2)	1.91	10.71	7.10

*Fuente: Elaboración propia*

### **Comparación de mezclado de dos suelos analizando el método gráfico y el analítico**

#### **Cálculo de los porcentajes de mezclas de suelos A-6(7) y A-2-4(0), mediante el método analítico**

*Tabla ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..40: Granulometría de los suelos A-6(7) y A-2-4(0) método analítico*

Tamiz	N° 10	N°40	N°200
A-6(7)	99.50	85.10	61.90
A-2-4(0)	86.90	79.40	30.30
Mezcla	88-96	82-90	38-46

*Fuente: Elaboración propia*

Tómanos N° 200 tomando el valor de 44.0 %

$$a = \frac{44.0 - 30.30}{61.90 - 30.30} = 43 \%$$

Se utilizara un 43% del material A-6(7) y un 57% de suelo A-2-4(0) para conseguir un suelo A-4.

#### **Cálculo de los porcentajes de mezclas de suelos A-4(1) y A-2-4(0), mediante el método analítico**

*Tabla ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..41: Granulometría de los suelos A-2-4(0) y A-4(1), método analítico*

Tamiz	N° 10	N°40	N°200
A-2-4(0)	86.90	79.40	30.30
A-4(1)	91.90	86.10	42.00

Mezcla	-	-	<35
--------	---	---	-----

*Fuente: Elaboración propia.*

Tómanos N° 200 tomando el valor de 32.50 %

$$a = \frac{32.50 - 30.30}{42.00 - 30.30} = 18.80 \%$$

Se utilizara un 18.80% del material A-4(1) y un 81.20% de suelo A-2-4(0) para conseguir un suelo A-2-4(0)

**Cálculo de los porcentajes de mezclas de suelos A-7-5(13) y A-2-4(0), mediante el método analítico**

*Tabla ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..42:  
Granulometría de los suelos A-7-5(13) y A-2-4(0), método analítico*

Tamiz	N° 10	N°40	N°200
A-7-5(13)	99.70	97.90	92.90
A-2-4(0)	86.90	79.40	30.30
Mezcla	88-96	82-90	38-46

*Fuente: Elaboración propia*

Tómanos N° 200 tomando el valor de 44.5 %

$$a = \frac{44.5 - 30.30}{92.90 - 30.30} = 22.68 \%$$

Se utilizara un 23% del material A-7-5(13) y un 77% de suelo A-2-4(0) para conseguir un suelo A-4.

**Cálculo de los porcentajes de mezclas de suelos A-6(6) y A-2-4(0), mediante el método analítico**

*Tabla ;Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..43: Granulometría de los suelos A-6(6) y A-2-4(0), método analítico*

Tamiz	N° 10	N°40	N°200
A-6(6)	98.60	85.70	57.50
A-2-4(0)	86.90	79.40	30.30
Mezcla	88-96	82-90	38-46

*Fuente: Elaboración propia.*

Tómanos N° 200 tomando el valor de 44.5 %

$$a = \frac{44 - 30.30}{57.50 - 30.30} = 50.36 \%$$

Se utilizará un 50% del material A-6(6) y un 50% de suelo A-2-4(0) para conseguir un suelo A-4

*Tabla ;Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..44: Porcentaje de los suelos naturales para mezclar con el A-2-4(0) mediante método analítico y gráfico*

Suelo	A-6(7) (%)	A-4(1) (%)	A-7-5(13) (%)	A-6(6) (%)
Método Gráfico	45	20	23	50
Método Analítico	43	18.80	22.68	50.36

*Fuente: Elaboración propia.*

Como podemos ver los métodos de mezclas de suelos no sufren una gran variación el uno del otro lo cual se puede reflejar en la tabla mostrada lo cual demuestra que la mezcla de dos suelos se puede realizar por cualquiera de estas dos propuestas que se reflejan en la presente tesis.

Siendo el método grafico el con el cual se trabajó por ser un método más practico ya que gráficamente se puede ver el comportamiento de los suelos según la granulometría.

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

### Análisis del porcentaje óptimo en la mezcla de dos suelos para el mejoramiento del suelo A-6(7)

Con la mezcla de un 55% de A-2-4(0) la granulometría resultante es la siguiente:

*Tabla ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..45:  
Granulometría del suelo A-6(7) y la mezcla con un 55% del A-2-4(0)*

Suelo	Natural	Mezcla
Tamiz	A-6(7)	A-4(2)
3"	100,00	100,00
2"	100,00	100,00
1 1/2"	100,00	100,00
1"	100,00	100,00
3/4"	100,00	100,00
1/2"	100,00	100,00
3/8"	100,00	100,00
N° 4	100,00	100,00
N° 10	99.50	92.10
N° 40	85.10	82.80
N° 200	61.90	44.10

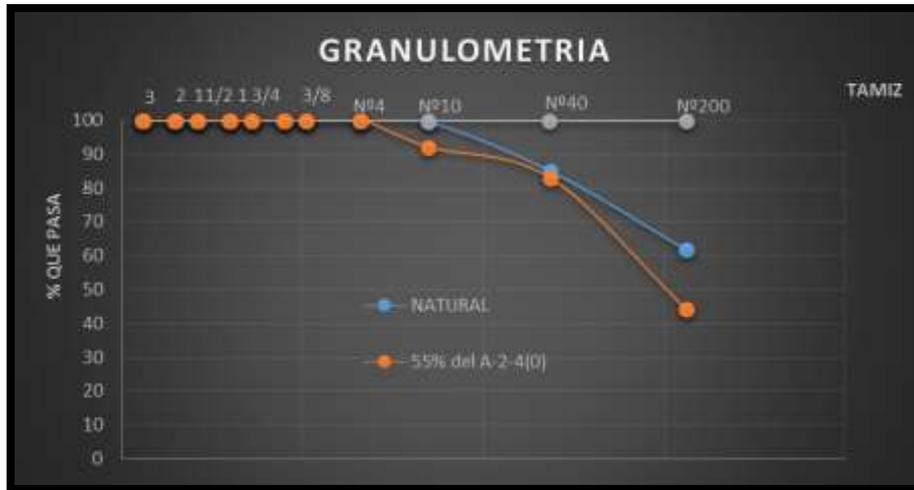
*Elaboración*

En la tabla anterior porcentaje que N°200 reduce de 44% lo cual indica menos de finos en

*Fuente: propia.*

se ve como el pasa el tamiz un 61.9% a un una presencia la siguiente tabla se ve el comportamiento de la curva granulométrica del suelo natural y el mejorado.

Gráfica *¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..9*: Variación de la granulometría del suelo A-6(7) y de la mezcla con un 55% del A-2-4(0)



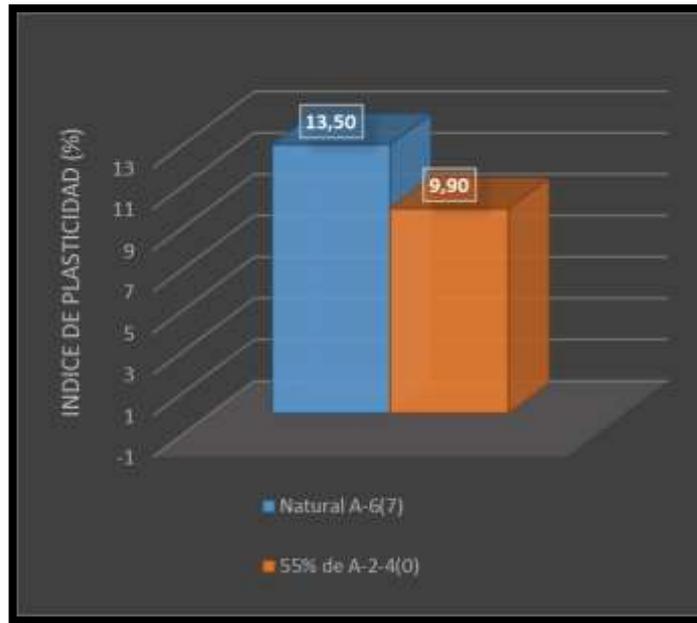
Fuente: *Elaboración propia.*

En la gráfica se tiene la representación del suelo natural de la subrasante A-6(7) con el color celeste y la línea de color naranja representa a la combinación del A-6(7) en un 45% y un 55% del material A-2-4(0) , en dicha gráfica se puede apreciar que en el tamiz N° 40 es donde el material no tuvo gran variación en el porcentaje que pasa esto indica que con el suelo que se estabilizó no cuenta en su composición con material que se retenga en este tamiz, pero en cambio sí en el tamiz N° 200 donde se puede observar que el nuevo suelo contiene mayor porcentaje de retenido en dicho tamiz.

La variación de la plasticidad del suelo como se muestra en la gráfica 3.8, desde un valor de 13.50 que corresponde en este caso a un suelo A-6, con la combinación en porcentaje de 55% del suelo A-2-4(4) tenemos un índice de plasticidad de 9.90 haciendo que el suelo tenga características en plasticidad de un suelo A-4, la barra de color celeste representa al suelo natural en este caso será A-6(7) y la barra naranja la combinación de los suelos A-6(7) en 45% y A-4-2(0) en un 55%.

**Gráfica ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..10:**

Variación de la plasticidad del suelo A-6(7) y de la mezcla con un 55% del A-2-4(0)



Fuente: Elaboración propia.

Como se modificó las propiedades granulométricas y de plasticidad con el suelo A-6(7), esto también se producirá una variación tanto en la densidad máxima del suelo y en su porcentaje de contenido de humedad óptimo.

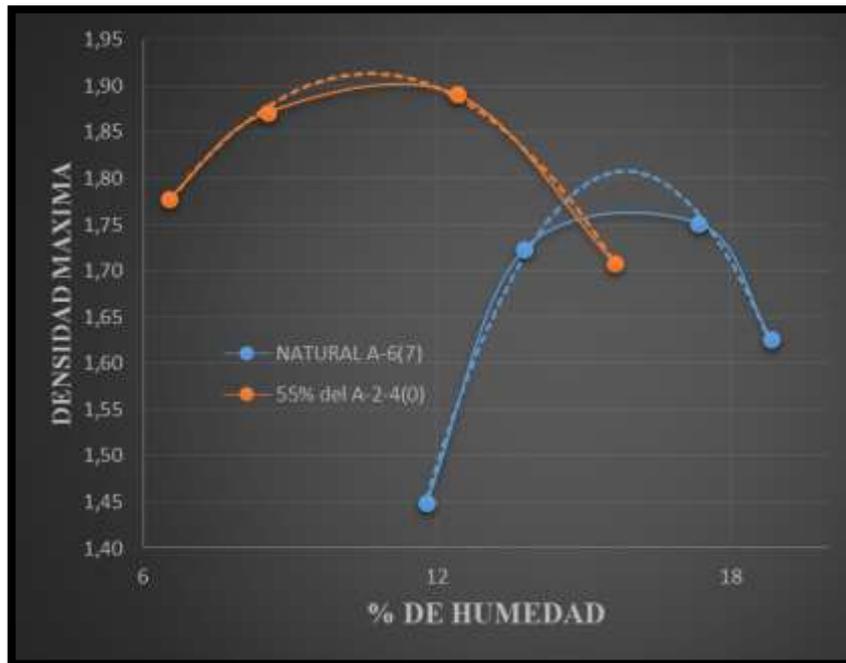
En el siguiente cuadro se puede apreciar la variación de la densidad máxima, humedad óptima y CBR de la combinación de suelos respecto del suelo natural.

**Tabla ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..46: Valores de compactación y CBR del suelo A-6(7) y de la mezcla con un 55% del A-2-4(0).**

Suelo	Densidad máxima ( gr/cm <sup>3</sup> )	Humedad óptima (%)	CBR (%)
A-6(7)	1.80	15.70	3.50
A-4(2)	1.91	10.63	7.00

Fuente: Elaboración propia.

**Gráfica ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..11: Curva de compactación del suelo A-6(7) y de la mezcla con un 55% del A-2-4(0)**



*Fuente:*

*Elaboración propia.*

En la presente gráfica podemos observar que el valor de la densidad máxima del suelo A-6(7) se elevó de un valor de 1.80 gr/cm<sup>3</sup> hasta 1.91 gr/cm<sup>3</sup> para el nuevo suelo que es la mezcla de un 45% de A-6(7) y un 55% del A-2-4(0) al subir la densidad el contenido de humedad disminuye de un 15% a un 10.63 % esto es debido al material con el que mejoro el suelo tiene en su composición arena lo cual hace que el porcentaje de humedad sea menor.

El suelo natural A-6(7) tiene un CBR de 3.50 % al 95%, y una expansión del suelo de 3.7% con la mezcla de suelos para su mejoramiento se llegó a tener un valor de 7.00% y una expansión de 1.97%, esto quiere decir que con el 55% del material A-2-4(0) se llegó a mejorar las condiciones del suelo A-6(7) y reducir su expansión considerablemente.

*Gráfica ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..12: Valor de CBR del suelo A-6(7) y de la mezcla con un 55% del A-2-4(0)*



*Fuente: Elaboración propia.*

Como se puede observar en la gráfica 3.10 el CBR aumento de un 3.50% a 7.00% lo cual hace que la subrasante tenga mejor resistencia a las cargas de tráfico, la expansión disminuyo de 3.70% a 1.97% debido a la presencia de un gran porcentaje de arena en el suelo con el que se llegó a estabilizar.

#### **Análisis del porcentaje óptimo en la mezcla de dos suelos para el mejoramiento del suelo A-4(1)**

En el denominado sub-tramo 2 se tiene dos suelos a los extremos se tiene un suelo A-2-4(0) y a la mitad un sector A-4(1) el objetivo de mejorar el suelo A-4 para llevarlo A-2-4(0) y tratar de uniformizar en parte este sector.

La mezcla de los suelos se realizó en un 80% del A-2-4(0) y un 20% A-4(1) como se muestra en la tabla 3.36 el porcentaje que pasa el tamiz N° 200 disminuyo de un 42 % hasta un 32.54% lo cual hace que este suelo entre en la clasificación de los suelos que se encuentran con menos del 35%.

*Tabla ;Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..47:  
Granulometría del suelo A-4(1) y la mezcla con un 80% del A-2-4(0)*

Suelos	Natural	Mezcla
Tamiz	A-4(1)	A-2-4(0)
3"	100,00	100,00
2"	100,00	100,00
1 1/2"	100,00	100,00
1"	100,00	100,00
3/4"	100,00	100,00
1/2"	100,00	100,00
3/8"	100,00	100,00
N° 4	100,00	100,00
N° 10	91.90	87.10
N° 40	86.10	80.50
N° 200	42.00	32.54

*Fuente:*

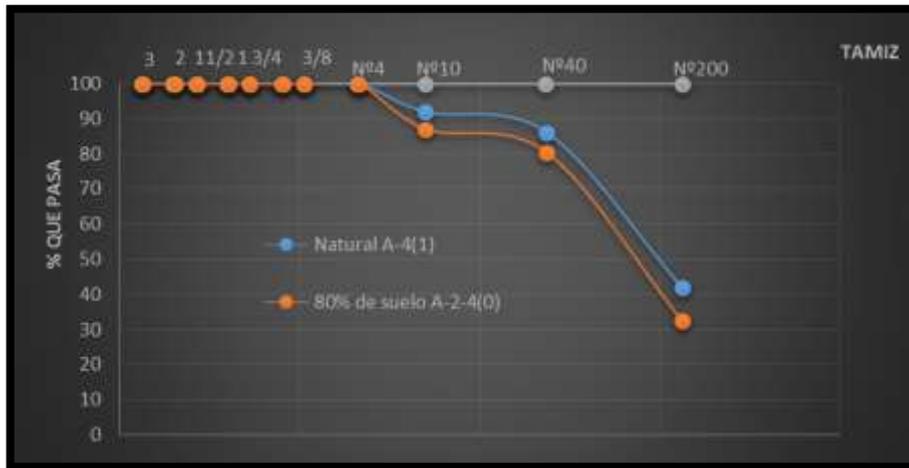
*Elaboración propia.*

Como se puede apreciar en la gráfica 3.11 de la curva granulométrica la línea de color celeste representa al suelo A-4(1) y la línea de color naranja representa a la mezcla de un 20% del suelo A-4 y un 80% del suelo A-2-4(0).

El porcentaje que disminuye en los tamices N° 10, 40 y 200 es de una manera proporcional siendo en el tamiz N° 200 un porcentaje significativo en un 9.46% respecto del suelo natural A-4(1).

La mezcla en un 80% del suelo A-2-4(0) hace que la plasticidad de suelo reduzca considerablemente de un 9.80% hasta un 5.90%, un suelo menos plástico siendo el límite líquido y el plástico modificados con el porcentaje de suelo con el que se mejoró esto hará que el nuevo suelo tenga entre sus propiedades una menor expansión y una mejor resistencia.

**Gráfica ;Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..13:**  
**Variación de la granulometría del suelo A-4(1) y la mezcla con un 80% del A-2-4(0)**

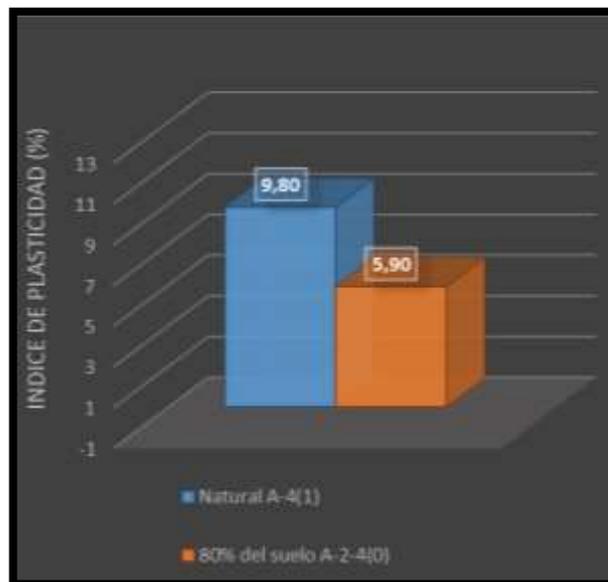


Fuente:

*Elaboración propia*

La alta presencia de arena en el suelo A-2-4(0) hace el limite liquido reduzca de 23.8% a un 18%, y el limite plástico de un 14% a un 12%, la variación de la plasticidad de presenta en la gráfica.

**Gráfica ;Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..14:**  
**Variación de la plasticidad del suelo A-4(1) y de la mezcla con un 80% del A-2-4(0)**



Fuente: *Elaboración propia.*

El suelo mejorado con A-2-4(0) en un 80% alcanzo una densidad máxima de 1.98 gr/cm<sup>3</sup> incrementando su valor en respecto del suelo natural que viene teniendo un valor de 1.93 gr/cm<sup>3</sup> la humedad optima descendió de 10.50 % que es del suelo natural a un

9.96% en la gráfica podemos observar el incremento de la densidad máxima y la disminución de la humedad óptima.

En la siguiente tabla se tiene los datos del suelo natural A-4(1) y el suelo combinado A-2-4(0)

*Tabla ;Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..48: Valores de compactación y CBR del suelo A-4(1) mezclado con un 80% del A-2-4(0)*

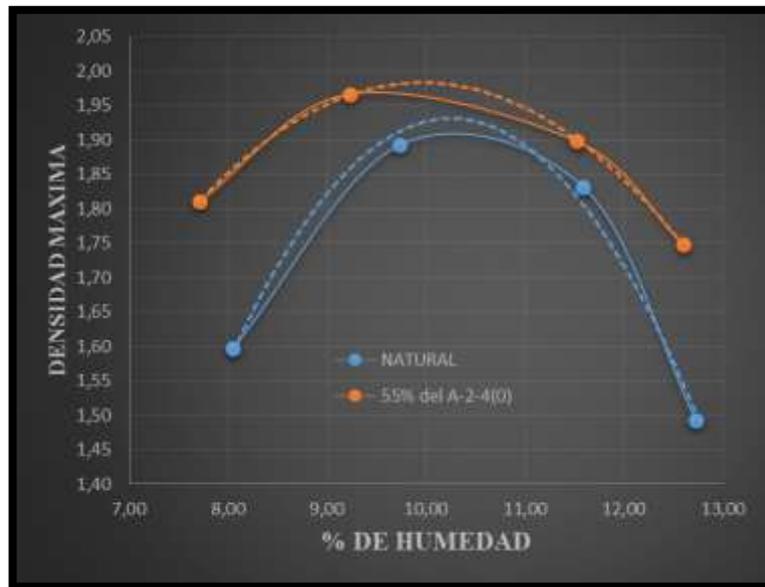
Suelo	Densidad máxima ( gr/cm <sup>3</sup> )	Humedad óptima (%)	CBR (%)
A-4(1)	1.93	10.50	7.40
A-2-4(0)	1.98	9.96	13.50

*Fuente: Elaboración propia.*

En la curva de compactación podemos observar que el suelo mejorado aumento su densidad debido a la presencia de material arenoso lo cual hace que el suelo aumente el peso del suelo compactado si bien el incremento no es como en los suelos arcillosos esto es debido que el suelo A-4 tiene en su composición también material arenoso en porcentajes más bajos debido a que se encuentra en la misma zona del suelo A-2-4(0).

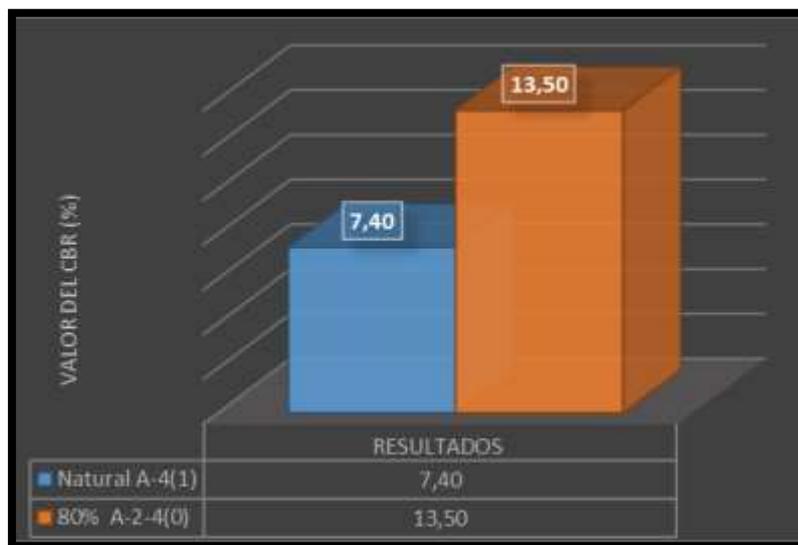
Con un 80% del material A-2-4(0) se llegó a mejorar el suelo A-4(1) en el grafico podemos apreciar que se elevó el valor de CBR de un 7.40% a un 13.50% la expansión varia de un 1.80% a 1.29% este valor de CBR hace que este sector pase de ser una subrasante regular a una condición de buena en el sector en el cual se tenía un suelo A-4.

Gráfica *¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..15*: Curva de compactación del suelo A-4(1) y de la mezcla con un 80% del A-2-4(0)



Fuente: Elaboración propia.

Gráfica *¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..16*: Valor de CBR del suelo A-4(1) y de la mezcla con un 80% del A-2-4(0)



Fuente: Elaboración propia.

### **Análisis del porcentaje óptimo en la mezcla de dos suelos para el mejoramiento del suelo A-7-5(13)**

En el sub-tramo 3 tenemos la presencia del suelo A-7-5(13) material altamente arcilloso el cual se estabilizo con un 77% del suelo A-2-4(0) y un 23% del suelo A-7-5(13), las características de este suelo son muy desfavorables para una subrasante generalmente este suelo es reemplazado por otro en el presente trabajo se rescató un porcentaje del mismo para mezclarlo con el A-2-4(0) y hacer que el mismo llegue a tener condiciones de un suelo A-4.

La variación de la granulometría se muestra en la tabla 3.40 en el tamiz N°10 la variación es de un 10% ya que varía de 99.70 % a un 89.70% en el tamiz N° 40 la diferencia es de 14.40%, luego en el tamiz N° 200 la diferencia es de un 48.50%.

*Tabla ;Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..49:  
Granulometría del suelo A-7-5(13) y de la mezcla con un 77% del A-2-4(0)*

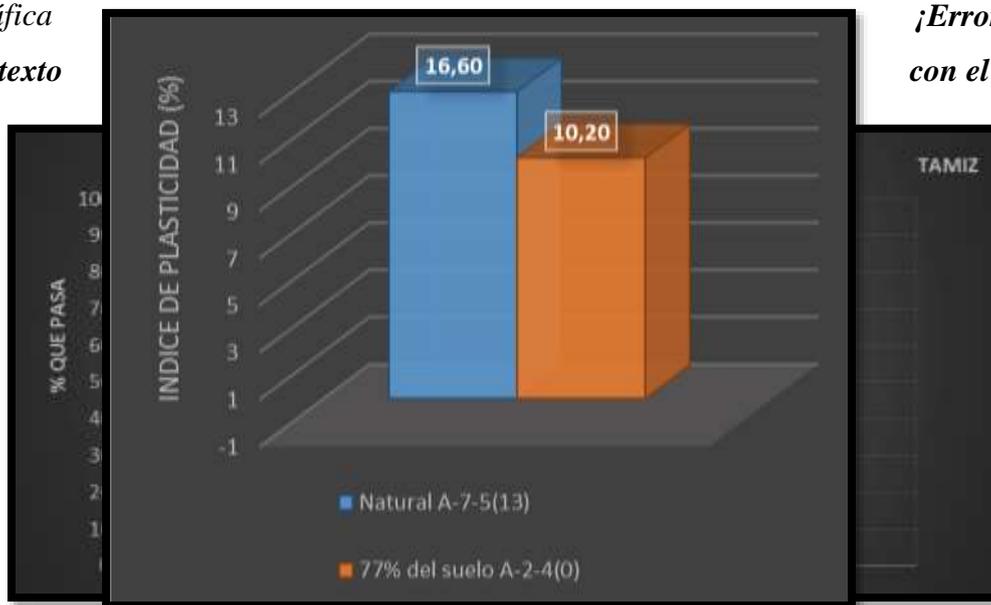
Suelos	Natural	Mezcla
Tamiz	A-7-5(13)	A-4(2)
3"	100,00	100,00
2"	100,00	100,00
1 1 /2"	100,00	100,00
1"	100,00	100,00
3/4"	100,00	100,00
1/2"	100,00	100,00
3/8"	100,00	100,00
N° 4	100,00	100,00
N° 10	99.70	89.70
N° 40	97.90	83.50
N° 200	92.90	44.40

*Fuente: Elaboración propia.*

Como se puede apreciar en la gráfica 3.15 de la curva granulométrica observamos el comportamiento de la línea naranja que representa a la mezcla de suelos respecto de la línea celeste que es del suelo A-7-5(13), se puede observar en el tamiz N° 200 es donde

se alejan más las curvas lo que nos indica un retenido en este tamiz es considerable respecto del suelo natural A-7-5(13).

Gráfica  
hay texto



¡Error! No  
con el estilo

especificado

*en el documento..17: Variación de la granulometría del suelo A-7-5(13) y de la mezcla con un 77% del A-2-4(0).*

*Fuente: Elaboración propia.*

Tenemos un gran porcentaje retenido el tamiz N° 200 esto hace que el índice de plasticidad se reduzca considerablemente desde un valor de 16.60% a un 10.2% según la clasificación de la norma AASHTO esta plasticidad corresponde a suelos generalmente A-4.

Gráfica ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..18:

*Variación de la plasticidad del suelo A-7-5(13) y de la mezcla con un 77% del A-2-4(0)*

*Fuente: Elaboración propia.*

*Tabla ;Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..50: Valores de compactación y CBR del suelo A-7-5(13) y de la mezcla con un 77% del A-2-4(0)*

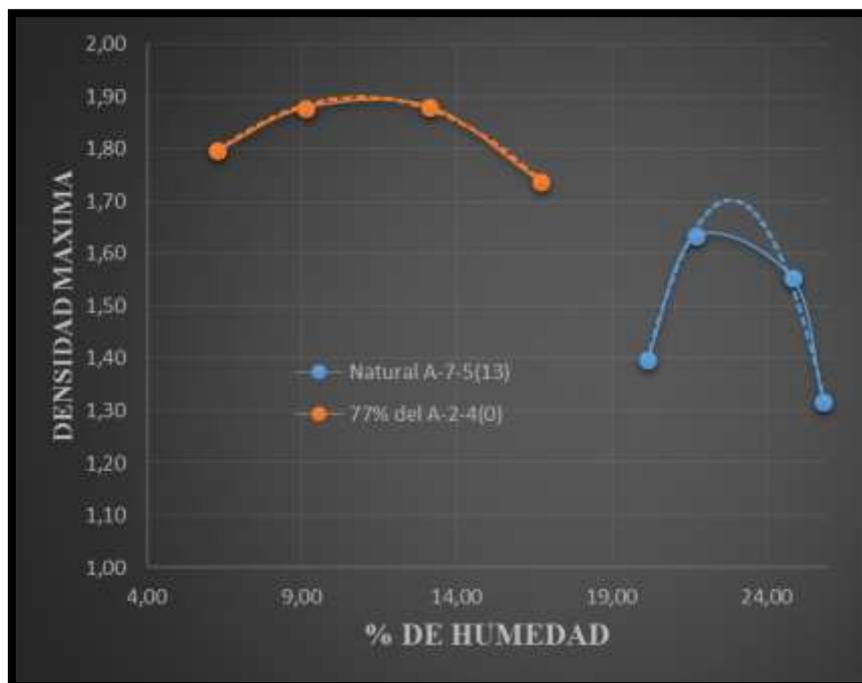
Suelo	Densidad máxima ( gr/cm <sup>3</sup> )	Humedad óptima (%)	CBR (%)
A-7-5(13)	1.71	23.10	2.20
A-4 (2)	1.90	10.92	6.90

*Fuente: Elaboración propia.*

En la gráfica 3.17. Se observa la línea celeste del suelo A-7-5(13) que tiene como valor máximo de densidad 1.71 gr/cm<sup>3</sup> y un contenido de humedad de 23.10%, la línea naranja representa a la mezcla del suelo A-7-5(13) en 23% y un 77% del suelo A-2-4(0) donde se aprecia que la densidad es máxima 1.90 gr/cm<sup>3</sup> y un contenido de humedad óptimo de 10.92 % esta gran diferencia de se debe a que los suelos arcillosos absorben mucho más agua que los suelos arenosos, respecto al peso los suelos arcillosos tienden a expandirse a medida que se le aumenta en diferentes porcentajes esto hace ocupen un mismo volumen de compactación pero de peso menor que los suelos de composición arenosos o granulares.

Como este caso el suelo con el que se está mejorando presenta un alto porcentaje de material arenoso el cual hace que se disminuya el contenido de humedad, aumente el peso y en si a la ves la densidad como se observa en la gráfica de la compactación.

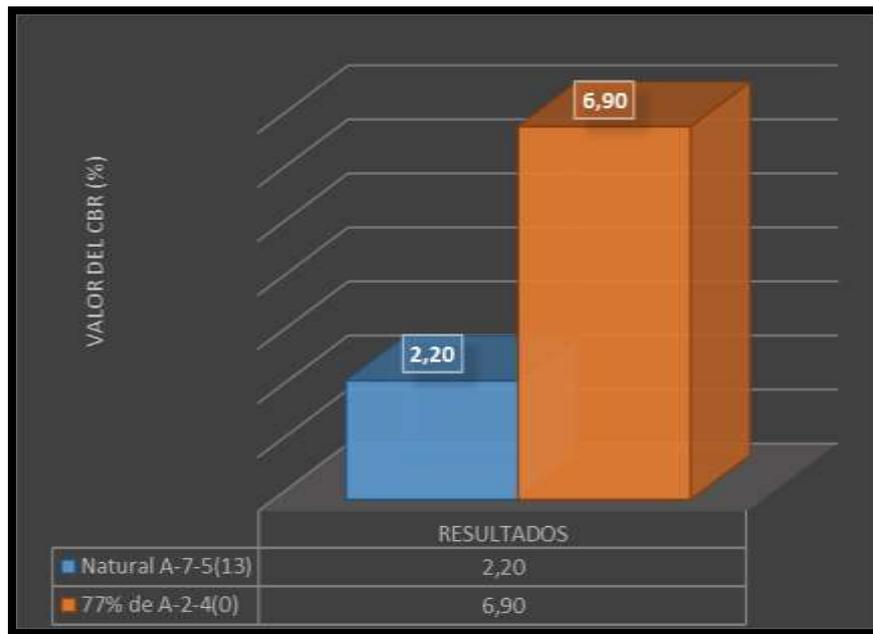
Gráfica *¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..19*: Curva de compactación del suelo A-7-5(13) y de la mezcla con un 77% del A-2-4(0)



Fuente: Elaboración propia.

Como se muestra en la gráfica 3.18 el CBR del suelo A-7-5(13) tiene un valor de 2.2 % lo cual en una subrasante es inadecuado para diseñar en este tipo de suelo con el 77% del material A-2-4(0) se eleva teniendo un valor de 6.90% y la disminución de la expansión de 5% a 1.99% esto debido a que el material con presencia de arena hace que la propiedad de expansión disminuya.

Gráfica *¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..20*: Valor de CBR del suelo A-7-5(13) y de la mezcla con un 77% del A-2-4(0)



*Fuente: Elaboración propia.*

### **Análisis del porcentaje óptimo en la mezcla de dos suelos el mejoramiento del suelo A-6(6)**

El suelo A-6(6) se pudo mejorar y llevar a un suelo A-4(2) con el porcentaje de 50% de material A-2-4(0).

La variación de la granulometría se muestra en la tabla 3.42 en el tamiz N°10 la variación es de un 5.88% ya que varía de 98.60 % a un 92.72% en el tamiz N° 40 la diferencia es de 3.20%, luego en el tamiz N° 200 la diferencia es de un 13.54.

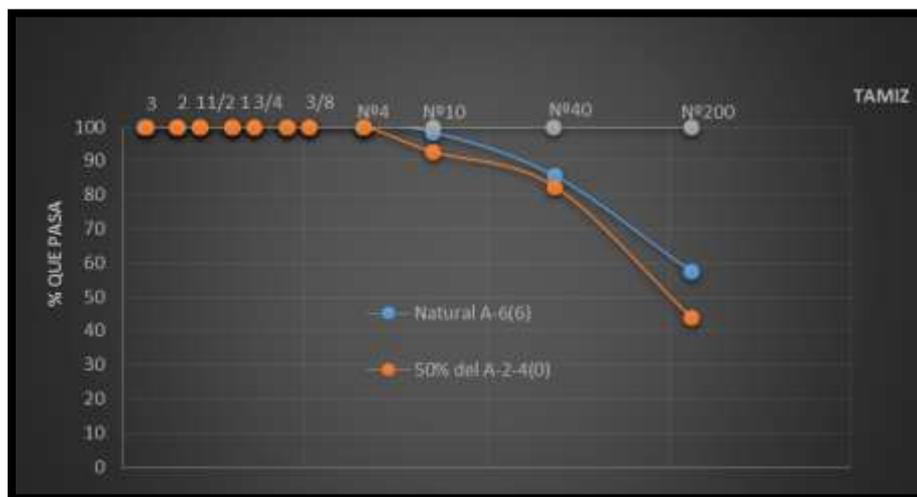
Con esta granulometría el suelo entra en las características del suelo A-4 existente en el tramo de la subrasante.

**Tabla *¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..51:***  
**Granulometría del suelo A-6(6) y de la mezcla con un 50% del A-2-4(0)**

Suelos	Natural	Mezcla
Tamiz	A-6(6)	A-4(2)
3"	100,00	100,00
2"	100,00	100,00
1 1/2"	100,00	100,00
1"	100,00	100,00
3/4"	100,00	100,00
1/2"	100,00	100,00
3/8"	100,00	100,00
N° 4	100,00	100,00
N° 10	98.60	92.72
N° 40	85.70	82.50
N° 200	57.50	43.96

*Fuente: Elaboración propia.*

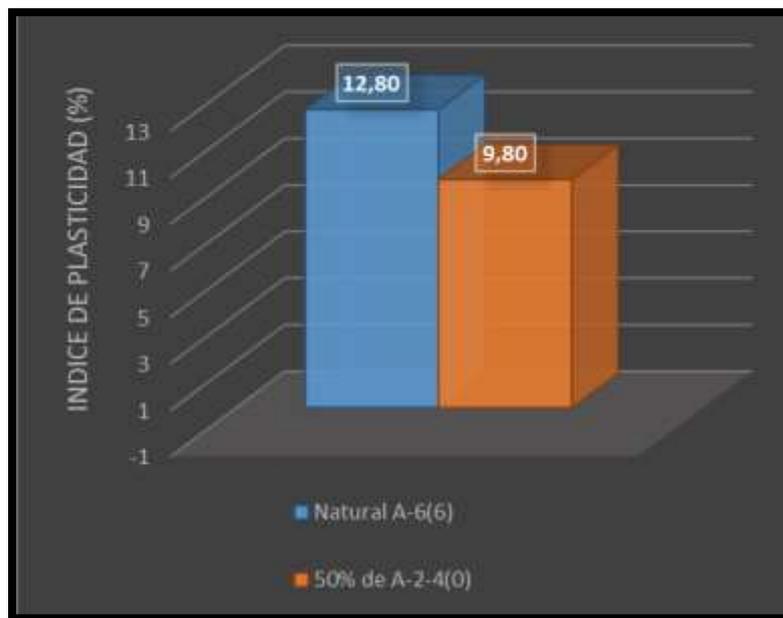
**Gráfica *¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..21:***



**Variación de la granulometría del suelo A-6(6) y de la mezcla con un 50% del A-2-4(0)**

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica **¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..22:**  
Variación de la plasticidad del suelo A-6(6) y de la mezcla con un 50% del A-2-4(0)  
2-4(0)

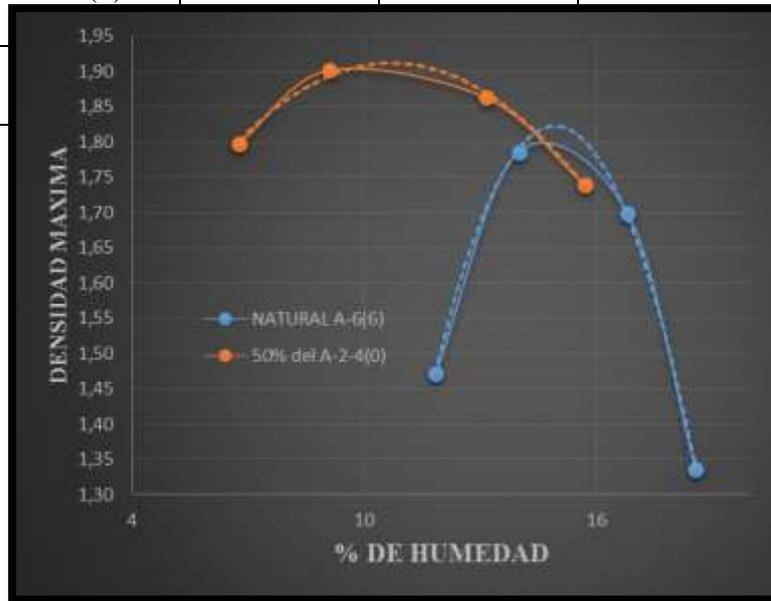


Fuente: Elaboración propia.

La plasticidad de suelo debido a la presencia de material arenoso del suelo con el que se estabilizó bajo de un valor de 12.80% a 9.80% haciendo que este en la clasificación de los suelos A-4.

Tabla **¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..52:** Valores de compactación y CBR del suelo A-6(6) y de la mezcla con un 50 % del A-2-4(0)

Suelo	Densidad máxima (gr/cm <sup>3</sup> )	Humedad óptima (%)	CBR (%)
A-6(6)	1.82	15.00	3.60



Elaboración

Fuente:  
propia.

Gráfica  
No hay  
con el estilo  
especificado

¡Error!  
texto

documento..23: Curva de compactación del suelo A-6(6) y de la mezcla un 50 % del A-2-4(0)

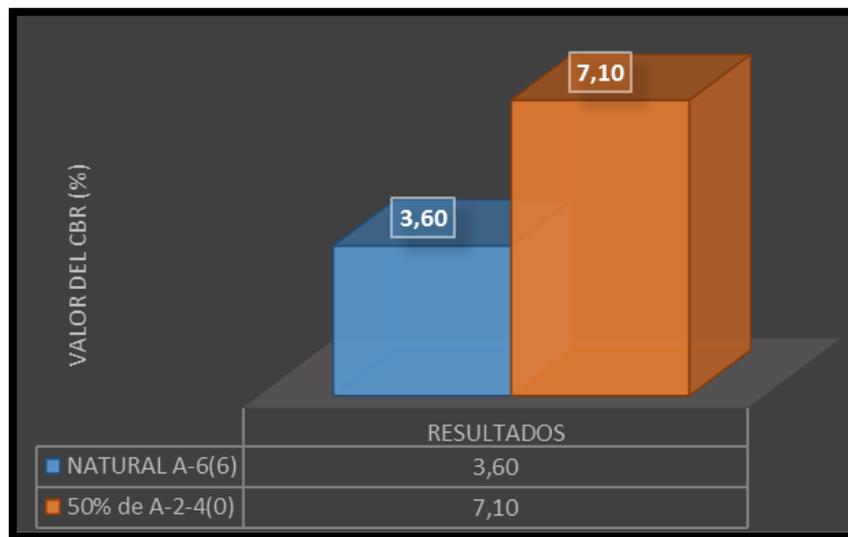
en el  
con

Fuente: Elaboración propia.

En la gráfica de la compactación se puede observar la variación un aumento de la densidad máxima de un 1.82 gr/cm<sup>3</sup> hasta el valor de 1.91 gr/cm<sup>3</sup> como refleja la gráfica 3.21, el contenido de humedad óptimo del suelo a reducido como se aprecia en la respectiva grafica de un valor de 15.00% a un 10.71%.

Podemos apreciar en la gráfica 3.22. que con el porcentaje que se trabajó para mejorar el suelo A-6(6) hizo que el CBR aumente de un valor de 3.60% a 7.10% llegando que la subrasante sea de una calidad regular en cuanto a la expansión del suelo disminuyo de un valor de 3.60% a 1.87% haciendo que se reduzca considerablemente este fenómeno que afecta los suelos arcillosos generalmente.

Gráfica *¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..24:* Valor de CBR del suelo A-6(6) y de la mezcla con un 50% del A-2-4(0)



Fuente: *Elaboración propia.*

### Resultados generales de mejoramientos con los porcentajes de suelos

Tabla *¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..53:* Cuadro general del mejoramiento sobre el suelo A-6(7) con la mezcla de 55 % del A-2-4(0)

Suelo	Límite líquido (%)	Límite plástico (%)	Índice de plasticidad (%)	Densidad máxima (gr/cm <sup>3</sup> )	CBR (%)	Exp. (%)
Natural A-6(7)	34.40	20.90	13.50	1.80	3.50	3.70
Mezcla A-4(2)	24.40	14.50	9.90	1.91	7.00	1.97

*Fuente: Elaboración propia.*

*Tabla ;Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..54: Cuadro general del mejoramiento sobre el suelo A-4(1) con la mezcla de 80 % del A-2-4(0)*

Suelo	Límite líquido (%)	Límite plástico (%)	Índice de plasticidad (%)	Densidad máxima (gr/cm <sup>3</sup> )	CBR (%)	Exp. (%)
Natural A-4(1)	23.80	14.00	9.80	1.93	7.40	1.80
Mezcla A-2-4(0)	18.00	12.00	5.90	1.98	13.50	1.29

*Fuente: Elaboración propia.*

Suelo	Límite líquido (%)	Límite plástico (%)	Índice de plasticidad (%)	Densidad máxima (gr/cm <sup>3</sup> )	CBR (%)	Exp. (%)
Natural A-7-5(13)	50.70	34.10	16.60	1.72	2.20	5.00

Mezcla A-4(2)	25.10	14.90	10.20	1.90	6.90	1.99
---------------	-------	-------	-------	------	------	------

*Tabla ;Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..55: Cuadro general del mejoramiento sobre el suelo A-7-5(13) con la mezcla de 77% del A-2-4(0)*

*Fuente: Elaboración propia.*

*Tabla ;Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..56: Cuadro general del mejoramiento sobre el suelo A-6(6) con la mezcla de 50%*

Suelo	Límite líquido (%)	Límite plástico (%)	Índice de plasticidad (%)	Densidad máxima (gr/cm <sup>3</sup> )	CBR (%)	Exp. (%)
Natural A-6(6)	32.20	19.40	12.80	1.82	3.60	3.60
Mezcla A-4(2)	24.10	14.30	9.80	1.91	7.10	1.87

*del A-2-4(0)*

*Fuente: Elaboración propia.*

## **OTRAS ALTERNATIVAS DE MEJORAMIENTO**

### **Resultados de estabilización de los suelos con cal**

*Tabla ;Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..57: Resultados de CBR para diferentes porcentajes de cal*

Suelo	A-6(7)	A-4(1)	A-7-5(13)	A-6(6)
% Cal	CBR (%)			
0	3.50	7.40	2.20	3.60
2	8.20	14.00	7.30	8.50

4	17.00	26.10	14.50	18.00
---	-------	-------	-------	-------

Fuente: Elaboración propia.

Para la estabilización de suelos con cal se utilizó dos porcentajes bajos que están entre 2% y 4% con los cuales se tiene diferentes valores de CBR para encontrar el valor aproximado del producto estabilizante, para un determinado valor de capacidad portante del suelo.

### Resultados de estabilización de los suelos con cemento

Tabla *¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..58*: Resultados de CBR para diferentes porcentajes de cemento

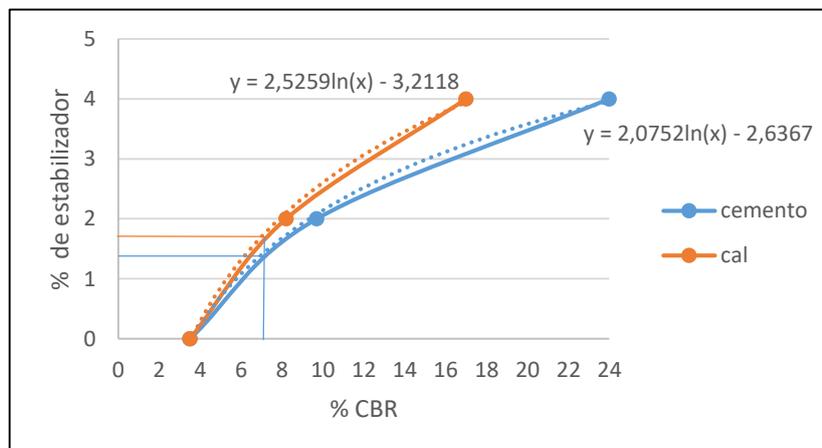
Suelo	A-6(7)	A-4(1)	A-7-5(13)	A-6(6)
% Cemento	CBR (%)			
0	3.50	7.40	2.20	3.60
2	9.70	17.00	8.40	10.00
4	24.00	38.00	22.00	26.20

Fuente: Elaboración propia.

### Análisis para encontrar los porcentajes de cal y cemento en el mejoramiento de los suelos

Gráfica *¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..25*:

Comportamiento del CBR del suelo A-6(7) estabilizado con 2% - 4% de cemento y cal



Fuente: Elaboración propia.

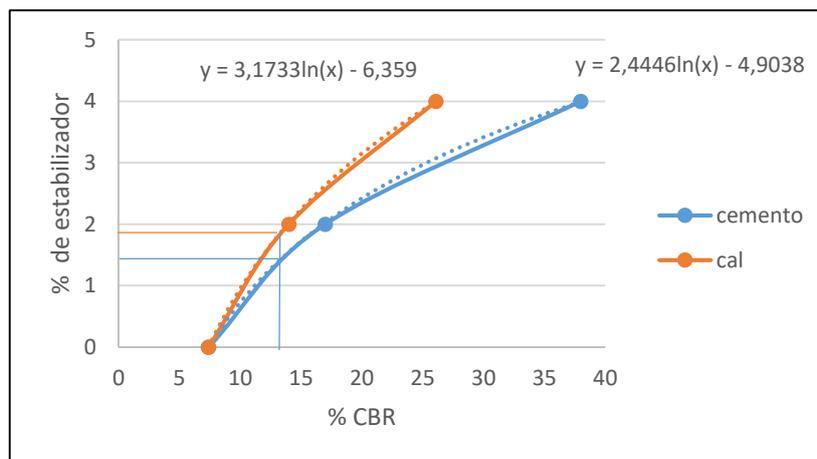
Como podemos observar en la gráfica el comportamiento del suelo A-6(7) con porcentajes de 2% y 4% de cal y cemento por separado, se proyecta en las curvas para un CBR de 7%, los valores se encuentran en la siguiente tabla.

**Tabla ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..59: Porcentaje de cal y cemento para mejorar el suelo A-6(7)**

Cal (%)	Cemento (%)	CBR. (%)
1.70	1.40	7.00

Fuente: Elaboración propia.

**Gráfica ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..26: Comportamiento del CBR del suelo A-4(1) estabilizado con 2% - 4% de cemento y cal**



Fuente: Elaboración propia.

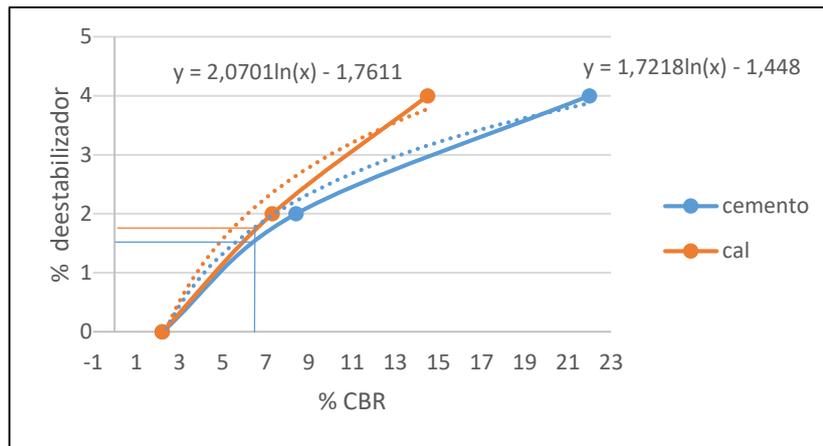
Para encontrar los porcentajes de cal y cemento, se realizó una proyección sobre las curvas generadas a diferentes porcentajes de CBR, ingresando con el valor de 13.50% encontrado en la mezcla de suelo-suelo para mejorar el A-4(1), con este dato de capacidad portante podemos determinar la cantidad de cemento y cal que se necesitaría aproximadamente para mejorar este suelo.

**Tabla ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..60: Porcentaje de cal y cemento para mejorar el suelo A-4(1)**

Cal (%)	Cemento (%)	CBR. (%)
1.90	1.46	13.50

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica **¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..27:**  
 Comportamiento del CBR del suelo A-7-5(13) estabilizado con 2% - 4% de cemento y cal



Fuente: Elaboración propia.

Para encontrar los porcentajes de cal y cemento, se realizó una proyección sobre las curvas generadas a diferentes porcentajes de CBR, ingresando con el valor de 6.90% encontrado en la mezcla de suelo-suelo para mejorar el A-7-5(13) con este dato de capacidad portante podemos determinar la cantidad de cemento y cal que se necesitaría aproximadamente para mejorar este suelo hasta un valor de 6.90% de capacidad portante.

Tabla **¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..61:** Porcentaje de cal y cemento para mejorar el suelo A-7-5(13)

Cal (%)	Cemento (%)	CBR. (%)
2.23	1.88	6.90

Fuente: Elaboración propia.

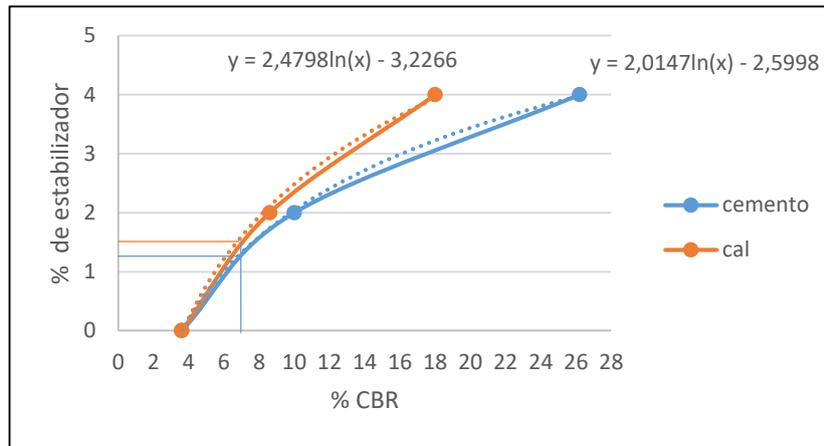
**Gráfica ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..28:**

Comportamiento del CBR del suelo A-6(6) estabilizado

con 2% - 4% de

cemento y

cal



Fuente: Elaboración propia.

Como podemos observar en la gráfica el comportamiento del suelo A-6(6) con porcentajes de 2% y 4% de cal y cemento por separado, se proyecta en las curvas para un CBR de 7%, los valores se encuentran en la siguiente tabla.

Tabla ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..62: Porcentaje de cal y cemento para mejorar el suelo A-6(6)

Cal (%)	Cemento (%)	CBR. (%)
1.63	1.35	7.10

Fuente: Elaboración propia.

Tabla ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..63:

Porcentajes	Suelo	A-6(7)	A-4(1)	A-7-5(13)	A-6(6)
óptimo de cal y	Cal (%)	1.70	1.90	2.23	1.63
cemento para	Cemento (%)	1.40	1.46	1.88	1.35

estabilizar

la subrasante natural

Fuente: Elaboración propia.

## Análisis económico de alternativas de mejoramiento

Las planillas de precios unitarios se encuentran en anexos.

Para convertir los porcentajes de cal y cemento en peso se utilizó el peso específico de los suelos basados en la tesis.

*Tabla ;Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..64: Peso relativo de suelos*

Suelo	A-6	A-7-5	A-4
Peso relativo	2.72	2.74	2.69

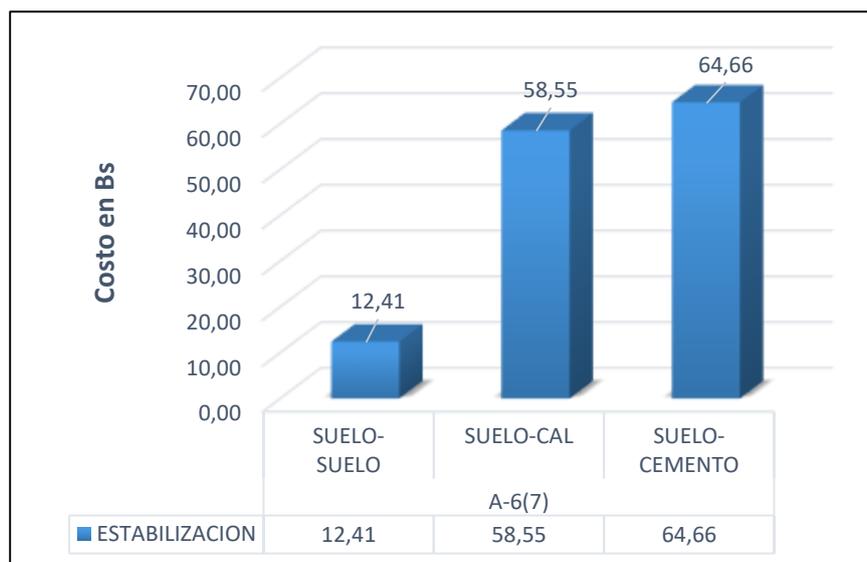
*Fuente: Callizaya, 2016.*

*Tabla ;Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..65: Precios Unitarios para el mejoramiento del suelo A-6(7)*

Suelo:A-6(7)		
Suelo-suelo (Bs/m <sup>3</sup> )	Suelo-cal (Bs/m <sup>3</sup> )	Suelo-cemento (Bs/m <sup>3</sup> )
12.41	58.55	64.66

*Fuente: Elaboración propia.*

*Gráfica ;Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..29: Variación de los precios unitarios en el mejoramiento del suelo A-6(7)*



*Fuente: Elaboración propia.*

Tabla **¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..66:** Precios Unitarios para el mejoramiento del suelo A-4(1)

Suelo:A-4(1)		
Suelo-suelo (Bs/m <sup>3</sup> )	Suelo-cal (Bs/m <sup>3</sup> )	Suelo-cemento (Bs/m <sup>3</sup> )
12.41	63.41	66.29

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica **¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..30:** Variación de los precios unitarios en el mejoramiento del suelo A-4(1)



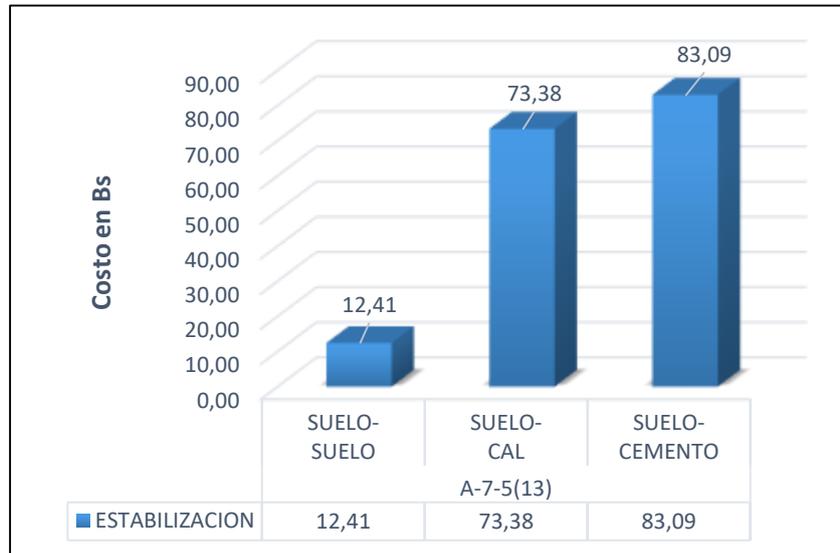
Fuente: Elaboración propia.

Tabla **¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..67:** Precios Unitarios para el mejoramiento del suelo A-7-5(13)

Suelo:A-7-5(13)		
Suelo-suelo (Bs/m <sup>3</sup> )	Suelo-cal (Bs/m <sup>3</sup> )	Suelo-cemento (Bs/m <sup>3</sup> )
12.41	73.38	83.09

Fuente: Elaboración propia.

**Gráfica ;Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..31:**  
**Variación de los precios unitarios en el mejoramiento del suelo A-7-5(13)**



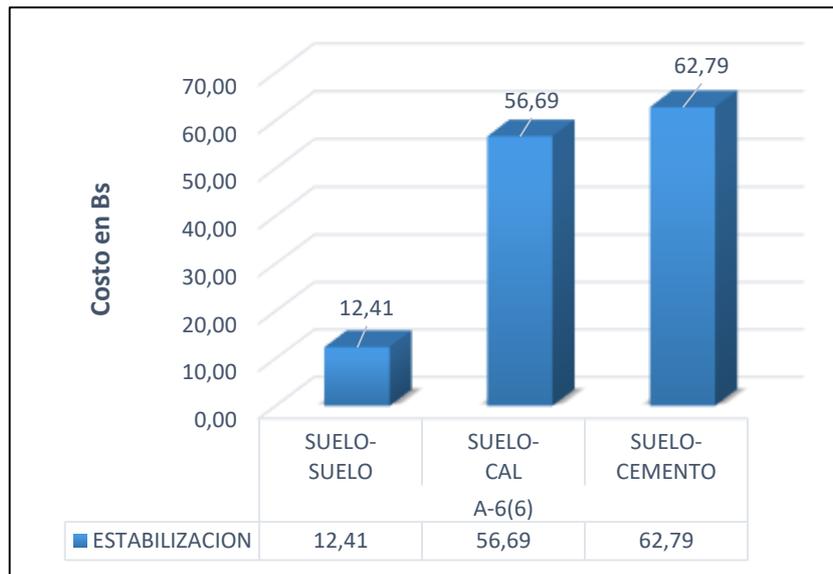
*Fuente: Elaboración propia.*

**Tabla ;Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..68: Precios Unitarios para el mejoramiento del suelo A-6(6)**

Suelo:A-6(6)		
Suelo-suelo (Bs/m <sup>3</sup> )	Suelo-cal (Bs/m <sup>3</sup> )	Suelo-cemento (Bs/m <sup>3</sup> )
12.41	56.69	62.79

*Fuente: Elaboración propia.*

**Gráfica ;Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..32:**  
**Variación de los precios unitarios en el mejoramiento del**  
**suelo A- 6(6)**



*Fuente: Elaboración propia.*

Una vez realizado el análisis económico en función a los precios unitarios podemos evidenciar en las gráficas que la estabilización suelo-suelo es la más económica debido a que el material con el que se propone la estabilización suelo-suelo se encuentra en la zona lo cual evita el costo de acarreo del material.

## **EVALUACIÓN AMBIENTAL**

Al realizar una evaluación ambiental que puede causar el procedimiento de los diferentes tipos de mejoramientos planteados se puede observar que la contaminación por los efectos de la estabilización suelo-cal, suelo-cemento y suelo-suelo.

El punto más desfavorable de contaminación para la obtención del cemento y la cal, es el uso de grandes cantidades de recursos naturales y el quemado de combustible para su elaboración

La exploración de banco de material es lo más desfavorable de una estabilización de suelo-suelo.

**Tabla ;Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..69: Impacto Ambiental causado por la estabilización suelo-suelo**

Estabilización suelo-cal	
Actividad.	Impacto ambiental.
Conformación y nivelado.	Contaminación a la flora del entorno con la pérdida de cobertura vegetal y generación de polvos.
Estabilización suelo-suelo	
Escarificación previa.	Contaminación del ambiente por generación de polvo del suelo natural.
Conformación y nivelado	Contaminación a la flora del entorno con la pérdida de cobertura vegetal y generación de polvos.
Humectación de suelo.	Contaminación con líquidos provenientes de la lechada de la cal.
Acarreo de material	Exploración de recursos naturales
Preparación, transporte, trituración	Exploración de recursos naturales con la utilización de piedras calizas, generación de polvos.
almacenamiento.	
Escarificación previa	Contaminación del aire con generación de
Cocción.	Generación de ruidos y uso de combustibles. polvo del suelo natural
Apagado.	Utilización de grandes cantidad de agua.
Esparcimiento del material	Contaminación atmosférica por la generación de ruido y polvo
Humectación de suelo	Exploración de recursos naturales con el uso de agua de fuentes de ríos

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla ;Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..70: Impacto Ambiental causado por la estabilización suelo-cal**

Fuente: Elaboración propia.

*Tabla ;Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..71: Impacto Ambiental causado por la estabilización suelo-cemento*

Estabilización suelo-Cemento	
Actividad	Impacto ambiental
Conformación y nivelado.	Contaminación a la flora del entorno con la pérdida de cobertura vegetal y generación de polvos.
Escarificación previa.	Contaminación del aire con generación de polvo del suelo natural.
Esparcimiento del cemento.	Generación de basura con la bolsa de cemento, generación de polvo de cemento.
Humectación de suelo.	Exploración de agua con el uso fuentes de ríos principalmente.

*Fuente: Elaboración propia.*

## **CÁLCULO DE LOS ESPESORES DE LA SUBRASANTE MEJORADA**

La determinación de la altura de mejoramiento a realizar se hará de acuerdo a lo indicado en el Manual para el Diseño de Caminos Pavimentados de Bajo Volumen de Tránsito el cual emplea la siguiente fórmula:

$$D_4 = \frac{SN_r - SN_o}{a_4 \times m_4}$$

Siendo:

D4 = Espesor efectivo de la subrasante mejorada en pulg.

SNr = Número Estructural requerido del pavimento con subrasante muy pobre a pobre.

SN0 = Número Estructural requerido del pavimento con subrasante regular, buena o muy buena.

a4 = Coeficiente estructural de capa de la subrasante mejorada, se recomiendan los siguientes valores:

a4 = 0.061/pulg para reemplazar la subrasante muy pobre y pobre, por una subrasante regular con CBR de 6 % – 10 %.

a4 = 0.076/pulg para reemplazar la subrasante muy pobre y pobre, por una subrasante buena con CBR de 11 %– 19 %.

a4 = 0.094/pulg para reemplazar la subrasante muy pobre y pobre, por una subrasante muy buena con CBR > 20 %.

a4 = 0.089/pulg para reemplazar la subrasante muy pobre y pobre, por una subrasante regular, con la adición mínima de 3 % de cal en peso de los suelos.

m4 = Coeficiente de drenaje de la capa 4.

#### Ecuación para determinar el número estructural

$$\text{Log}W_{8.2} = Z_R * S_o + 9.36 * \text{Log}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\text{Log} \left[ \frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.30 * \text{Log}M_R - 8.07$$

Módulo Resiliente de la subrasante

$$M_R = 2555 * CBR^{0.64}$$

Cálculo de espesor para un suelo A-6(7)

**Tabla ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..72:**  
*Parámetros para el número estructural sobre el suelo mejorado A-6(7)*

Datos	A-6(7)	A-4(2)
Z <sub>R</sub> =	-0.524	-0.524
S <sub>O</sub> =	0.49	0.49
P <sub>i</sub> =	4.20	4.20
P <sub>f</sub> =	2.00	2.00
EAL=	185.470.19	185.470.19
CBR (%)=	3.50	7.00
M <sub>R</sub> =	5696.320	8876.743
SN <sub>r</sub> =	2.60	2.21

*Fuente: Elaboración propia.*

Espesor de la subrasante mejorada

$$D_4 = \frac{2.60 - 2.21}{0.061 * 1}$$

$D_4=6.40$  Pulg

$D_4=16.25$  cm constructivamente tendría se asume 20 cm de espesor de la subrasante mejorada para el sector donde el suelo natural es A-6(7).

Ecuación para determinar el número estructural

$$\text{Log}W_{8.2} = Z_R * S_o + 9.36 * \text{Log}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\text{Log} \left[ \frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.30 * \text{Log}M_R - 8.07$$

Módulo Resiliente de la subrasante

$$M_R = 2555 * CBR^{0.64}$$

Cálculo de espesor para un suelo A-4(1)

*Tabla ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..73:  
Parámetros para el número estructural sobre el suelo mejorado A-4(1)*

Datos	A-4(1)	A-2-4(0)
$Z_R=$	-0.524	-0.524
$S_o=$	0.49	0.49
$P_i=$	4.20	4.20
$P_f=$	2.00	2.00
$EAL=$	185.470.19	185.470.19
$CBR (\%)=$	7.40	13.50
$M_R=$	9198.12	13514.64
$SN_f=$	2.18	1.90

*Fuente: Elaboración propia.*

Espesor de la subrasante mejorada

$$D_4 = \frac{2.18 - 1.90}{0.076 * 1}$$

$D_4=3.68$  Pulg

$D_4=9.36$  cm constructivamente tendría se asume 10 cm de espesor de la subrasante mejorada para el sector donde el suelo natural es A-4(1).

Ecuación para determinar el número estructural

$$\text{Log}W_{8.2} = Z_R * S_o + 9.36 * \text{Log}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\text{Log} \left[ \frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.30 * \text{Log}M_R - 8.07$$

Módulo Resiliente de la subrasante

$$M_R = 2555 * CBR^{0.64}$$

Cálculo de espesor para un suelo A-7-5(13)

*Tabla ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..74:*

*Parámetros para el número estructural sobre el suelo mejorado A-7-5(13)*

Datos	A-7-5(13)	A-4(2)
Z <sub>R</sub> =	-0.524	-0.524
S <sub>O</sub> =	0.49	0.49
P <sub>i</sub> =	4.20	4.20
P <sub>f</sub> =	2.00	2.00
EAL=	185.470.19	185.470.19
CBR (%)=	2.20	6.90
M <sub>R</sub> =	4231.96	8795.37
SN <sub>r</sub> =	2.88	2.22

*Fuente: Elaboración propia.*

Espesor de la subrasante mejorada

$$D_4 = \frac{2.887 - 2.220}{0.061 * 1}$$

D<sub>4</sub>=10.93 Pulg

D<sub>4</sub>=27.77 cm constructivamente tendría se asume 30 cm de espesor de la subrasante mejorada para el sector donde el suelo natural es A-7-5(13).

Ecuación para determinar el número estructural

$$\text{Log}W_{8.2} = Z_R * S_o + 9.36 * \text{Log}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\text{Log} \left[ \frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.30 * \text{Log}M_R - 8.07$$

Módulo Resiliente de la subrasante

$$M_R = 2555 * CBR^{0.64}$$

Cálculo de espesor para un suelo A-6(6)

*Tabla ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..75:*

*Parámetros para el número estructural sobre el suelo*

*mejorado A-6(6)*

Datos	A-6(6)	A-4(2)
Z <sub>R</sub> =	-0.524	-0.524
S <sub>O</sub> =	0.49	0.49
P <sub>i</sub> =	4.20	4.20
P <sub>f</sub> =	2.00	2.00
EAL=	185.470.19	185.470.19
CBR (%)=	3.60	7.10
M <sub>R</sub> =	5799.95	8957.69
SN <sub>r</sub> =	2.58	2.20

*Fuente: Elaboración propia.*

Espesor de la subrasante mejorada

$$D_4 = \frac{2.58 - 2.20}{0.061 * 1}$$

D<sub>4</sub>=6.23 Pulg

D<sub>4</sub>=15.82 cm constructivamente tendría se asume 20 cm de espesor de la subrasante mejorada para el sector donde el suelo natural es A-6(6)

*Tabla ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..76: Espesores de la subrasante mejorada*

Subrasante natural	Subrasante mejorada	Espesor calculado (cm)	Espesor Adoptado (cm)
A-6(7)	A-4(2)	16.25	20
A-4(1)	A-2-4(0)	9.36	10
A-7-5(13)	A-4(2)	27.77	30
A-6(6)	A-4(2)	15.82	20

*Fuente: propia*

*Elaboración*

Según la metodología del Manual para el Diseño de Caminos Pavimentados de Bajo Volumen de Tránsito (Perú) se realizó el cálculo de los espesores de la subrasante para los cuatro tipos de suelos que se mejoró teniendo el suelo A-7-5(13) el espesor de mayor consideración el cual es de 30 cm siendo el lugar más crítico por ser el suelo muy desfavorable.

## ANÁLISIS DEL PAQUETE ESTRUCTURAL EN EL TRAMO DE APLICACIÓN

### El ripiado existente como capa de rodadura

Para saber la calidad del material del ripiado se hizo la granulometría, compactación y el CBR, con lo cual podemos determinar las características de la capa de ripio los resultados se muestran en las tablas posteriores.

*Gráfica ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..33: Curva granulométrica del ripio*



Fuente: Planillas SEDECA (ver anexos)

Tabla **¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..77:**  
Granulometría del ripio

Tamiz	Porcentajes
3"	100.00
2"	100.00
1"	86.40
3/4"	72.40
3/8"	54.20
N° 4	41.10
N° 10	35.80
N° 40	26.00
N° 200	7.60

propia.

Tabla **¡Error! No hay especificado en el**

Compactación y CBR del ripiado

Fuente: Elaboración

**texto con el estilo documento..78:**

Suelo	Densidad máxima (gr/cm <sup>3</sup> )	Humedad optima (%)	CBR (%)
A-1a	2.23	5.40	42.20

Fuente: Elaboración propia.

Un ripiado es un material seleccionado traído de ríos o de bancos de material, el cual tiene características de materiales que se usan en capas de sub-base y base dependiendo las propiedades que tenga el mismo.

Tomando el ripiado como material de mejoramiento como una carretera solo ripiada el material cumple las condiciones solo en sectores necesita un re capado debido al hundimiento a consecuencia de los vehículos que transitan por la zona.

### **Diseño del paquete estructural con subrasante natural considerando el ripiado existente como sub-base en el sub-tramo 1 y 3**

Pero en el presente trabajo se pretende es mejorar la subrasante para un asfaltado lo cual entonces se realizara un análisis con la subrasante mejorada con suelo-suelo, y la otra tomar alternativa la subrasante natural y en ambos casos tomar el ripiado como capa sub base y poder realizar un costo en ambos casos.

*Tabla ;Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..79: Datos para el diseño estructural con subrasante natural*

$Z_R=$	-0.524	$CBR(\%)_{Sub\ base}$ =	42.20
$S_O=$	0.49	$CBR(\%)_{base}$ =	80
$P_i=$	4.20	$a_1=$	0.44
$P_f=$	2.00	$a_2=$	0.13
$EAL=$	185.470.19	$a_3=$	0.11
$CBR(\%)_{subr}=$	2.20	$m_1=$	0.80
$Mr=$	4231.96	$m_2=$	0.80

*Fuente: Elaboración propia.*

Para la subrasante natural tenemos el suelo A-7-5(13), con CBR de 2.20%, siendo este suelo el más desfavorable con el cual se calculó el paquete estructural los espesores se reflejan en la Tabla 3.72.

*Tabla ;Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..80: Espesores del paquete estructural sobre el suelo A-7-5(13)*

Paquete estructural	Calculado (cm)	Adoptado (cm)
Carpeta asfáltica	8.89	5

Base	10.16	15
Sub base	24.13	25
Espesor carpeta rodadura	43.18	45

*Fuente: Elaboración propia.*

Como se puede observar el espesor del paquete estructural es de 45cm distribuidos en sub-base, base y carpeta asfáltica

*Figura ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..29: Diseño estructural con subrasante natural sobre el suelo A-7-*

5(13)

*Fuente: Vásquez.*

**Diseño del paquete estructural con subrasante mejorada considerando el ripiado existente como sub-base en el sub-tramo 1 y 3**

Una de las alternativas planteadas para el diseño de un pavimentado es el mejoramiento de la subrasante mediante la estabilización suelo-suelo y el colocado del material ripio como sub-base para cual se analizara el espesor que requiera para esta subrasante mejorada.

Para este diseño del paquete estructural tenemos un CBR mejorado de 6.90% con el cual se calculó el espesor del paquete estructural, para el sub-sector 1 y 3 lo cual se presenta en las siguientes tablas.

*Tabla ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..81: Datos para el diseño estructural con la subrasante mejorada, sobre el suelo A-7-5(13)*

$Z_R=$	-0.524	$CBR(\%)_{Sub\ base} =$	42.20
$S_O=$	0.49	$CBR(\%)_{base} =$	80
$P_i=$	4.20	$a_1=$	0.44
$P_f=$	2.00	$a_2=$	0.13
$EAL=$	185.470.19	$a_3=$	0.11
$CBR(\%)_{subr}=$	6.90	$m_1=$	0.80
$M_r=$	8795.37	$m_2=$	0.80

*Fuente: Elaboración propia.*

Con el suelo mejorado mediante una estabilización suelo-suelo, llegando a un CBR de 6.90%, el cual se tomó como valor para el diseño de espesores para la subrasante.

*Figura ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..30: Diseño estructural con la subrasante mejorada, sobre el suelo A-7-5(13)*

Método AASHTO para el diseño de pavimentos (1993) por Luis R. Vásquez

### Método AASHTO para el diseño de pavimentos (1993)

Desarrollado por: Luis Ricardo Vásquez Varela. Ingeniero Civil. Manizales, 2006.

Tipo de pavimento:  Flexible  Rígido

Confiabilidad (R) y desviación estándar (So): 70% Zr = -0.524 So = 0.49

Serviciabilidades inicial y final: PSI inicial = 4.2 PSI final = 2.0

Tránsito de diseño: W18 = 185470.19

Pavimento flexible

Capa	Módulo de elasticidad (psi)	Coefficiente de capa (ai)	Coefficiente de drenaje (mi)	SN necesario	Esesor D (plg.)	Esesor D* (plg.)	SN* dispuesto
1	435000	¿E/a?	0.440	1.00	¿m?	1,36	3,09 3,5
2	28000	¿E/a?	0.131	0.80	¿m?	1,72	1,72 2,0
3	16000	¿E/a?	0.114	0.80	¿m?	2,16	2,20 2,5
4	8795.37	MR					6,0 0,55

W18 real: 2.51 OK 4,79E+005

Botones: Diseñar, Ver informe, Salir

Quitar el control de variables

Fuente: Vásquez.

Tabla ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..82: Espesores del paquete estructural con la subrasante mejorada, sobre el suelo A-7-5(13)

Paquete estructural	Calculado (cm)	Adoptado (cm)
Carpeta asfáltica	8.89	5
Base	10.16	15
Sub base	15.24	15
Espesor carpeta rodadura	34.29	35
Espesor de la subrasante mejorada	27.77	30

Fuente: Elaboración propia.

Según los espesores calculados necesitamos un espesor de sub-base de 15 cm al igual que una base de 15 cm, y la carpeta asfáltica de 5 cm, haciendo un mejoramiento de la subrasante tendremos espesores menores que tomar el suelo natural.

**Tabla ;Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..83:**  
*Comparación de espesores del paquete estructural en el sub-sector 1 y 3*

Paquete estructural	Sin mejorar (cm)	Con mejoramiento (cm)
Carpeta asfáltica	5	5
Base	15	15
Sub base	25	15
Espesor carpeta rodadura	45	35

*Fuente: Elaboración propia.*

Realizar un pavimentado sobre la subrasante tal como está implicaría aumentar en 10 cm la capa sub-base tomando el ripiado como una sub base ya conformada.

Si se mejora la subrasante mediante una estabilización suelo-suelo se debe retirar el material de ripiado a un costado del tramo mejorar la subrasante y volver a colocar este material granular como sub-base

**Diseño del paquete estructural sobre el suelo natural con subrasante natural considerando el ripiado existe como sub-base en el sub-tramo 2**

Para el sub-sector 2 comprendido entre las progresivas 1+250 hasta 4+000 suelos comprendidos en este tramo tenemos A-2-4(0) y A-4(1), tomando el valor de CBR del suelo más desfavorable de este sector tenemos 7.40%.

Para este sector se hizo el cálculo del paquete estructural, para determinar los espesores que debe tener el paquete, se tomó los siguientes parámetros para el cálculo de los espesores, la serviciabilidad, la confiabilidad, valores de capa sub-base, base, los ejes equivalentes, y los coeficientes de drenaje

**Tabla ;Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..84:** *Datos para el diseño estructural con la subrasante natural, sobre el suelo A-4(1)*

$Z_R=$	-0.524	CBR (%) Sub base =	42.20
$S_O=$	0.49	CBR(%) base =	80
$P_i=$	4.20	$a_1=$	0.440

Pf=	2.00	a <sub>2</sub> =	0.131
EAL=	185.470.19	a <sub>3</sub> =	0.114
CBR(%) <sub>subr</sub> =	7.40	m <sub>1</sub> =	0.80
Mr=	9198.12	m <sub>2</sub> =	0.80

Fuente: Elaboración propia.

Figura ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..31: Diseño estructural con subrasante natural sobre el suelo A-4(1)

Método AASHTO para el diseño de pavimentos (1993) por Luis R. Vásquez

**Método AASHTO para el diseño de pavimentos (1993)**  
Desarrollado por: Luis Ricardo Vásquez Varela. Ingeniero Civil. Manizales, 2006.

Tipo de pavimento:  Flexible  Rígido

Confianza (R) y desviación estándar (So): 70 % Z<sub>t</sub> = -0.524 So = 0.49

Serviciabilidades inicial y final: PSI inicial = 4.2 PSI final = 2.0

Tránsito de diseño: W18 = 185470.19

Capa	Módulo de elasticidad (psi)	Coficiente de capa (a <sub>i</sub> )	Coficiente de drenaje (m <sub>i</sub> )	SN necesario	Espesor D (plg.)	Espesor D* (plg.)	SN* dispuesto			
1	435000	¿E/a?	0.440	1.00	¿m?	1.36	3.09	3.5	1.54	
2	28000	¿E/a?	0.131	0.80	¿m?	1.72	1.72	2.0	4.0	0.42
3	16000	¿E/a?	0.114	0.80	¿m?	2.13	1.87	2.0	6.0	0.55
4	9198.12	MR							2.51	OK

W18 real: 5.31E+005

Botones: Diseñar, Ver informe, Salir

Quitar el control de variables

Fuente: Vásquez.

*Tabla **¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento.**85: Espesores del paquete estructural sobre el suelo A-4(1)*

Capas	Calculado (cm)	Adoptado (cm)
Carpeta asfáltica	8.89	5
Base	10.16	15
Sub base	15.24	15
Espesor carpeta rodadura	34.29	35

*Fuente: Elaboración propia.*

En este sector con la subrasante de 7.40% el paquete estructural resulta con un espesor de 35 cm, con lo cual cumpliría con el requerimiento para el diseño, el espesor de la sub-base es de 15 cm lo cual con el espesor del ripiado se puede llegar a cumplir.

### **Análisis económico del paquete estructural sub-tramo 1 y 3.**

Como se puede ver en el análisis de espesores tomar el tramo tal como esta para el diseño de un paquete estructural, en el sub tramo 1 y 3 necesitaríamos un incremento en el ripiado para que funcione como sub base en 10 cm en su espesor

Tomando un ancho de calzada de 7.20m y la longitud acumulada entre el sub-tramo 1 y 3 tenemos 4250 m, para lo cual se realizó los cálculos métricos respectivos, que se refleja en la tabla siguiente.

N°	Actividades	Unid.	Alto	Ancho	Largo	N° veces	Total
1	Retiro del ripiado	m3	015	7.20	4250		4590.00

2	Traslado del material ripio	m3-km	0.15	7.20	4250		4590.00
3	Excavación y traslado del material para estabilizar	m3-km	0.30	7.20	4250	2	14137.20
4	Mejoramiento de la subrasante suelo-suelo	m3	0.30	7.20	4250		9180.00
5	Traslado del material ripio a la plataforma	m3-km	0.15	7.20	4250		4590.00
6	Conformación de la capa sub-base	m3	0.15	7.20	4250		4590.00
7	Conformación de la capa base	m3	0.15	7.20	4250		4590.00
8	Imprimación bituminosa	m2		7.20	4250		30600
9	Carpeta asfáltica E=5 cm	m3	0.05	7.20	4250		1530.00

*Tabla ;Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..86: Cómputos métricos para el diseño estructural con una subrasante mejorada (suelo-suelo), sub-sector 1 y 3.*

*Fuente: Elaboración propia.*

*Tabla ;Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..87:*

*Presupuesto para el diseño estructural con una subrasante mejorada (suelo-suelo), sub-*

N°	Actividades	P.U.	Cantidad	Total
1	Retiro del ripiado	3.63	4590	16660.97
2	Traslado del material ripio	3.55	4590	16292.37
3	Excavación y traslado del material para estabilizar	10.38	14137.20	146717.14
4	Mejoramiento de la subrasante suelo-suelo	12.41	9180	113920.39
5	Traslado del material ripio a la plataforma	3.55	4590	16292.37
6	Conformación de la capa sub-base	13.12	4590	60240.03
7	Conformación de la capa-base	167.01	4590	766586.69
8	Imprimación bituminosa	24.56	30600	751492.47
9	Carpeta asfáltica E=5 cm	65.20	1530	99760.79
Presupuesto total (Bs)				1.987.963.22

*sector 1 y 3.*

*Fuente: Elaboración propia.*

Una de las alternativas es retiro del material ripiado para mejorar la subrasante y volver a colocar el ripiado como material de sub-base, con esto podemos eliminar el costo del material sub-base.

*Tabla ;Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..88: Cómputos métricos para el diseño estructural con una subrasante natural sub-sector 1 y 3.*

Actividades	Unidad	Alto	Ancho	Largo	Total
Reconformación de la capa sub-base (Ripio existente)	m3	0.15	7.20	4250	4590
Conformación de la capa sub-base	m3	0.10	7.20	4250	3060
Conformación de la capa-base	m3	0.15	7.20	4250	4590
Imprimación bituminosa	m2		7.20	4250	30600
Carpeta asfáltica E=5 cm	m3	0.05	7.20	4250	1530

*Fuente: Elaboración propia.*

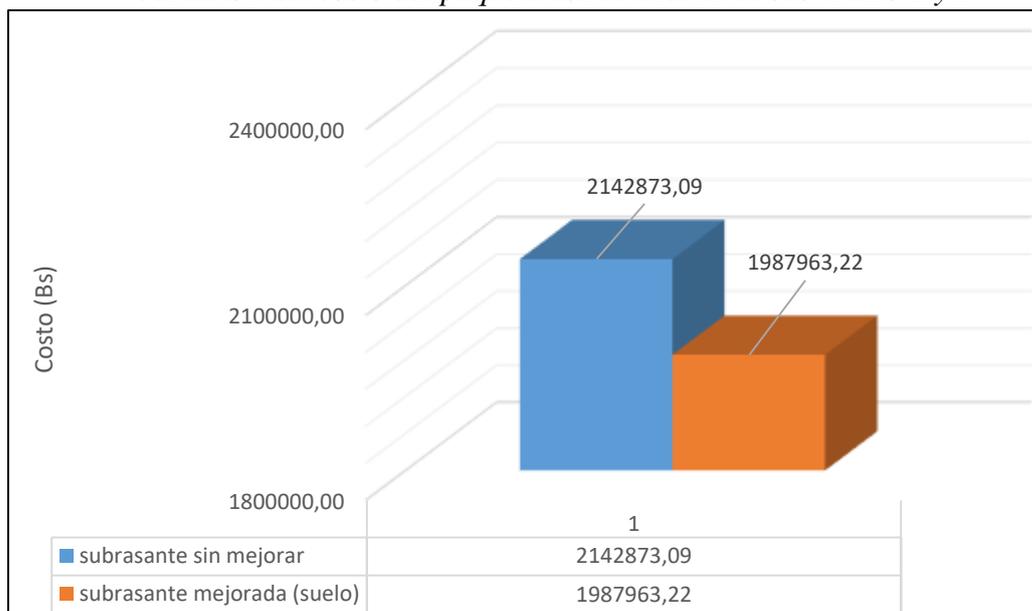
*Tabla ;Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..89: Presupuesto para el diseño estructural con una subrasante natural sub-sector 1 y 3.*

N°	Actividades	P.U.	Cantidad.	Total
1	Reconformación de la capa sub-base (Ripio existente)	13.12	4590	60240.03
2	Conformación de la capa sub-base	151.89	3060	464793.12
3	Conformación de la capa-base	167,01	4590	766586.69
4	Imprimación bituminosa	24.56	30600	751492.47
5	Carpeta asfáltica E=5 cm	65.20	1530	99760.79
Presupuesto total (BS)				2.142.873.09

*Fuente: Elaboración propia.*

La alternativa segunda es tomar la subrasante tal como se encuentra y utilizar la capa de ripio como una capa de sub-base, con lo cual se realizó el análisis de costos de cada una de estas alternativas se presenta en la siguiente gráfica.

**Gráfica ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..34:**  
**Variación del costo del paquete estructural en el sub-tramo 1 y 3**



*Fuente: Elaboración propia.*

En el gráfico podemos apreciar la diferencia del costo entre una subrasante natural y otra con el mejoramiento de la subrasante mediante la estabilización suelo-suelo en el sub-tramo 1 y 3, la diferencia en costos es de 154.909.88 Bs.

### **Análisis económico para el paquete estructural para una subrasante mejorada con cal y cemento**

La propuesta del mejoramiento de la subrasante con otro producto en estos casos la cal y el cemento, los resultados se presentan en los siguientes cuadros, las actividades que se desarrollan son las mismas que se toman para un diseño del paquete estructural con el mejoramiento suelo-suelo.

**Tabla ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..90:**  
**Presupuesto para el diseño estructural con una subrasante mejorada (suelo-cal), sub-sector 1 y 3**

Nº	Actividades	P.U.	Cantidad	Total
1	Retiro del ripiado	3.63	4590	16660.97
2	Traslado del material ripio	3.55	4590	16292.37

3	Mejoramiento de la subrasante suelo-cal	73.38	9180	673628.40
4	Traslado del material ripio a la plataforma	3.55	4590	16292.37
5	Conformación de la capa sub-base	13.12	4590	60240.03
6	Conformación de la capa base	167.01	4590	766586.69
7	Imprimación bituminosa	24.56	30600	751492.47
8	Carpeta asfáltica E=5 cm	65.20	1530.00	99760.79
Presupuesto total (Bs)				2.400.954.09

*Fuente: Elaboración propia.*

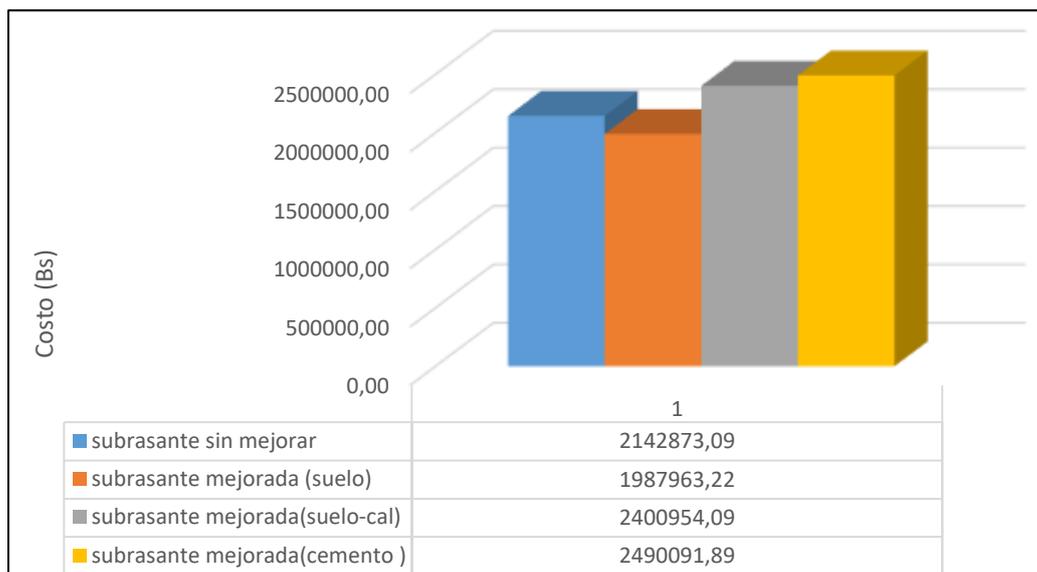
*Tabla ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..91:  
Presupuesto para el diseño estructural con una subrasante mejorada (suelo-cemento),  
sub-sector 1 y 3.*

N°	Actividades	P.U.	Cantidad	Total
1	Retiro del ripiado	363	4590	16660.97
2	Traslado del material ripio	3.55	4590	16292.37
3	Mejoramiento de la subrasante suelo-cemento	83.09	9180	762766.20
4	Traslado del material ripio a la plataforma	3.55	4590	16292.37
5	Conformación de la capa sub-base	13.12	4590	60240.03
6	Conformación de la capa base	167.01	4590	766586.69
7	Imprimación bituminosa	24.56	30600	751492.47
8	Carpeta asfáltica E=5 cm	65.20	1530	99760.79
Presupuesto total (Bs)				2.490.091.89

*Fuente: Elaboración propia.*

*Grafica ;Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..35:*

*Variación del costo del paquete estructural para diferentes alternativas de*



*mejoramiento en la subrasante en el sub-tramo 1 y 3.*

*Fuente: Elaboración propia.*

Como se puede observar el paquete estructural para diferentes materiales de estabilización de los suelos en la subrasante se puede ver que el costo para el paquete

### **Análisis económico del paquete estructural sub tramo 2.**

*Tabla ;Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..92: Cómputos métricos para el diseño estructural con una subrasante natural sub-sector 2.*

N°	Actividades	Unidad	Alto	Ancho	Largo	Total
1	Reconformación de la capa sub-base (Ripio existente)	m3	0.15	7.20	3170	3423.60
2	Conformación de la capa base	m3	0.15	7.20	3170	3423.60
3	Imprimación bituminosa	m2		7.20	3170	22824
4	Carpeta asfáltica E=5 cm	m3	0.05	7.20	3170	1141.20

*Fuente: Elaboración propia.*

*Tabla ;Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..93:  
Presupuesto para el diseño estructural con una subrasante natural  
sub-sector 2.*

N°	Actividades	P.U.	Cantidad	Total
1	Re conformación de la capa sub-base (Ripio existente)	13.12	3423.60	44931.98
2	Conformación de la capa-base	167.01	3423.60	571783.48
3	Imprimación bituminosa	24.56	22824	560524,97
4	Carpeta asfáltica E=5 cm	65.20	1141.20	74409.81
Presupuesto total (Bs)				1.251.650.24

*Fuente: Elaboración propia.*

Como en este sub tramo solo se necesita base y una capa de asfáltica el presupuesto se presenta en la siguiente tabla, este tramo 2 tiene una longitud de 3170m con lo cual se realizó el presupuesto general.

*Tabla ;Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento..94:  
Presupuesto general para el diseño estructural para todo el tramo*

N°	Paquete estructural	Sub-tramo 1 y 3	Sub-tramo 2	Total
1	c/subrasante sin mejorar	2.142.873.09	1.251.650.24	3.394.523.33
2	c/subrasante mejorada (suelo)	1.987.963.22	1.251.650.24	3.239.613.46
3	c/subrasante mejorada (cal)	2.400.954.09	1.251.650.24	3.652.604.33
4	c/subrasante mejorada (cemento )	2.490.091.89	1.251.650.24	3.741.742.13

*Fuente: Elaboración propia.*

## CAPÍTULO IV

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### CONCLUSIONES

- Se pudo ubicar un tramo carretero de bajo volumen de tráfico donde se realizó un aforo para poder cuantificar el tránsito de vehículos que circulan por la zona, en este tramo carretero se realizó la aplicación práctica de la investigación propuesta en la presente tesis.
- Con la evaluación de la subrasante se pudo identificar los suelos a lo largo del tramo carretero los cuales son A-6(7), A-4(1), A-2-4(0), A-7-5(13) y A-6(6), con una estabilización mecánica de suelo-suelo se realizó el mejoramiento las propiedades de los suelos.
- Para encontrar los diferentes porcentajes que lleguen a ser los óptimos en el mejoramiento de los diferentes suelos se utilizó el método gráfico para la mezcla de dos suelos.
- Con un porcentaje óptimo encontrado de 55% de un A-2-4(0) se mejoró al suelo A-6(7), llevándolo a un A-4(2) llegando a una plasticidad de 9.90%, una densidad máxima de  $1.91 \text{ gr/cm}^3$ , humedad óptima de 10.63% pudiendo alcanzar un CBR de 7.00% , haciendo que la subrasante en este tipo de suelos pase de insuficiente a regular.
- Mediante el porcentaje 80% del suelo A-2-4(0), se modificó el suelo A-4(1) para llevarlo a uno similar al material con el que se estabilizó, llegando a tener las siguientes propiedades la mezcla, un índice de plasticidad de 5.90% , densidad máxima de  $1.98 \text{ gr/cm}^3$ , contenido de humedad óptimo de 9.96% y llegando a un CBR de 13.50% en este sector con esta combinación pasó de ser una subrasante regular a una calidad de buena.
- En el porcentaje óptimo encontrado para mejorar el suelo A-7-5(13), es de 77% de un A-4-2(0), es el porcentaje con el cual se llegó a tener un suelo A-4(2) el cual tiene los siguientes valores, plasticidad de 10.20%, densidad máxima de  $1.90 \text{ gr/cm}^3$ , contenido de humedad de 10.92% un CBR de 6.90%.
- Un suelo A-6(6) para llevarlo a un A-4, el porcentaje óptimo es de 50% de material A-2-4(0), la combinación tiene las siguientes propiedades índice de

plasticidad 9.80%, densidad máxima de 1.910 gr/cm<sup>3</sup>, contenido de humedad óptimo de 10.71% un valor de CBR de 7.10%.

- Con los porcentajes encontrados se llegó a mejorar los suelos de la subrasante a una calidad regular ya que la incidencia del tráfico en la solicitaciones esfuerzo hacia el terreno de la subrasante es muy baja por la poca intensidad de tránsito.
- Con los porcentajes encontrados para el mejoramiento de la subrasante influirá para la estructura de la capa base y sub base sean las adecuadas en algún momento cuando se pretenda pavimentar esta vía.
- Para este trabajo se utilizó el suelo A-2-4(0) existente en la subrasante para mejorar los A-6(7), A-6(6), A-7-5(15), A-4(1), la utilización de este tipo de suelo se justifica por que se encuentra en la misma subrasante esto implica no tener que buscar en bancos de préstamo y eliminando el gasto económico que representaría el transporte, cumpliendo con uno de los aspectos que se buscan en este tipo de carreteras.
- Se realizó un análisis técnico-económico en el mejoramiento de la subrasante, estabilizada con suelo-suelo, suelo-cal, suelo cemento, siendo más económico el mejoramiento suelo-suelo.
- Se realizó un cálculo del espesor de la subrasante mejorada siendo el espesor de 30 cm el más crítico ubicado en el sector donde encuentra el suelo A-7-5(13).
- Se realizó un cálculo estructural del paquete reutilizando el material ripiado para una capa sub-base con lo cual el costo del paquete seria de menor costo.

## **RECOMENDACIONES**

- En suelos de más alta plasticidad se recomienda el uso de un porcentaje más alto del material con el que se va estabilizar debido a la presencia de una gran cantidad de finos.
- Se recomienda el uso en ciertos porcentajes el suelo natural de la subrasantes en el mejoramiento del tramo, lo cual en el aspecto económico representa un ahorro significativo en este tipo de carreteras que son de bajo presupuesto ya que en muchos casos los suelos naturales de una carretera son reemplazados por uno de mejor calidad.
- Se sugiere para este tipo de carreteras lo sondeos se puedan realizar a distancias entre 500 m de separación siempre que los suelos no tengan una gran variación a lo largo del tramo, si las condiciones topográficas o del trazo, muestran por

ejemplo en el corte o terraplén; o la naturaleza en los suelos del terreno evidencia un variación significativa de sus características se deben realizar más estudios que verifiquen estos cambios.

- Se recomienda utilizar el Proctor modificado T-180 para determinar la densidad seca máxima y la humedad optima de los suelos debido a que representa de manera más adecuada las condiciones de compactación con maquinaria pesada la subrasante.
- La subrasante para alcanzar los valores deseados deberán compactarse a un mínimo del 95% de la densidad máxima seca del ensayo del Proctor modificado
- La utilización del ensayo equivalente de arena como un indicativo de la plasticidad de los suelos ya que es un método más rápido para determinar esta propiedad de los suelos.
- La determinación la presencia o no de suelos orgánicos, suelos expansivos, rellenos sanitarios, de basura, etc., en cuyos pozos deben ser más profundos delimitando estos sectores como subrasante pobre o inadecuada que requerirá un mejoramiento.
- La utilización de penetrómetro dinámico de cono (PDC) como alternativa para determinar el valor del CBR mediante ecuaciones correlativas existentes, ya que es una forma más rápida y sencilla de determinar la resistencia del suelo.