

“Año de la consolidación del Mar de Grau”

**UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL**



**TESIS**

**“ESTABILIZACIÓN DE SUELOS COHESIVOS POR MEDIO DE ADITIVOS (Eco Road 2000) PARA PAVIMENTACIÓN EN PALIAN – HUANCAYO - JUNIN.”**

**PRESENTADO POR:**

**Bach. DE LA CRUZ GUTIERREZ, Lizeth Mercedes.**

**Bach. SALCEDO ROJAS, Kaite Karen.**

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

**HUANCAYO – PERU**

**2016**

# HOJA DE CONFORMIDAD DEL JURADO

---

Dr. RUBÉN DARÍO TAPIA SILGUERA  
PRESIDENTE

---

-----  
JURADO

---

-----  
JURADO

---

-----  
JURADO

---

Mg. MIGUEL ANGEL CARLOS CANALES  
SECRETARIO DOCENTE

**ASESOR:**

**ING. DIONICIO MILLA SIMÓN.**

## **DEDICATORIA**

Este trabajo lo dedico a mis abuelos, por sus ganas de superación, a mis padres por haberme educado y orientado en el camino de la vida, teniendo como meta realizarme como una persona íntegra llena de valores morales y éticos.

De la misma forma a mi hermana porque día a día estuvo constante con el avance del presente proyecto, y a mi sobrino y prima por su alegría constante, demostrando que cada día es un nuevo avance en el aprendizaje.

A mi tía Vilma, porque cada día me demostró que en la vida hay cosas mucho más difíciles de afrontar pero con esfuerzo, constancia y mucha fe se superan.

A kaite, Diana, Ekatarina por su apoyo contante tanto en situaciones difíciles como fáciles y los consejos que nos dieron y los ánimos de seguir adelante pese a cualquier obstáculo que se nos presentara en el camino.

**Lizeth Mercedes De La Cruz Gutiérrez**

A Dios Padre por darme fuerzas y llenarme de vida.

A mis queridos padres Enrique y Margot por ser la razón de mi vida, por su inmenso amor, por la confianza y paciencia que tuvieron en todo momento de mi crecimiento como persona íntegra y profesional.

A mí tía Irma que es como una segunda mamá para mí, por sus consejos y buenos deseos.

A mí hermano Dyvis y cuñada Lucila que siempre me dieron ánimos para continuar en mis proyectos de vida.

A Ekatarina, Dianita, Mexita por el apoyo y la gran amistad incondicional que creció en nosotros.

A los Ingenieros Huamaní Salazar y Milla Simón que gracias a su humildad de compartir con nosotras sus conocimientos nos ayudaron a encauzar nuestro proyecto de tesis.

**Kaite Karen Salcedo Rojas.**

## **INDICE**

<b>RESUMEN .....</b>	<b>11</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>13</b>
<b>CAPITULO I.....</b>	<b>15</b>
1.1. Planteamiento del problema: .....	15
1.2. Formulación del problema: .....	16
1.3. Objetivos: .....	16
1.4. Justificación: .....	17
1.5. Referencia teórica:.....	19
1.6. Construcción del marco teórico:.....	23
1.7. Hipótesis:.....	51
1.8. Variables:.....	51
1.9. Marco metodológico:.....	52
1.10. Método de investigación: .....	52
1.11. Población y muestra:.....	52
1.12. Técnicas de investigación: .....	53
<b>CAPÍTULO II.....</b>	<b>56</b>
2.1. Bases teóricas del aditivo eco road 2000: .....	56
<b>CAPITULO III.....</b>	<b>78</b>
3.1. Exploración de campo y clasificación de suelos:.....	78
3.2. MTC E 115/ NTP 339.141. Metodo de ensayo para la compactacion del suelo en laboratorio utilizando una energia modificada (2700 kn-m/m3 (56000 pie-lbf /pie3)): .....	86

3.3. MTC E 132/ NTP 339.145. Metodo de ensayo de CBR (relacion de soporte de california) de suelos compactados en el laboratorio: .....	90
<b>CAPITULO IV .....</b>	<b>95</b>
4.1. Cuadros de resumen de los ensayos realizados en el laboratorio: ....	95
<b>CAPITULO V .....</b>	<b>118</b>
5.1. Cálculo del paquete estructural para pavimento rígido y flexible: .....	118
5.2. Elaboración de la hoja de presupuesto: .....	125
<b>CAPITULO VI .....</b>	<b>132</b>
6.1. Conclusiones: .....	132
6.2. Recomendaciones: .....	133
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>134</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>137</b>

## CUADROS

CUADRO 1: VARIABLES.....	51
CUADRO 2: RESUMEN DE LAS ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.....	75
CUADRO 3: UBICACIÓN DE CALICATAS (SETIEMBRE, 2014).....	80
CUADRO 4: RELACIÓN DE ENSAYOS DE LABORATORIO.....	80
CUADRO 5: DESCRIPCIÓN DE LOS SUELOS.....	82
CUADRO 6: IDENTIFICACIÓN DE SUELOS DE GRANO FINO.....	83
CUADRO 7: PARA DETERMINAR EL PROCEDIMIENTO O MÉTODO.....	87
CUADRO 8: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO NTP 339.128. ....	96
CUADRO 9: LÍMITES DE CONSISTENCIA NTP 339.129. ....	96
CUADRO 10: RESUMEN DE LAS FRACCIONES GRANULOMÉTRICAS.....	97
CUADRO 11: RESUMEN DE LA CLASIFICACIÓN SUCS Y AASHTO.....	98
CUADRO 12: RESUMEN DE RESULTADOS DE PROCTOR MODIFICADO.....	99
CUADRO 13: RESUMEN DE RESULTADOS DE C.B.R. EN ESTADO NATURAL.....	100
CUADRO 14: RESUMEN DE RESULTADOS DE C.B.R. EN ESTADO NATURAL.....	101
CUADRO 15: RESUMEN DE RESULTADOS DE C.B.R. CON APLICACIÓN DEL ADITIVO.....	102
CUADRO 16: RESUMEN DE RESULTADOS DE C.B.R. CON APLICACIÓN DEL ADITIVO EN CONDICIONES CRÍTICAS.....	104
CUADRO 17: RESUMEN DE LAS CALICATAS ESTABILIZADAS PARA SUB BASE Y SUB RASANTE..	116
CUADRO 18: NÚMERO DE CALICATAS PARA EXPLORACIÓN DE SUELOS.....	14
CUADRO 19: CRITERIOS PARA DETERMINAR LA ANGULOSIDAD.....	15
CUADRO 20: CRITERIOS PARA DETERMINAR LA FORMA DE LAS GRAVAS.....	15
CUADRO 21: CRITERIOS PARA DETERMINAR LAS CONDICIONES DE HUMEDAD.....	16
CUADRO 22: CRITERIOS PARA DETERMINAR LA CONSISTENCIA.....	16
CUADRO 23: CRITERIOS PARA DETERMINAR LA ESTRUCTURA.....	16
CUADRO 24: CRITERIOS PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA EN ESTADO SECO.....	17
CUADRO 25: CRITERIOS PARA DETERMINAR LA DILATACIÓN.....	17
CUADRO 26: CRITERIOS PARA DETERMINAR LA TENACIDAD.....	17
CUADRO 27: CRITERIOS PARA DETERMINAR LA PLASTICIDAD.....	18
CUADRO 28: CRITERIOS PARA IDENTIFICAR LOS SUELOS INORGÁNICOS.....	18

## FIGURAS

FIGURA 1: AGUA ABSORBIDA EN LA ESTRUCTURA DEL SUELO.....	64
FIGURA 2: ELIMINACIÓN DEL AGUA ABSORBIDA EN EL SUELO.....	65
FIGURA 3: UBICACIÓN DEL PROYECTO.....	79
FIGURA 4: ESTRATIGRAFÍA DE UN SUELO.....	81
FIGURA 6: HERRAMIENTAS A USAR.....	89
FIGURA 5: MATERIAL TAMIZADO.....	89
FIGURA 7: INSTRUMENTOS PARA EL ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO.....	89



FIGURA 8: COMPACTACIÓN DEL MATERIAL.....	89
FIGURA 9: MAQUINA DE CARGA.....	91
FIGURA 10: MOLDES SUMERGIDOS.....	92
FIGURA 11: MOLDES DE 6" Ø.....	92
FIGURA 12: VÁSTAGO.....	93
FIGURA 13: PESAS.....	93
FIGURA 14: DIAL Y TRÍPODE.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

## GRÁFICOS

GRÁFICO 1: C.B.R. EN ESTADO NATURAL.....	100
GRÁFICO 2: CALICATA NÚMERO 01.....	105
GRÁFICO 3: CALICATA NÚMERO 02.....	106
GRÁFICO 4: CALICATA NÚMERO 03.....	107
GRÁFICO 5: CALICATA NÚMERO 04.....	108
GRÁFICO 6: CALICATA NÚMERO 05.....	109
GRÁFICO 7: CALICATA NÚMERO 06.....	110
GRÁFICO 8: CALICATA NÚMERO 07.....	111
GRÁFICO 9: CALICATA NÚMERO 08.....	112
GRÁFICO 10: CALICATA NÚMERO 09.....	113
GRÁFICO 11: CALICATA NÚMERO 10.....	114
GRÁFICO 12: CALICATA NÚMERO 11.....	115
GRÁFICO 13: PORCENTAJE DE INCIDENCIA DE LAS COMBINACIONES (LT/M3).....	117
GRÁFICO 14: COMPARACIÓN DE PRESUPUESTOS PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES.....	129
GRÁFICO 15: PORCENTAJE DE INCIDENCIA CON RESPECTO AL COSTO P.F.....	129
GRÁFICO 16: COMPARACIÓN DE PRESUPUESTOS PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS.....	130
GRÁFICO 17: PORCENTAJE DE INCIDENCIA CON RESPECTO AL COSTO P.R.....	131

## HOJA DE DISEÑO

HOJA DE DISEÑO 1: PARA CALCULAR LOS ESPESORES DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE EN UN SUELO NATURAL.....	120
HOJA DE DISEÑO 2: PARA CALCULAR LOS ESPESORES DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE USANDO EL ADITIVO Eco ROAD 2000.....	121
HOJA DE DISEÑO 3: PARA CALCULAR LOS ESPESORES DE UN PAVIMENTO RÍGIDO EN UN SUELO NATURAL.....	123
HOJA DE DISEÑO 4: PARA CALCULAR LOS ESPESORES DE U PAVIMENTO RÍGIDO USANDO EL ADITIVO Eco ROAD 2000.....	124

## HOJA DE PRESUPUESTO

HOJA DE PRESUPUESTO 1: DE PAVIMENTO FLEXIBLE – SIN EL USO DEL ADITIVO Eco ROAD 2000.....	125
HOJA DE PRESUPUESTO 2: DE PAVIMENTO FLEXIBLE - CON EL USO DEL ADITIVO Eco ROAD 2000.....	125
HOJA DE PRESUPUESTO 3: DE PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA AV. LA VICTORIA (SE ESTÁ EJECUTANDO). ....	126
HOJA DE PRESUPUESTO 4: DE PAVIMENTO RÍGIDO - SIN EL USO DEL ADITIVO Eco ROAD 2000.....	127
HOJA DE PRESUPUESTO 5: DE PAVIMENTO RÍGIDO - CON EL USO DEL ADITIVO Eco ROAD 2000.....	127
HOJA DE PRESUPUESTO 6: DE PAVIMENTO RÍGIDO - AV. LA VICTORIA. ....	128

## TABLAS

TABLA 1: CARTA DE FLUJO PARA LA CLASIFICACIÓN DE SUELOS DE GRANO FINO (50% O MÁS PASA LA MALLA N°200). ....	19
TABLA 2: CARTA DE FLUJO PARA LA CLASIFICACIÓN DE SUELOS DE GRANO GRUESO (MÁS DEL 50% ES RETENIDO EN LA MALLA N°200). ....	19
TABLA 3: CARTA DE PLASTICIDAD DE LA NTP 339.134. ....	19
TABLA 4: CLASIFICACIÓN DE SUELOS Y MEZCLADOS DE SUELO - AGREGADO. ....	19

## RESUMEN

La presente investigación da un marco general de la problemática local en las técnicas constructivas en pavimentos, y por ello se vienen proponiendo nuevas alternativas gracias al avance de la tecnología, se vienen creando productos que simplifican la construcción de los pavimentos.

Sin embargo, se han presentado en el mercado comercial una gran variedad de productos que mejoran el comportamiento de los suelos, de los cuales estos son muy prometedores en sus especificaciones técnicas presentando su alta eficiencia con cualquier variedad de tipos de suelos.

Entre la variedad de empresas que fabrican los estabilizadores, vimos oportuno escoger a la empresa Eco Road ya que dicha entidad estaría ingresando recién al mercado de Junín, ésta entidad produce el aditivo llamado Eco Road 2000 que sirve para la estabilización de suelos.

Por lo tanto el objetivo de la presente tesis es demostrar mediante diversos estudios, si lo mencionado en la especificación técnica de este producto elegido cumple con la dosificación (1 litro por 15 m<sup>3</sup>), ver en qué porcentaje aumenta la resistencia del suelo

(C.B.R), ya sea en condiciones óptimas y críticas, y por último realizar una evaluación presupuestal.

Para realizar los diversos estudios acudimos a Normas de la MTC que se basa en las Normas Técnicas Peruanas, MTC y ASTM por consiguiente se requirió el uso de un laboratorio que cuente con los equipos necesarios para realizar los ensayos de suelos, también fue necesario la utilización de software para elaboración del presupuesto (S10 2005).

## INTRODUCCIÓN

La presente tesis va a tratar exclusivamente de demostrar si este aditivo cumple con lo que indica en sus especificaciones técnicas.

Por eso vimos por conveniente buscar un lugar que este conformado por material limoso y arcilloso, y optamos por el sector de Palian – Huancayo Junín para así poder hacer los estudios y comprobar cuanto es que mejora sus propiedades físicas y mecánicas del suelo.

Las fuentes bibliográficas provienen de libros dedicados a estudios de la mecánica de suelos y a normas que rigen sobre los ensayos de laboratorio correspondientes al tema de investigación (suelos), como son las normas técnica peruana (NTP) y MTC (manual de carreteras).

La presente tesis de investigación presenta los siguientes capítulos:

En el capítulo I se presenta el planteamiento de investigación, el problema, los objetivos, la justificación y también se describen los aspectos metodológicos.

En el capítulo II se presenta el marco teórico de toda la información básica sobre los métodos de estabilización de suelos, sobre el aditivo Eco Road 2000, y por último

todo sobre las normas que se usaron para realizar los ensayos necesarios para la presente tesis de investigación.

En el capítulo III resumen de todos los ensayos realizados en el laboratorio de suelos.

En el capítulo IV se realizó el análisis e interpretación de datos por medio de gráficos estadísticos obteniendo la data para poder elaborar el cálculo y presupuesto de la estabilización de suelos.

En el capítulo V se desarrolla el diseño de pavimento flexible y rígido, tomando en consideración dos estados: suelo natural y un suelo estabilizado con aditivo Eco Road 2000, sucesivo a esto, se elabora el presupuesto de los mismos.

Así mismo en el capítulo VI se da a conocer las conclusiones y recomendaciones del proyecto de tesis.

## **CAPITULO I**

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA:**

Con el transcurso del tiempo, en la zona urbana de Huancayo se ha ido incrementando el parque automotor y esto ha conllevado al mejoramiento vial ya sea trochas carrózales, pavimentos rígidos y pavimentos flexibles lo que generó el uso desmedido de materiales para la conformación del paquete estructural del pavimento (mejoramiento de sub rasante, sub base y base) de igual manera se hacen grandes movimientos de tierra para ser reemplazado por un material mejor causando mayores gastos en la utilización de maquinarias, obtención del material (material granular) y eliminación de material (desmonte), en consecuencia muchas empresas ligadas a la construcción civil crearon distintos tipos de aditivos que mejoren las propiedades físicas y mecánicas de los suelos mediante una reacción química (estabilización), sin embargo, no todos estos aditivos funcionan cómo lo especifican o al menos no en su cien por ciento y es por eso que está tesis se basa en realizar diversos ensayos para verificar la influencia del aditivo en las propiedades físicas y mecánicas de un suelo cohesivo.

## **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA:**

### **1.2.1. Problema Principal**

¿Cómo influye el aditivo Eco Road 2000 en las propiedades de los suelos cohesivos en el anexo de Palian - Huancayo - Junín?

### **1.2.2. Problemas específicos**

- ¿Cómo saber si la dosificación patrón del aditivo satisface la estabilización de los suelos cohesivos?
- ¿Cuánto sería la influencia del aditivo en el mejoramiento de la resistencia de los suelos cohesivos (C.B.R)?
- ¿Cuál es la ventaja económica en la aplicación del aditivo en los suelos cohesivos en el anexo de Palian - Huancayo - Junín?

## **1.3. OBJETIVOS:**

### **1.3.1. Objetivo general:**

Evaluar la influencia del aditivo Eco Road 2000 en las propiedades de los suelos cohesivos en el anexo de Palian - Huancayo - Junín.

### **1.3.2. Objetivos específicos:**

- Demostrar con diferentes dosificaciones si el dato patrón de las especificaciones técnicas del aditivo son superables o insuperables.



- Determinar la influencia en el mejoramiento de la resistencia (C.B.R) de los suelos estabilizados con el aditivo.
- Determinar las ventajas económicas en la aplicación del aditivo en los suelos cohesivos en el anexo Palian - Huancayo - Junín.

## **1.4. JUSTIFICACIÓN:**

### **1.4.1 Justificación Teórica:**

La información adquirida y procesada servirá de sustento para ésta y otras investigaciones similares, siendo un aporte importante a la ingeniería de transportes en la aplicación de aditivos para la estabilización de suelos cohesivos.

En el sector de Palian se viene ejecutando la construcción de pavimentos, las cuales se están realizando de forma típica, es decir no haciendo uso de aditivos estabilizadores de suelos, por consiguiente se realizaron movimientos de tierras para reemplazar el suelo con material granular. Para la aplicación del aditivo se debe tener en consideración las especificaciones técnicas, ya que es una información muy importante la cual deberá ser comprobada y así obtener datos certeros.

Por lo tanto en la tesis se usaran: las normas técnicas peruanas, MTC y el manual de carreteras (suelos, geología, geotecnia y pavimentos) porque son necesarias para la comprobación de datos.

#### **1.4.2. Justificación Práctica:**

La presente investigación trata sobre como demostrar la influencia del aditivo ECO ROAD 2000 en las propiedades de los suelos cohesivos, por consiguiente se realizaran la zonificación y ubicación de las calicatas a estudiar en el Anexo de Palian – Huancayo, así también se hará uso del Manual de Carreteras ya que este es más completo y específico frente a la norma CE.010 Pavimentos urbanos, seguido a esto se realizaran los diferentes ensayos en el laboratorio como son: Clasificación de Suelos, para poder determinar el porcentaje de grava, arena y finos que contiene cada muestra (calicatas) lo cual nos permitirá saber con qué porcentaje del material fino reacciona mejor el aditivo, Luego se realizan los ensayos de Proctor Modificado (NTP 339.141) y C.B.R (NTP 339.145) lo cual nos permitirá hacer una comparación entre la resistencia (CBR) de un suelo natural con un suelo estabilizado con el aditivo, y de esta manera poder evaluar la influencia de la aplicación del aditivo Eco Road 2000 en los suelos cohesivos del anexo de Palian.

##### **1.4.2.1. Conveniencia:**

El desarrollo de la presente investigación es conveniente, en cuanto al propósito de la ingeniería de transporte, académico, social y económico, ya que servirá en gran medida como la alternativa de verificación y aplicable en la elaboración de

proyectos viales de pavimentos en el sector de Palian - Huancayo.

#### **1.4.2.2. Relevancia Social:**

La presente investigación contribuirá de manera significativa a los profesionales de la ingeniería de transportes, siendo una opción en la aplicación estructural de los pavimentos de la zona urbana del sector Palian - Huancayo.

### **1.5. REFERENCIA TEÓRICA:**

#### **1.5.1. Antecedentes:**

##### **1.5.1.1. Antecedentes Nacionales:**

a) El bachiller Carlos Alberto Gutiérrez Montes de la Universidad Ricardo Palma en el año 2010 sustentó su tesis: ESTABILIZACIÓN QUÍMICA DE CARRETERAS NO PAVIMENTADAS EN EL PERÚ Y VENTAJAS COMPARATIVAS DEL CLORURO DE MAGNESIO (BISCHOFITA) FRENTE AL CLORURO DE CALCIO, con la finalidad de lograr el título profesional en ingeniería civil de pavimentos en ingeniería de transportes, para ello el investigador se basó en la comparación del cloruro de calcio y el cloruro de magnesio, por lo cual su investigación concluye en que:

El cloruro de magnesio hexahidratado es una sal muy higroscópica (H.R=32%) por lo cual funcionaría muy bien en regiones con climas secos; Por consiguiente no es viable para la costa del Perú, ya que se sobre hidrataría el suelo convirtiéndolo en muy resbaladizo.

El cloruro de calcio con su H.R=42% se adecua mejor a las condiciones climáticas del Perú.

Para el cloruro de magnesio se necesitan altas cantidades para tener altas concentraciones que a comparación del cloruro de calcio no sucede así.

#### **1.5.1.2. Antecedentes Internacionales:**

- a) El ingeniero diego Wilfredo Alfonso Valle Áreas, de la Universidad Politécnica de Madrid Facultad de Ingeniería y Morfología del Terreno en el año 2010, ha presentado su Tesis: “ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS PLÁSTICOS CON MINERALIZADORES EN AMBIENTES SULFATADOS O YESÍFEROS”, para optar el título de Master en Ingeniería - Geotecnia, su investigación consistió en buscar el máximo aprovechamiento del terreno en presencia de sulfatos solubles y yesos en la construcción de terraplenes y fondos de desmotes con métodos de estabilizaciones adecuadas.

También se analizó cuatro métodos experimentales desarrollados por los investigadores de la universidad de Arlington, Texas, estabilización con cenizas volantes bajas en calcio clase F; estabilización con cemento sulfato resistente, tipo V; estabilización con escorias granuladas de alto horno; estabilización con cal mezclada con fibras fibriladas de polipropileno.

Se analizó además un producto comercial, actualmente no comercializado en España, RBI-81, con características mineralizadoras.

- b)** El Bachiller Jairo Roldán de Paz, de la Universidad San Carlos de Guatemala Facultad de Ingeniería Civil en el 2010 ha presentado su trabajo: “ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CLORURO DE SODIO (NaCl) PARA BASES Y SUB BASES”, para optar el título en Ingeniería Civil, en las cuales su investigación consistió en la tratamiento adecuado de suelos para intensificar sus propiedades físicas y mecánicas, ya que en algunas regiones de Guatemala existen suelos que no son aptos para construir sobre ellos es por eso que es necesario recurrir a la estabilización de suelos con algunos métodos que representen un costo adicional.

En algunos casos, las construcciones de las bases y sub bases para carreteras están expuestas a un clima cálido

extremo, lo cual conlleva que la humedad necesaria para obtener una densificación se evapore.

El cloruro de sodio (NaCl) es un elemento que ayuda a aumentar el tiempo en el cual los suelos pierden humedad. Por ser higroscópico absorbe la humedad del ambiente y crea una capa blanquecina en la parte superior que funciona como una barrera para evitar que la humedad contenida se evapore rápidamente.

Al agregar el cloruro de sodio al suelo, se incrementa la densidad seca máxima y se reduce la humedad óptima, se obtiene resultados favorables para los porcentajes de CBR, los cuales aumentan con porcentajes de NaCl no mayores al 2% en condiciones críticas. Sin embargo, los mejores resultados se observan cuando se pierde la humedad y se incrementa el contenido de sal en el suelo, ya que se obtiene una cimentación firme con la mezcla suelos-cloruro de sodio. Los materiales analizados fueron arena limosa color beige (selecto) y arena caliza, en ambos materiales se obtuvieron resultados positivos, sin embargo el selecto reaccionó mejor con el estabilizante.

## **1.6. CONSTRUCCIÓN DEL MARCO TEÓRICO:**

### **1.6.1. Estabilización De Suelos Para Pavimentos.**

Cuando un suelo presenta resistencia suficiente para no sufrir deformaciones ni desgastes inadmisibles por la acción del uso o de los agentes atmosféricos y conserva además esta condición bajo los efectos climatológicos normales en la localidad, se dice que el suelo es estable.

El suelo natural posee a veces la composición granulométrica y la plasticidad así como el grado de humedad necesario para que, una vez apisonado, presente las características mecánicas que lo hacen utilizable como firme de un camino.

Los métodos empleados en la antigüedad para utilizar los suelos en la construcción eran empíricos y como las demás actividades artesanales se transmitían de generación en generación. Los conocimientos en la actualidad sobre este campo se basan principalmente en estudios sistemáticos con fundamento científico corroborado mediante la experimentación.

En general puede decirse que todos los suelos pueden ser estabilizados, pero si la estabilización ha de lograrse por aportaciones de otros suelos o por medios de otros elementos (por ejemplo cemento, cal, cloruro de sodio), el costo de la operación puede resultar demasiado alto si el suelo que se trata de corregir no posee determinadas condiciones.

Entre las aplicaciones de un suelo modificado o estabilizado se encuentran la mejora de los suelos granulares susceptibles a las heladas y el

tratamiento de los suelos limosos y/o arcillosos para reducir los cambios de volumen.

### **1.6.2. Estabilización de Suelos.**

Llamamos estabilización de un suelo al proceso mediante el cual se someten los suelos naturales a cierta manipulación o tratamiento de modo que podamos aprovechar sus mejores cualidades, obteniéndose un suelo firme, estable, capaz de soportar los efectos del tránsito y las condiciones de clima más severas.

Se dice que es la corrección de una deficiencia para darle una mayor resistencia al terreno o disminuir su plasticidad.

#### **1.6.2.1. Estabilización Mecánica.**

Este se utiliza para mejorar el suelo produciendo cambios físicos en el mismo. Hay varios métodos como lo son:

Mezclas de Suelos: este tipo de estabilización es de amplio uso, pero por si sola no logra producir los efectos deseados, necesitándose siempre de por lo menos la compactación como complemento. Por ejemplo: los suelos de grano grueso como las grava-arenas tienen una alta fricción interna lo que lo hacen soportar grandes esfuerzos, pero esta cualidad no hace que sea estable como para ser firme de una carretera ya que al no tener cohesión sus partículas se mueven libremente y con el paso de los vehículos se pueden separar e incluso salirse del camino.



Las arcillas, por lo contrario, tienen una gran cohesión y muy poca fricción lo que provoca que pierdan estabilidad cuando hay mucha humedad. La mezcla adecuada de estos dos tipos de suelo puede dar como resultado un material estable en el que se puede aprovechar la gran fricción interna de uno y la cohesión del otro para que las partículas se mantengan unidas.

#### **1.6.2.2. Estabilización Química.**

Se refiere principalmente a la utilización de ciertas sustancias químicas patentizadas y cuyo uso involucra la sustitución de iones metálicos y cambios en la constitución de los suelos involucrados en el proceso.

#### **1.6.2.3. Estabilización in situ 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 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.

#### **1.6.2.4. 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 Portland 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 Pórtland, 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.

Ensayos a Realizarse:

- Lo primero que hay que hacer es identificar el suelo. Se deben realizar sondeos para determinar los diferentes tipos de suelos, ya que cada tipo requerirá diferentes dosificaciones de cemento.
- Determinación del contenido mínimo de cemento y la humedad óptima de compactación, con lo siguiente: Se toma una muestra de suelo, se seca y se pulveriza hasta que pase por el tamiz #4 para los suelos finos y se mezcla con diferentes contenidos de cemento (entre 8% y 16% por volumen).
- Para cada contenido de cemento se preparan 4 probetas compactadas a densidad máxima, dos para la prueba de humedad y secado y dos para la prueba de resistencia a la compresión a diferentes edades. Todas se dejan fraguar en cámara fría por 7 días.
- Pasados los 7 días, las dos probetas destinadas a la prueba de humedad-secado se sumergen en agua a temperatura ambiente por 5 horas, se sacan y secan al horno a 70°C por 42 horas. Este proceso de inmersión y secado se repite hasta un máximo de 12 veces y luego de cada ciclo una de las probetas se pesa y se le determina el grado de absorción a la otra, se limpia pasándole un cepillo metálico enérgicamente, eliminando todo el material suelto y luego de pesa

obteniéndose el porcentaje de material disgregado después de cada ciclo. Las probetas destinadas a la prueba de compresión se someten a la misma después que éstas tengan de uno a cuatro días de curado, siempre la resistencia debe aumentar con el tiempo.

La dosificación mínima de cemento será:

TIPOS DE SUELO	SUELOS ESTABILIZADOS	SUELO - CEMENTO
A-1 y A-3	3-8	5-8
Límite de A-3 y A-2	5-10	6-10
Límite de A-2 y A-4	7-12	9-14
A-5 y A-6	8-15	No económico
A-7	10-16	

- La pérdida máxima de material disgregado durante los 12 ciclos de inmersión-secado será:
  - 14% para los suelos A-1, A-2-4, A-2-5 y A-3
  - 10% para los suelos A-4, A-5, A-2-6 y A-2-7
  - 7% para los suelos A-6 y A-7
- La resistencia a la compresión debe aumentar con la edad y con el contenido de cemento.
- El cambio volumétrico en cualquier momento de la prueba de humedad-secado no debe ser superior a un 2% del volumen inicial.

- El contenido de humedad en todo tiempo no debe ser mayor que el necesario para llenar los vacíos de la probeta en el momento de ser fabricada.

#### Procedimiento Constructivo:

- Limitación de la Zona de Trabajo:

La zona de trabajo deberá limitarse de acuerdo con la disponibilidad de equipos de compactación, debido a que cada tramo deberá terminarse antes de que la mezcla comience a ganar resistencia.

Se despeja la zona del camino de piedras grandes, plantas y materia orgánica, se excava hasta encontrar terreno firme que servirá de apoyo a la base. La resistencia del cimiento determinada deberá contar con un CBR de al menos 20%.

- Pulverización del Suelo:

Si además de suelo nativo se utiliza suelo de aportación, éste deberá esparcirse sobre la superficie en cantidad suficiente para lograr la proporción adecuada de la mezcla, posteriormente se procede a escarificar y mezclar los materiales, procurando una mezcla homogénea.

Si solo se usa suelo nativo se procede a cortar el material a la profundidad de la capa a estabilizar, para esto se pasa varias veces el escarificador o discos de arado rotatorio.



Si el suelo es arcilloso, presentará resistencia a pulverizarse, por lo que será necesario romper los terrones antes de pulverizarlo; si está muy húmeda formará una masa pastosa difícil de mezclar lo que encarecerá el proceso; y si es arenoso conviene humedecerlo antes de echarle el cemento para que éste no pase por los huecos a la parte inferior en detrimento de la dosificación en el resto de la capa.

En todo caso, el material se reducirá al mínimo tamaño sin romper las partículas ya que los grumos o terrones no tendrán cemento y se convertirán en elementos débiles del firme ya estabilizado.

Una vez pulverizado el suelo se reconstruye el perfil para que quede con las dimensiones dadas antes de la operación.

- **Distribución del Cemento:**

La distribución del cemento se puede hacer mecánicamente, pero la forma más adecuada para lograr una distribución uniforme es haciéndolo manualmente y utilizando el cemento en fundas no a granel.

Conviene comenzar la distribución del cemento a una hora del día en que la temperatura no sea inferior a los 5°C y se espere que vaya en aumento; se hará de tal modo que la cantidad de cemento por unidad de superficie responda aproximadamente a la dosificación establecida.

Si se hacen por sacos, éstos se colocarán en hileras y filas regulares con la separación necesaria para la dosificación. Luego se abren los sacos o fundas y se deposita el cemento en el lugar en que se hallan formando pequeños montones. Como el cemento se agrega de acuerdo a un porcentaje por volumen entonces, podemos determinar el volumen de suelo a estabilizar en cada tramo:

$$V = L \times A \times E$$

Dónde:

V = el volumen del suelo a estabilizar

L = la longitud del tramo

A = el ancho de la franja

E = el espesor de la capa

Conocido el volumen de suelo lo multiplicamos por el porcentaje de cemento y obtenemos el volumen total de cemento, conocida la cantidad de fundas de cemento a usar el área sobre la que se va a distribuir entonces podemos hacer la distribución, colocando las fundas equidistantes una de otra, luego se esparce el cemento de forma uniforme y se procede a mezclar.

- Mezclado Uniforme:

La mezcla deberá ser homogénea y para lograrlo se debe pasar varias veces el escarificador hasta la profundidad

deseada, también se usarán discos rotatorios de arado hasta que se determine un mezclado total.

Hay dos tipos de mezcla: Mezcla en Seco y Mezcla Húmeda.

La Mezcla Seca consiste en una vez distribuido el cemento se procede a mezclarlo con el suelo hasta lograr la homogeneidad requerida. La Mezcla Húmeda es la más usada y es en la que a la mezcla se le adiciona agua.

- Adición del Agua:

El agua es un elemento esencial para hidratar el cemento y para facilitar la compactación, al ésta entrar en contacto con el cemento en poco tiempo se producirá una reacción química y desprendimiento de calor; esto a su vez provocará evaporación del agua incorporada, de modo que para lograr mantener la humedad óptima de compactación a la mezcla se agregará un 3% de agua adicional al porcentaje óptimo obtenido en laboratorio para éste tipo de suelo.

La distribución del agua debe ser uniforme en toda la extensión de la zona cuidándose de que no quede depositada en huecos. Después de esto, se hará una pasada de las herramientas o máquinas de que se disponga para que la mezcla quede removida hasta lograr que sea homogénea comprobándose el contenido de agua para que por defecto o por exceso no difiera de la humedad óptima en más del 10%.

Tras esta operación, como después de cada una de las operaciones parciales se restituye el perfil a las dimensiones previstas.

- **Compactación:**

Inmediatamente se comienza la consolidación de la capa formada hasta lograr una densidad igual cuando menos a la del proctor. La compactación se realiza partiendo de los bordes hacia el centro excepto en las curvas con peralte.

Durante la compactación debe mantenerse el contenido de agua dentro de los límites. Como casi siempre los suelos que se estabilizan son finos, el compactador adecuado es la pata de cabra. Cuando el suelo que se estabiliza es grava-arena, entonces el rodillo adecuado es aquel que cuenta con un rollo vibrador y llantas en el eje motor.

A continuación de la última pasada de la máquina que se emplee es preciso que la niveladora restituya el perfil si éste ha quedado ondulado. En tal caso es preciso humedecer de nuevo el suelo suelto y volver a compactarlo.

- **Terminación:**

Una vez completada la compactación se procede a perfilar la superficie dejando la pendiente transversal o bombeo deseada, luego se da un par de pasadas de un rodillo liso de 3 a 12 tons, dependiendo del tipo de suelo.

- Curado:

El agua es muy importante en el proceso de endurecimiento del cemento; por lo tanto, debemos preservarla evitando su evaporación, para ello, se debe hacer un riego asfáltico en proporción de 0.15 a 0.30gls/m<sup>2</sup>, el cual se puede hacer con RC-2 o emulsión de rompimiento rápido.

Si la capa estabilizadora va a servir a un tránsito ligero o medio entonces se colocará la capa de rodadura que puede consistir en un doble tratamiento superficial. Si va a servir de apoyo a un pavimento de alta calidad se aconseja que el mismo se construya después de que el cemento haya alcanzado un alto grado de resistencia.

#### **1.6.2.5. Estabilización o Mejoramiento con Productos Asfálticos.**

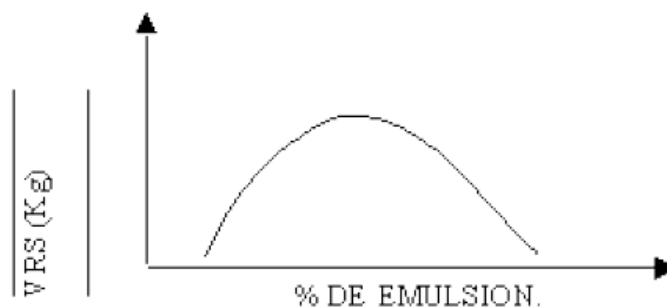
El material asfáltico que se emplea para mejorar un suelo puede ser el cemento asfáltico o bien las emulsiones asfálticas, el primero es el residuo último de la destilación del petróleo. Para eliminarle los solventes volátiles y los aceites y para ser mezclado con material pétreo deberá calentarse a temperaturas que varían de 140 a 160° C, el más común que se emplea en la actualidad es el AC-20. Este tipo de producto tiene la desventaja de que resulta un poco más costoso y que no puede mezclarse con pétreos húmedos.

En las estabilizaciones, las emulsiones asfálticas son las más usadas ya que este tipo de productos si pueden emplearse con pétreos húmedos y no se necesitan altas temperaturas para hacerlo maniobrable, en este tipo de productos se encuentra en suspensión con el agua, además se emplea un emulsificante que puede ser el sodio o el cloro, para darle una cierta carga a las partículas y con ello evitar que se unan dentro de la emulsión; cuando se emplea sodio, se tiene lo que se conoce como emulsión aniónica con carga negativa y las que tienen cloro son las emulsiones catiónicas que presentan una carga positiva, siendo estas últimas las que presentan una mejor resistencia a la humedad que contienen los pétreos.

Se tienen emulsiones de fraguado lento, medio y rápido, de acuerdo al porcentaje de cemento asfáltico que se emplea. Una emulsión asfáltica es una dispersión de asfalto en agua en forma de pequeñas partículas de diámetro de entre 3 y 9 micras.

Este tipo de aglutinantes puede usarse casi con cualquier tipo de material aunque por economía se recomienda que se emplee en suelos gruesos o en materiales triturados que no presenten un alto índice de plasticidad, puede usarse también con las arcillas pero solo le procura impermeabilidad, resultando un método muy costoso, además con otros productos se logra mayor eficiencia y menor costo para los suelos plásticos.

Es importante que el material pétreo que se va a mejorar, presente cierta rugosidad para que exista un anclaje adecuado con la película asfáltica, situación que se agrava si el material pétreo no es afín con el producto asfáltico. Algunos productos asfálticos contienen agua y si esto no se toma en cuenta se pueden presentar problemas muy serios al momento de compactar, la prueba que más comúnmente se emplea en el laboratorio para determinar el porcentaje adecuado de asfalto a utilizar se conoce como "prueba de valor soporte florida modificada" y el procedimiento consiste en elaborar especímenes de pétreos que presentan cierta humedad usando diferentes porcentajes de asfalto, se compactan con carga estática de 11.340 Kg. ( $140 \text{ Kg/cm}^2$ ). Después de esto se pesan y se meten a curar al horno a una temperatura de  $60^\circ \text{ C}$ , se sacan y se penetran hasta la falla o bien hasta que tengan una profundidad de 6.35mm registrándose la carga máxima en Kg., se efectúa una gráfica para obtener el porcentaje óptimo de emulsión y se recomienda que el material por mejorar presente un equivalente de arena mayor de 40% y el porcentaje de emulsión varíe en un porcentaje de 1.



El procedimiento constructivo se desarrolla de la manera siguiente: la capa a mejorar ya tiene que estar completamente terminada. No se debe hacer la estabilización cuando hay mucho viento, menos de 5° C o lluvia. También se puede estabilizar con ácido fosfórico y fosfatos; fosfato de calcio (yeso), resinas y polímeros.

La dosificación depende de la granulometría del suelo, suelos finos requieren mayor cantidad de bitumen, así suelos plásticos muy finos no pueden estabilizarse a un costo razonable debido a la dificultad para pulverizarlos y la cantidad de bitumen exigido. En general, la cantidad de bitumen utilizado varía entre un 4% y un 7% y en todo caso la suma de agua para compactación más el bitumen no debe exceder a la cantidad necesaria para llenar los vacíos de la mezcla compactada.

#### **1.6.2.6. Estabilización con Cloruro de Sodio.**

El principal uso de la sal es como matapolvo en bases y superficies de rodamiento para tránsito ligero. También se utiliza



en zonas muy secas para evitar la rápida evaporación del agua de compactación. La sal común es un producto higroscópico; es decir, es capaz de absorber la humedad del aire y de los materiales que le rodean, de ahí que sea un efectivo matapolvo al mantener la capa con un alto contenido de humedad.

Se puede utilizar en forma de salmuera o triturada. La dosificación es de 150grs/m<sup>2</sup> por cada centímetro de espesor de la capa estabilizada contando con un máximo de 8cms.

Para mezclar es más adecuado el uso de rastras con discos rotatorios. La compactación se puede iniciar en cualquier momento luego de perfilada la superficie con el equipo adecuado al tipo de suelo. Cuando se observe que se ha perdido la sal por efecto del tránsito o las lluvias, la superficie debe rociarse con 450grs de sal por cada metro cuadrado.

#### **1.6.2.7. Estabilización con Cloruro de Calcio.**

Este producto trabaja de forma similar a la sal común, su costo es mayor, pero se prefiere debido al efecto oxidante del cloruro de sodio. En todo caso, el cloruro de calcio ayuda al proceso de compactación y contribuye con la resistencia del suelo, previene el desmoronamiento de la superficie y reduce el polvo.

Se puede utilizar de dos formas:

- En granos regulares o Tipo I

- En hojuelas o pelotillas o Tipo II

La dosificación es de 7 a 10 libras del tipo I o de 5.6 a 8 libras del Tipo II por tonelada de suelo. El mezclado, compactación y terminación son similares a los de la estabilización con cloruro de sodio.

#### **1.6.2.8. Estabilización de Suelos por Escorias de Fundición.**

Las escorias son un subproducto de la fundición de la mena para purificar los metales. Se pueden considerar como una mezcla de óxidos metálicos; sin embargo, pueden contener sulfuros de metal y átomos de metal en forma de elemento. Aunque la escoria suele utilizarse como un mecanismo de eliminación de residuos en la fundición del metal, también pueden servir para otros propósitos, como ayudar en el control de la temperatura durante la fundición y minimizar la re-oxidación del metal líquido final antes de pasar al molde.

La escoria tiene muchos usos comerciales y raramente se desecha. A menudo se vuelve a procesar para separar algún otro metal que contenga. Los restos de esta recuperación se pueden utilizar como balasto para el ferrocarril y como fertilizante. Se ha utilizado como metal para pavimentación y como una forma barata y duradera de fortalecer las paredes inclinadas de los rompeolas para frenar el movimiento de las olas.

En la estabilización de suelos se utiliza comúnmente en carpetas asfálticas para darle mayor resistencia, impermeabilidad y prolongar su vida útil.

Las escorias y sus variedades, resultan un elemento esencial en el proceso de mejorado y construcción de suelos y caminos, agregando valores tales como:

- Accesibilidad en tiempo y lugar.
- Transitabilidad
- Agilidad

Las escorias siderúrgicas están constituidas por productos resultantes de procesos industriales destinados a obtener, en primer lugar el arrabio, y en segundo lugar el acero, hoy consideradas universalmente como una fuente potencial de materias primas artificiales de bajo costo.

#### **1.6.2.9. Estabilización de Suelos con Polímeros.**

El uso de estos materiales en la estabilización de suelos ha tenido por objeto principal, formar una estructura impermeable al agua; ciertas resinas sintéticas tales como las del sistema anilina y furfural de naturaleza orgánica aumentan la resistencia mecánica del suelo mejorando su cohesión.

En algunos casos, la resistencia al esfuerzo cortante se reduce en tanto que la compactación se mejora en forma notable; es así como a estos materiales se les conoce más cómo

“agentes que mejoran la compactación” que como estabilizantes. Un gran número de productos comerciales caen dentro de esta categoría y su efectividad es muy variable, dependiendo del tipo de suelo y los elementos constituyentes del aditivo.

### **1.6.3. Marco Conceptual.**

#### **1.6.3.1. Estabilización.**

Estabilización o mejoramiento de suelos es un conjunto de técnicas que buscan incrementar el desempeño mecánico y la durabilidad de materiales, y que son usadas en múltiples actividades en la ingeniería. Entre las aplicaciones que se destacan encontramos: la construcción de plataformas de cimentación, el mejoramiento del terreno natural, de sub rasantes, de sub base, de base y pavimentos.

#### **1.6.3.2. Suelo.**

Suelo o Terase (del griego) o solum (del latín) se le denomina al conjunto de partículas minerales, producto de la desintegración mecánica o de la descomposición química de las rocas preexistente. El conjunto de partículas presenta dos propiedades esenciales que no puedes ser olvidas por quienes pretendan comprender su comportamiento ingenieril.

### **1.6.3.3. Agregados o Material Granular.**

Material granular, de origen natural o artificial, como arena, grava, piedra triturada.

Además de cumplir los requerimientos de composición, resistencia, durabilidad, estabilidad, los agregados deben tener unos tamaños de partícula, granulometría y formas adecuadas para una estabilización.

### **1.6.3.4. Grava.**

Partículas de roca que pasan la malla de 3 pulg. (75 mm) y son retenidas en la malla N° 4 (4,75 mm), y a su vez tienen las siguientes sub-divisiones:

- Gruesa – pasa la malla de 3 pulg. (75 mm) y es retenida en la malla de  $\frac{3}{4}$  pulg. (19 mm)
- Fina – pasa la malla de  $\frac{3}{4}$  pulg. (19 mm) y es retenida en la malla N°4 (4,75 mm).

### **1.6.3.5. Arena.**

Partículas de roca que pasan la malla N° 4 (4,75 mm) y son retenidas en la malla estándar N°200 (75- $\mu$ m) con las siguientes sub-divisiones:

Gruesa – pasan la malla N°4 (4,75 mm) y es retenida en la malla N°10 (2 mm).

Media – pasa la malla N°10 (2 mm) y es retenida en la malla N°40 (425 -  $\mu\text{m}$ ), y

Fina – pasa la malla N°40 (425 -  $\mu\text{m}$ ) y es retenida en la malla N°200 (75 -  $\mu\text{m}$ ).

#### **1.6.3.6. Arcilla.**

Suelo que pasa la malla estándar N°200 (75 -  $\mu\text{m}$ ) y puede exhibir plasticidad (propiedades plásticas) dentro de un cierto rango de contenido de humedad y que tiene una considerable resistencia cuando está seco. Con propósitos de clasificación, una arcilla es un suelo de grano fino, o la porción de grano fino de un suelo, con un índice plástico igual o mayor que 4, y su ubicación dentro del gráfico de índice plástico versus límite líquido cae en o sobre la línea "A".

#### **1.6.3.7. Limo.**

Suelo que pasa la malla estándar N°200 (75 -  $\mu\text{m}$ ), que es no plástico o muy poco plástico y que exhibe poca o ninguna resistencia cuando se seca al aire. Con propósitos de clasificación, un limo es un suelo de grano fino, o la porción de grano fino de un suelo, con un índice plástico menor que 4 o que su ubicación en el gráfico de índice plástico versus límite líquido cae por debajo de la línea "A".

**1.6.3.8. Arcilla orgánica.**

Una arcilla con suficiente contenido de materia orgánica como para influenciar las propiedades del suelo. Con propósitos de clasificación, una arcilla orgánica es un suelo que podría ser clasificado como una arcilla, excepto que el valor de su límite líquido después del secado al horno es menor que el 75% del valor de su límite líquido antes del secado.

**1.6.3.9. Limo orgánico.**

Un limo con suficiente contenido de materia orgánica como para influenciar las propiedades del suelo. Con propósitos de clasificación, un limo orgánico es un suelo que podría ser clasificado como un limo, excepto que el valor de su límite líquido después del secado al horno es menor que el 75% del valor de su límite líquido antes del secado.

**1.6.3.10. Resistencia.**

Es definida como el máximo esfuerzo que puede ser soportado por el suelo. Dado que está destinado principalmente a tomar esfuerzos de compresión, es la medida de su resistencia a dichos esfuerzos la que se utiliza como índice de su calidad.

#### **1.6.3.11. Polímeros.**

Un polímero es una molécula larga creada por una reacción química de muchas pequeñas moléculas, que una con otra forman largas cadenas. El primer polímero conocido por el hombre, y al cual se le dio un uso fue el látex natural, conocido como hule, (del náhuatl hollín que significa movimiento), producto del sangrado del árbol perteneciente al género de las euforbiáceas conocido como ulcuahuit ó árbol del hule (Castilloa Elástica Cervica).

#### **1.6.3.12. Cal.**

Utilizada generalmente para disminuir la plasticidad y consecuentemente también los cambios volumétricos de un material arcilloso, la forma de más uso es cal hidratada, óxidos o hidróxidos. Es técnicamente muy sencilla y bastante económica.

#### **1.6.3.13. Cemento Portland.**

Producto obtenido por la pulverización del clinker portland con la adición eventual de sulfato de calcio. Se admite la adición de otros productos que no excedan del 1% en peso del total siempre que la norma correspondiente establezca que su inclusión no afecta las propiedades del cemento resultante.



Todos los productos adicionados deberán ser pulverizados conjuntamente con el Clinker.

Utilizado generalmente para suelos arenosos o gravas finas, la mayor ventaja es el incremento de la resistencia, también se puede usar para suelos arcillosos pero implica mayor porcentaje de este.

#### **1.6.3.14. Cloruro de sodio o de calcio (sales).**

Para arcillas y limos, ayudan en la compactación, impermeabilizan, disminuyen los polvos, benefician la resistencia del suelo y el comportamiento de estos ante la congelación, mas sin embargo como la sal es muy soluble es considerada como muy poco durable.

#### **1.6.3.15. Calidad de los suelos.**

La calidad del suelo se refiere a la capacidad de poder resistir cargas a las cuales estará sometida, y se medirá mediante el ensayo de C.B.R

#### **1.6.3.16. Técnica.**

Es la aplicación de las normas para realizar los ensayos de laboratorio (clasificación de suelos, índice de plasticidad, proctor modificado y C.B.R.).

**1.6.3.17. Control del Suelo.**

El control del suelo se realizara mediante ensayos de laboratorio, con los cuales se podrán determinar la clasificación del suelo y su resistencia.

**1.6.3.18. Zonificación.**

Se refiere al hecho de la división del sector de Palian a solo un área de estudio, que vendría a ser solo las calles no pavimentadas.

**1.6.3.19. Aditivos.**

Materiales distintos del agua, de los agregados o del cemento hidráulico, utilizado como componente del concreto, y que se añade a éste antes o durante su mezclado a fin de modificar sus propiedades.

**1.6.3.20. Data.**

Viene a ser las muestras de estudio, en este caso son las muestras extraídas de las diez calicatas del anexo de Palian para realizar los diversos ensayos requeridos para la presente tesis.

## 1.7. HIPÓTESIS:

### 1.7.1. Hipótesis General.

La adición del aditivo Eco Road 2000 influye en las propiedades de los suelos cohesivos en el anexo de Palian - Huancayo - Junín.

### 1.7.2. Hipótesis Específicos

- Mediante ensayos con diferentes dosificaciones del aditivo se comprueba que la dosificación patrón es superable.
- La influencia del aditivo en el mejoramiento de la resistencia de la combinación del suelo con aditivo es superior a la resistencia del suelo natural.
- La ventaja económica en la aplicación del aditivo en los suelos cohesivos en el anexo de Palian - Huancayo - Junín es favorable.

## 1.8. VARIABLES:

Cuadro 1: Variables:

VARIABLES	SEGÚN SU FUNCIÓN	SEGÚN SU NATURALEZA	SEGÚN SU NIVEL DE MEDICIÓN
ADITIVO ECO ROAD	V. Independiente	Cualitativo	Nominal dicotómica
ENSAYO DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS	V. independiente	Cuantitativo	Razón
CBR (usando el aditivo)	V. dependiente	Cuantitativo	Razón

Fuente: Elaboración Propia.

## **1.9. MARCO METODOLÓGICO:**

### **1.9.1. Tipo y nivel de investigación.**

#### **1.9.1.1. Tipo de Investigación.**

El tipo de investigación es explicativo. Cuyo fin es demostrar la eficacia del uso de aditivos en la estabilización de suelos para pavimentos.

#### **1.9.1.2. Nivel de Investigación.**

El nivel de investigación es de carácter descriptivo, analítico y experimental.

## **1.10. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN:**

### **1.10.1. Método científico.**

En el presente trabajo de investigación se hará uso del Método Científico como método general. El cual consiste en un conjunto de técnicas y procedimientos que le permiten al investigador realizar sus objetivos.

## **1.11. POBLACIÓN Y MUESTRA:**

**Población objetivo:** 10 calicatas en Palian – Huancayo - Junín.

**Marco muestra:** Lista de vías no pavimentadas en Palian.

**Tamaño de la muestra:** 10 calicatas

Criterios de inclusión y exclusión para la delimitación poblacional:

- Vías: No pavimentadas.

## **1.12. TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN:**

### **a) Recolección de la información**

Se realizará la identificación del material y tecnología usado en la etapa de exploración de los suelos y aplicación de el aditivo en la estabilización de suelos en Palian – Huancayo – Junín.

La información obtenida en el campo nos ayudara a realizar los estudios necesarios para determinar la estratigrafía del suelo y a su vez realizar la clasificación suelos y otros ensayos importantes; la información obtenida de el aditivo colabora con la aplicación y a su vez con la demostración de la eficiencia para estabilizar un suelo cohesivo.

Una vez aplicada la información ya mencionada en el párrafo anterior se podrá realizar el análisis de los datos obtenidos cumpliendo con los objetivos trazados se podrán obtener conclusiones y recomendaciones concretas.

Además se recolectarán datos existentes de estudios similares, normas (pruebas de laboratorio de suelos) y datos técnicos de el aditivo.

Revisión bibliográfica:

- Tesis realizadas con anterioridad.
- Manual técnico de Eco Road 2000.
- Estudios de suelos de las vías realizadas en la Zona urbana de Palian - Huancayo.

Observación Directa:

Se tiene como principales autores a los investigadores del tema.

- Archivos digitales.
- Tomas fotográficas
- Visita In situ.

Análisis de resultados:

- Prueba de ensayos en laboratorio de suelos (N.T.P).

## **b) Experimentación**

En esta etapa la experimentación se elaborara mediante ensayos de laboratorio haciendo uso del material extraído de las calicatas, luego se procederá a realizar la comparación entre los suelos naturales, suelos estabilizados con aditivo y suelos estabilizados con material granular.

En el cual se tomaran en consideración las normas de la MTC y NTP.

Obtenidas los resultados procederemos a realizar la comparación entre una muestra de material granular frente al uso de aditivos (sub rasante, sub base y base), el cual nos ayudara a verificar la resistencia al corte de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas (CBR).

## **c) Procedimiento y análisis de datos**

Los resultados obtenidos de la experimentación serán programados y expuestos en cuadros descriptivos y aplicativos elaborados en Excel, en función

a ello se proporcionará el uso de la alternativa más adecuado en la estabilización de suelos en obras viales en la ingeniería de transportes.

## **CAPÍTULO II**

### **2.1. BASES TEÓRICAS DEL ADITIVO ECO ROAD 2000:**

#### **2.1.1. Estabilización De Suelos Cohesivos con el aditivo Eco Road 2000.**

Eco Road 2000 altera las propiedades de los componentes de los suelos, proporcionando uno de los métodos más rentables para la construcción y mejoramiento de carreteras reduciendo significativamente los costos de mantenimiento.

##### **2.1.1.1. ¿Qué es Eco Road 2000?**

Es un estabilizador de suelos multienzimático, cuando se aplica al suelo y agregados adecuados y usando las técnicas de construcción correctas.

##### **2.1.1.2. Mecanismo del estabilizador de suelos Eco Road 2000.**

Los suelos no son un material inerte; de hecho, son sustancias químicas y reaccionarán con otros químicos si se presentan ciertas condiciones. Estas reacciones resultan de la



atracción de cargas positivas y negativas en los componentes del suelo y las sustancias químicas. Si pasara algo que altere estos cambios, las reacciones cambian y por tanto cambian las propiedades de los materiales. A fin de entender mejor el mecanismo estabilizador de Eco Road 2000, se presentan los conceptos de sistemas electrolíticos del suelo, presión osmótica de los gradientes y actividad coloidal.

#### **2.1.1.2.1. Sistemas electrolíticos del suelo.**

Muchos agregados y mezclas de rocas trituradas y suelos son conocidos por comportarse como sistemas electrolíticos cuando ocurren intercambios de iones dentro del material. La mayoría de arcillas tiene una estructura molecular con una carga negativa neta. A fin de prevenir la diferencia eléctrica, los cationes (cargados positivamente) son atraídos y se sostienen en los bordes y superficies de las partículas de arcilla. Estos cationes son llamados “cationes intercambiables” porque en la mayoría de casos de un tipo puede ser intercambiado con cationes de otro tipo. Cuando la carga del catión en la estructura de la arcilla es débil, la carga negativa restante atrae a las moléculas de agua polarizada,

llenando los espacios de la estructura de arcilla con el agua ionizado.

#### **2.1.1.2.2. Presión osmótica de los gradientes.**

Los cationes individuales no son capaces de dispersarse libremente en la estructura del suelo debido a las atracciones de la superficie cargada negativamente en las partículas de arcilla. Esta incapacidad de dispersar de manera pareja por toda la solución, crea un gradiente de presión osmótica que trata de ecualizar la concentración de catión. Como consecuencia, se produce un movimiento de humedad de las áreas de concentración de catión alta para alcanzar el equilibrio de concentración del catión.

#### **2.1.1.2.3. Actividad coloidal.**

Los coloides son moléculas amorfas sin estructura cristalina con un tamaño menor a un micrón. Las partículas de este tamaño están fuertemente influenciadas por el Movimiento Browniano causado por un movimiento térmico aleatorio. Los coloides están presentes en altas concentraciones cuando están presentes los suelos arcillosos. Los coloides tienen una carga negativa

neta que permite atraer y transportar cationes libres en la solución electrolítica de suelos, por ende perdiendo el catión cuando pasa cerca de la partícula de arcilla más fuerte, dejando como consecuencia el coloide libre para buscar más cationes libres. Tanto los efectos electroquímicos como físicos influyen este mecanismo.

Los fenómenos físicos están relacionados con el Movimiento Browniano, velocidad de corte laminar y distribución de tamaño de poros.

Los efectos electroquímicos están relacionados a las fuerzas de atracción entre partículas positivas y negativas (Fuerzas de Van der Waals), y a las fuerzas de repulsión entre los iones de misma carga.

El flujo de cationes a través de los depósitos de arcilla proporciona las propiedades al suelo de encogerse e hincharse, cuando una solución estabilizadora se agrega al suelo, la magnitud del efecto depende de las características de una acción particular. En general, existen dos características principales, la valencia del catión o el número de cargas positivas y el tamaño del catión.

El tamaño determina la movilidad del catión: los más pequeños viajarán una distancia mayor a través de la estructura del suelo (el ion de hidrógeno es el más pequeño). Con respecto a la valencia, el ion de hidrógeno es doblemente efectivo afectando la estructura de arcilla ya que aunque tiene una sola carga, el ion de hidrógeno produce un efecto de valencia de dos debido a su alta energía de ionización. Estos cationes de hidrógeno ejercen una tracción más fuerte en las capas de arcilla jalando la estructura del suelo juntas y removiendo la humedad (pérdida de humedad) atrapadas permitidas por los cationes de sodio y potasio.

Esta pérdida de humedad resulta en un reforzamiento de la estructura molecular de la arcilla y también en la reducción del tamaño y plasticidad de la partícula. Así, los cambios en el ambiente de arcilla, desde un tipo de ambiente básico a ácido pueden resultar en un cambio de la estructura molecular del suelo por un largo período de tiempo. Los cationes orgánicos creados por el crecimiento de vegetación también tienen la capacidad de intercambiar cargas con otros iones en la red de arcilla. Algunos de los cationes orgánicos son altos en tamaño igualando el tamaño de las partículas de arcillas más pequeñas. Estos cationes más grandes pueden blanquear una molécula de arcilla completa, neutralizando sus cargas negativas, y por tanto

reducir su sensibilidad a la humedad. Las bacterias del suelo hacen uso de este proceso para estabilizar su ambiente produciendo encimas que catalizan las reacciones entre cationes orgánicos y de arcilla para producir suelo estable.

### **2.1.2. Eco Road 2000 como Estabilizador de Suelos.**

La formulación de Eco Road 2000 es absorbida por la red de arcilla y luego es liberada al intercambiarse con cationes metálicos. Tienen un efecto importante en la red de arcilla, inicialmente haciendo que se expandan y luego se contraigan. Eco Road 2000 también puede ser absorbido por coloides permitiéndoles ser transportados a través del medio electrolítico del suelo. Eco Road 2000 también ayuda a las bacterias del suelo a liberar iones de hidrógeno, resultando en gradientes de pH en las superficies de las partículas de arcilla, que ayudan a romper la estructura de la arcilla.

Eco Road 2000 utiliza una base multi-enzimática. Una enzima es por definición, un catalizador orgánico que acelera una reacción química que de lo contrario ocurriría más lentamente, sin formar parte del producto final.

Los grupos multienzimáticos de Eco Road 2000 combinan con las moléculas orgánicas grandes para formar un intermediario reactivo que intercambia iones con la estructura de arcilla, rompiendo la red y causando un efecto de recubrimiento que evita una posterior absorción de agua y pérdida de densidad. Estas enzimas se regeneran por la reacción y van a

reaccionar nuevamente. Debido a que los iones son grandes, ocurre una pequeña migración osmótica y se requiere un buen proceso de mezclado. La compactación de agregados más el contenido de humedad óptimo por el equipo de construcción produce las densidades altas deseadas, características de la roca sedimentaria (esquistos). La superficie resultante tiene las propiedades de "roca esquistosa" duradera producida en una fracción de tiempo (millones de años) requerida por la naturaleza.

La idea de usar la estabilización de Eco Road 2000 para las pistas fue desarrollada a partir de multienzimas usadas para tratamiento de suelos. Este material es adecuado para la estabilización de suelo pobre para tráfico de carretera. Cuando se añade Eco Road 2000 al suelo, las multienzimas incrementan la capacidad humectante y de adhesión a las partículas del suelo. Estas enzimas permiten que los materiales del suelo se vuelvan más fácilmente humectados y más densamente compactados. También incrementa la adhesión química que ayuda a fusionar las partículas del suelo entre sí, creando una estructura más permanente que sea más resistente al clima, al desgaste y a la penetración del agua.

#### **2.1.2.1. ¿Qué es la Enzima de Estabilización?**

Una estabilización enzimática se suele demostrar con las termitas y las hormigas en América Latina, África y Asia. "Saliva Ant/Saliva de hormigas termitas", llena de enzimas, se utiliza para construir las estructuras del suelo que son muy duras y

compactas. Estas estructuras son conocidas por permanecer firmes a pesar de las temporadas de lluvia tropicales pesadas.

Eco Road 2000 aumenta la acción humectante, lo que permite mayor compactación del suelo. Eco Road 2000 compacta el suelo mediante la formación de enlaces iónicos débiles entre los iones negativos y positivos presentes en la estructura del suelo.

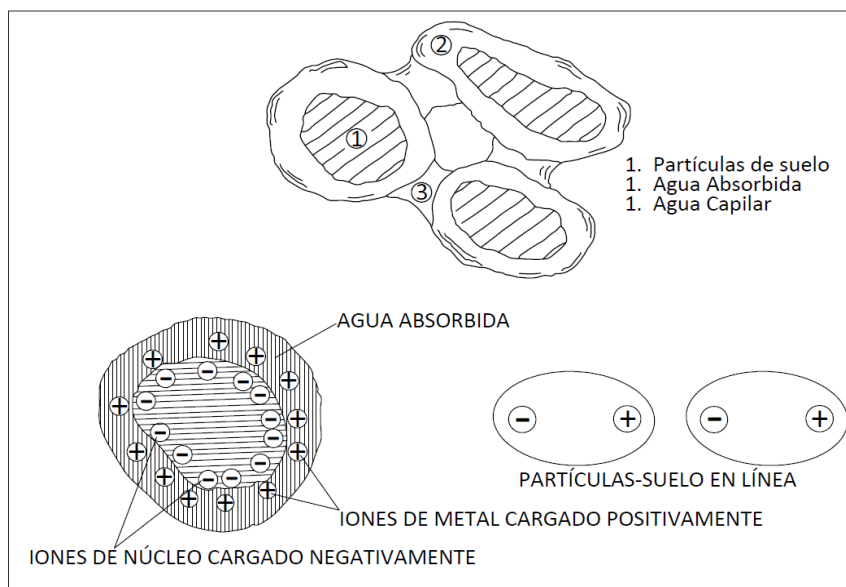
Eco Road 2000 se puede utilizar para estabilizar todo tipo de suelos. Además, da lugar a un suelo con una alta resistencia a las heladas.

Eco Road 2000 es un compuesto orgánico natural derivado de la biomasa del cultivo de plantas y similares a las proteínas que actúan como catalizador; las grandes estructuras moleculares contienen sitios activos que ayudan a la unión molecular y las interacciones. Eco Road 2000 acelera la unión cohesiva de las partículas del suelo y crea una capa permanente compactada. A diferencia de los productos inorgánicos o a base de petróleo que tienen una acción temporal, Eco Road 2000 crea una base y sub-base densa y permanente que se resiste a la penetración del agua, a la intemperie y el desgaste. Normalmente en los métodos de construcción de carreteras, los niveles de compactación logran un rango de 90-95 por ciento,

mientras que con Eco Road 2000 se pueden alcanzar densidades de compactación de hasta 100-105 por ciento. Eco Road 2000 se puede aplicar a la mayoría de los suelos, que contienen un 15% - 25% de los finos cohesivos.

Los efectos básicos de la acción de Eco Road 2000 en la estructura del suelo se pueden resumir de la siguiente manera. Inicialmente, la película de agua absorbida se reduce en gran medida como se muestra esquemáticamente en las figuras 01 y 02.

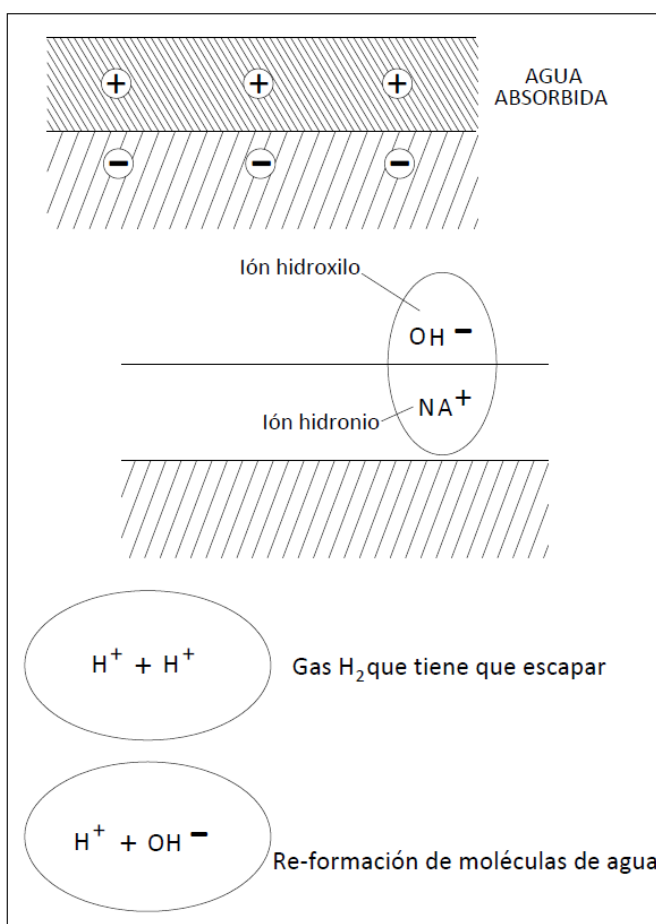
Figura 1: Agua absorbida en la estructura del suelo.



Fuente: Elaboración del manual de Eco Road 2000.



Figura 2: Eliminación del agua absorbida en el suelo.



Fuente: Elaboración del manual de Eco Road 2000.

El problema más difícil se eleva por el agua absorbida en el suelo que se adhiere a toda la superficie de cada partícula de suelo. Esta película de agua que envuelve a las partículas, que en última instancia controlan la expansión y la contracción de los constituyentes coloidales del suelo, no puede ser completamente eliminada por métodos puramente mecánicos. Sin embargo, por medio del efecto de la temperatura, adición o eliminación de agua con presión mecánica, es posible variar la cantidad de agua retenida de esta manera. Tales variaciones

son atendidas por la hinchazón o contracción. Esto proporciona un punto ideal de funcionamiento para Eco Road 2000.

También tendrán que ser consideradas para comprender el mecanismo de la interacción suelo-enzima Las características electrostáticas de las partículas del suelo. Como resultado de la reducción del momento dipolar de la molécula de agua por la enzima, la disociación se produce en un hidroxilo (-) y un ion de hidrógeno (+). El ion hidroxilo a su vez se disocia en hidrógeno y oxígeno, mientras que el átomo de hidrógeno del hidroxilo se transforma en un ion hidronio. Este último puede aceptar o rechazar las cargas positivas o negativas, de acuerdo a las circunstancias. Normalmente las partículas más finas coloidales del suelo están cargadas negativamente. La película envolvente de agua absorbida contiene un número suficiente de iones metálicos cargados positivos - tales como sodio, potasio, aluminio y magnesio - que garanticen la igualación de cargas con respecto a la de iones eléctricamente del suelo negativo.

En el logro de este fenómeno, las cargas positivas del ion hidronio o de ion hidroxilo cargado negativamente normalmente se combinan con los iones metálicos cargados positivamente en el agua adherida a la superficie de las partículas. Debido al efecto de la formulación enzimática en la reducción de la carga eléctrica de la molécula de agua, no hay suficiente carga

negativa a ejercer una presión adecuada sobre los iones metálicos cargados positivamente en la película de agua absorbida. Como resultado de esto, la barrera de potencial electrostático existente se rompe. Cuando se produce esta reacción, los iones de metales migran hacia el agua libre, que puede ser lavado o eliminado por evaporación. De este modo se reduce la película de agua absorbida que envuelve las partículas. Las partículas de este modo pierden su capacidad de hinchamiento y el suelo en su conjunto adquiere una estructura estable.

Los iones de hidrógeno, que se liberan en la disociación de las moléculas de agua, una vez más pueden reaccionar con los iones hidroxilo libre y el agua forma a lo largo del hidrógeno gaseoso. Es importante tener en cuenta que el contenido de humedad de la tierra afecta a la tensión superficial y por lo tanto es un factor que afecta a la compactación. Eco Road 2000 reduce la tensión superficial haciendo que la compactación del suelo más fácil de realizar.

Después se reduce el agua absorbida las partículas del suelo tienden a aglomerarse y, como resultado del movimiento relativo entre las partículas, el área de superficie se reduce y menos agua absorbida puede ser considerado, que a su vez reduce la capacidad de hinchamiento.

Algunas de las propiedades modificadas por el proceso de estabilización se enumeran a continuación:

- Aumento de la resistencia a la compresión: la enzima actúa como un catalizador para acelerar y fortalecer material de la carretera de unión. La enzima crea un suelo más cohesionado, estable y más denso.
- Reducción del esfuerzo de compactación y la mejora de la trabajabilidad del suelo: lubrica las partículas del suelo. Esto hace más fácil la compactación para lograr la densidad del suelo con menor número de pasadas.
- Aumento de la densidad del suelo: ayuda a reducir los vacíos entre las partículas del suelo alterando atracción electroquímica en las partículas del suelo y liberando agua ligada. El resultado es un suelo de bases de carreteras más densas con más fuerza.
- La disminución de la permeabilidad al agua: una configuración más apretada de suelo reduce la migración de agua que normalmente se produce en los vacíos entre las partículas. Se produce una mayor resistencia al deterioro de la penetración del agua.

### **2.1.3. Aplicación del tratamiento estabilizador.**

Se deberá aplicar de manera uniforme a todas las capas, quitando zonas rocosas o segregados sueltos, deberá tener una densidad y contenido de humedad uniforme, para asegurar su penetración total y deberá tener una superficie lisa.

#### **2.1.3.1. Tolerancia de la humedad.**

Luego de completar la pulverización y antes de aplicar el tratamiento con el estabilizador Eco Road 2000, el contenido de humedad del material de la sub rasante, base o sub base no podrá estar más de cinco (5) puntos porcentuales por debajo y no podrá ser mayor que el contenido de humedad óptimo determinado para el material tratado (el contenido de humedad óptimo determinado para los materiales de la sub rasante, base y sub-base tratados con la solución líquida estabilizadora según el Método de Prueba ASTM D-1557). El contenido de humedad deberá ser verificada en distintas partes de cada sección a ser tratada para asegurar que el contenido de humedad del material se encuentre dentro de la tolerancia a lo largo y ancho de la sección. Los materiales que sean más secos que las tolerancias de contenido de humedad deberán ser humedecidos rociándoles más agua a fin de asegurar un contenido de humedad uniforme a lo largo de la capa que esté dentro de las tolerancias requeridas. Los materiales que estén más húmedos que las

tolerancias de contenido de humedad deberán ser secadas naturalmente o aireadas en condiciones climáticas adecuadas con equipos de mezcla como motoniveladoras, tractores de discos o mezcladoras rotativas de eje transversal. No se permitirá el aireado usando equipos de compactación como aplanadora pata de cabra.

#### **2.1.3.2. Aplicación.**

La proporción de aplicación del tratamiento estabilizador de suelos Eco Road 2000 deberá ser un (1) litro por quince (15) metros cúbicos de material sub rasante/agregado. La tolerancia de la proporción de aplicación especificada deberá ser más menos diez (10) por ciento. Sin embargo, si las pruebas de laboratorio muestran un continuo incremento en la fuerza desde niveles más altos de aplicación, se podrá agregar más producto en la proporción de aplicación deseada, sin exceder cinco (5) veces la proporción de aplicación estándar de un (1) litro por quince (15) metros cúbicos de material sub rasante/ agregado.

A menos que el Representante del Contratante apruebe lo contrario, el material sub rasante/agregado deberá ser colocado en capas sucesivas en todo el ancho de cada sección transversal de la calzada y en los extremos que son los más adecuados para la aplicación del estabilizador y uso de los métodos de compactación. El Contratista deberá preparar un

resumen escrito para la revisión del Representante del Contratante, antes de aplicar el tratamiento estabilizador a cada sección a tratar. Se deberá incluir la siguiente información:

- Contenido de humedad In situ del material sub rasante/agregado de cada sección a ser tratada y el contenido de humedad óptimo tratado para este material.
- Capacidad de volumen líquido y nivel de llenado planeado para los camiones de agua o esparcidores y otros equipos que serán usados en el transporte, esparcir o distribuir la solución estabilizadora.
- Metros Cúbicos de material sub rasante/agregado a ser tratado para cada sección del proyecto.
- Cantidad calculada de estabilizador líquido requerido para los metros cúbicos de material sub rasante/agregado que será tratado para cada sección.
- Cantidad calculada de solución estabilizadora (total de galones de líquido estabilizador más galones totales de agua de dilución) requeridos para cada sección a ser tratada.

#### **2.1.3.3. Mezclado.**

El material sub rasante/agregado y la solución estabilizadora deberán ser mezclados completamente por una motoniveladora. Se podrá usar una mezcladora rotativa de eje transversal para hacer mezcla adicional. Con aprobación del

Representante del Contratante se podrá usar como unidad de mezcla una moto niveladora u otro instrumento adecuado. La mezcla deberá continuar hasta que el material tratado alcance una mezcla homogénea con un contenido de humedad dentro de las tolerancias de humedad de compactación especificada y descrita anteriormente.

- Condiciones naturales de clima que incrementen el contenido de humedad a más de la tolerancia especificada, y antes de la total compactación, requerirá volver a mezclar y secado de aire para reducir el contenido de humedad del material de base y sub-base. Condiciones naturales de clima que disminuyan el contenido humedad a menos de la tolerancia especificada, y antes de la total compactación, requerirá acondicionar la humedad rociándole agua adicional. Antes de compactar el material tratado, el contenido de humedad deberá estar dentro de las tolerancias especificadas para compactación descritas anteriormente.
- Las operaciones de aplicación del estabilizador, mezclado, compactación y finalizado deberán ser continuas. Si la carga compactada se debe finalizar usando una moledora, aplanadora, el finalizado puede ser completado otro día siempre y cuando la superficie se mantenga húmeda durante ese período.



- Si se aplica la solución estabilizadora en una proporción que exceda la capacidad de absorción del material sub rasante/agregado liberado o bien se observe agua estancada, escorrentía o fluido del área tratada, se tendrán que hacer ajustes de inmediato a las operaciones de construcción.

#### **2.1.3.4. Método de compactación.**

Antes de la compactación, el Contratista deberá airear o rociar con agua y evaluar el material sub rasante/agregado tratado ya que es necesario proporcionar un contenido de humedad no mayor a tres (3) puntos porcentuales por encima y no menor del contenido de humedad óptimo para el material tratado (según el Método de Prueba ASTM D-1557) a menos que el Representante del Contratante apruebe lo contrario. No está permitido el uso de equipos de compactación como aplanadora pata de cabra (sheepsfoot roller) para el aireado. La compactación de la mezcla sub rasante/agregado tratado, deberá comenzar inmediatamente después de que se cumplan los requerimientos de mezclado, pulverización y contenido de humedad de compactación.

Cada capa deberá ser compactada uniformemente al punto necesario que proporcione no más del 95 por ciento de la densidad óptima determinada por el Método de Prueba ASTM

D-1557. La determinación de la densidad se hará de acuerdo al Método de Prueba ASTM D-2922. A lo largo de la operación de compactación la forma de la capa de compactación deberá mantenerse nivelada con el equipo adecuado para asegurar una compactación uniforme en toda la capa. Si los materiales tratados, debido a alguna razón o causa, pierden la desestabilidad, densidad o finalización requerida antes de colocar la siguiente etapa o el proyecto aceptado, el área afectada deberá ser trabajada nuevamente de acuerdo a la especificación presentada a continuación.

#### **2.1.3.5. Finalización y cura.**

Después de que la capa final o las capas de material hayan sido compactadas, serán traídos a las líneas requeridas y grados conforme a las secciones típicas. La sección terminada será finalizada entonces con un rodillo sellador con una llanta neumática y otro rodillo adecuado aprobado por el representante del Contratante y llevado a curar por setenta y dos (72) horas antes que se permita el tráfico. Después de la aprobación del Representante del Contratante se puede permitir el tráfico sobre la superficie sub rasante/agregada después de no menos de setenta y dos (72) horas de cura. Sin embargo, el contratista será responsable por la reparación de cualquier daño que ocurra mientras el material esté en cura.

### 2.1.3.6. Tolerancias.

Tolerancias de espesor de las capas de agregados/sub rasantes tratadas: en ningún momento durante el proceso de mezclado el Contratista deberá aumentar o disminuir la profundidad de la sección de capas de agregados/sub rasantes tratados según lo detallado en los planes, sin la aprobación del Representante del Contratante. Si ocurriera alguna desviación, esa sección deberá ser reelaborada de acuerdo a las operaciones de construcción y pruebas descritas anteriormente.

### 2.1.4. Ventajas y desventajas de la aplicación de Eco Road 2000.

Algunas de las ventajas de la utilización de Eco Road 2000 estabilizador de suelos en lugar de los estabilizadores tradicionales se enumeran a continuación:

Cuadro 2: Resumen de las especificaciones técnicas.

RESUMEN DE LAS ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL ADITIVO ECO ROAD 2000	
ESTABILIZADOR DE SUELOS	BASES, SUB-BASES, VÍAS AFIRMADAS, MANTENIMIENTO Y MEJORAMIENTO DE CAMINOS, RELAVES MINEROS, TALUDES Y CONTROL DE POLVO.
DOSIFICACIÓN DEL PRODUCTO	1 LITRO DE ECO ROAD 2000 TRATA 15 m <sup>3</sup> DE TIERRA, DOSIS DE AGUA (DULCE) SEGÚN RELACIÓN ENTRE HUMEDAD ÓPTIMA DE COMPACTACIÓN (PROCTOR MODIFICADO)
AHORRO	ECO ROAD 2000 PUEDE AHORRAR HASTA UN 40% DE LOS COSTOS DE CONSTRUCCIÓN DE UNA CARRETERA, POR EJEMPLO, ESTABILIZACIÓN TRADICIONAL CON MATERIAL GRANULAR (CANTERA)
	DEBE UTILIZARSE CON SUELO QUE CONTENGAN UN 15%-25% DE FINOS COHESIVOS (LIMOS Y ARCILLAS), ECO ROAD 2000 PUEDE MEZCLARSE DIRECTAMENTE CON EL SUELO DE TAMAÑO MÁXIMO 6" PARA GENERAR UNA PLATAFORMA RESISTENTE IMPERMEABLE.
	ECO ROAD 2000 ENLAZA LAS PÁRTICULAS DEL SUELO EN UNA BASE MÁS DENSA, INCREMENTANDO SU RESISTENCIA (CBR)
	REDUCE LA PENETRACIÓN DEL AGUA.
	PERMITE AHORRAR EN ESPESOR DEL PAQUETE ESTRUCTURAL Y LA CARPETA DE UNA VÍA.
REDUCCIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL	ECO ROAD 2000 ESTA ES UN MULTI-ENZIMÁTICO LO CUÁL LO HACE UN PRODUCTO ECOLÓGICO
	REDUCE EL USO DE AGREGADOS (MATERIALES DE CANTERA)

Fuente: Elaboración propia, tomando como base de datos el Manual de ECO ROAD 2000.

#### **2.1.4.1. Ventajas.**

- Ambientalmente seguro: las enzimas son materiales naturales, seguros (orgánicos). Estos materiales no son tóxicos y no causarán ningún daño o peligro para los seres humanos, animales, peces o vegetación.
- Rentable: todo tipo de clima, suelos de bajo mantenimiento para la construcción de carreteras se puede lograr por una pequeña fracción de pavimentación bituminosa u otros costos de repavimentación.
- Fácil de usar: la enzima se añade al agua, aplicado con un camión rociador y mezclado en el material. Normalmente Eco Road 2000 viene en líquido concentrado. Este beneficio facilita los procedimientos de manipulación y preparación de anuncios de la relación coste-eficacia.

#### **2.1.4.2. Desventajas.**

- Debido al tiempo de curado que son tres días, esto podría generar retraso en la ejecución de la obra.
- Al no realizar pruebas antes de la aplicación del aditivo se podría errar en la dosificación lo cual generaría dos aspectos: el exceso de aditivo genera mucha rigidez en el suelo y lo

opuesto a esto sería un suelo muy pobre o sin reacción del suelo ante el aditivo.

## **CAPITULO III**

### **PRUEBAS DE ENSAYO DE LABORATORIO EN LA MECANICA DE SUELOS CON FINES DE PAVIMENTACION.**

#### **3.1. EXPLORACIÓN DE CAMPO Y CLASIFICACIÓN DE SUELOS:**

##### **3.1.1. Exploración de Campo.**

Con el objetivo de determinar las características físico- mecánicas de los materiales de la sub rasante se llevaran a cabo investigaciones mediante la ejecución de pozos exploratorios o calicatas de 1.50 m de profundidad mínima.

Las calicatas se ubicaran longitudinalmente y en forma alternada, dentro de la faja que cubre el ancho de la calzada, para determinar la cantidad de calicatas se acudió al “Manual de Carreteras, Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos - MTC” en el cual se encuentra un “Cuadro N°4.1: Número de calicatas para Exploración de Suelos” (del manual).

En este cuadro se determina la cantidad de calicatas según el Tipo de Carreteras.

Figura 3: Ubicación del proyecto.



Fuente: Google Earth.

El área de trabajo se ubica en el anexo de Palian – Huancayo – Junín, del cual se ubicaron 10 calicatas (ver los planos CP-NP-2 y UC-3) de las cuales se realizaron diversos estudios que se detallaran más adelante.

En el cuadro N°02 se presenta las ubicaciones de las calicatas ejecutadas, y en el cuadro N°03 se muestra la relación de las muestras extraídas. En los Anexos se presentan los registros de las calicatas donde se describen detalladamente la caracterización física de los suelos encontrados.

Cuadro 3: Ubicación de calicatas (setiembre, 2014)

CALICATAS	Coordenadas UTM (WGS 84)			PROFUNDIDA D (m)
	NORTE	ESTE	ELEVACIÓ N (msnm)	
C - 1	8670150.90	479491.67	3370	1.50
C - 2	8670319.41	479383.91	3374	1.60
C - 3	8670450.21	479144.01	3378	1.50
C - 4	8670304.90	478961.83	3367	1.50
C - 5	8670107.13	478745.56	3362	1.50
C - 6	8670669.47	479128.94	3381	1.50
C - 7	8670768.14	479301.97	3387	1.50
C - 8	8670460.50	479475.98	3378	1.50
C - 9	8669639.23	478788.76	3346	1.50
C - 10	8669120.69	478917.75	3340	1.50

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 4: Relación de Ensayos de laboratorio.

Item	Muestra	Calicata	Profundidad (m)	Tipo	Kg	SUCS	Ubicación
1	M - 1	C - 1	1.50	Bolsa	50.0	CL - ML	Ref.: eje A-A
2	M - 1	C - 2	1.60	Bolsa	50.0	CL - ML	
3	M - 1	C - 3	1.50	Bolsa	50.0	CL - ML	Ref.: eje B - B
4	M - 1	C - 4	1.50	Bolsa	50.0	CL - ML	
5	M - 1	C - 5	1.50	Bolsa	50.0	CL - ML	
6	M - 1	C - 6	1.50	Bolsa	50.0	CL - ML	Ref.: eje A-A
7	M - 1	C - 7	1.50	Bolsa	50.0	CL - ML	Ref.: eje C - C
8	M - 1	C - 8	1.50	Bolsa	50.0	CL - ML	
9	M - 1	C - 9	1.50	Bolsa	50.0	CL - ML	Ref.: eje D - D
10	M - 1	C - 10	1.50	Bolsa	50.0	CL - ML	Ref.: eje E - E

Fuente: Elaboración propia.



### 3.1.2. NTP 339.150. Descripción e Identificación de Suelos Procedimiento Visual – Manual.

La presente norma establece los procedimientos para la descripción de los suelos, sin embargo no todos los aspectos de esta norma pueden ser aplicables en todas las circunstancias, también se debe tomar en consideración el nivel de confianza con el que debe juzgarse la adecuación de un servicio profesional determinado.

Figura 4: Estratigrafía de un suelo.



Para la clasificación visual se debe tener conocimiento sobre la siguiente terminología.

### 3.1.2.1. Información Descriptiva para Suelos.

Para poder realizar la descripción adecuada de los suelos se debe tener en consideración muchos criterios, los cuales son descritos en la NTP 339.150 y los indican de la siguiente manera.

Cuadro 5: Descripción de los suelos.

<b>ANGULOSIDAD</b>	Anexo: Cuadro N° 19
<b>FORMA</b>	Anexo: Cuadro N° 20
<b>COLOR</b>	-----
<b>OLOR</b>	-----
<b>CONDICIÓN DE HUMEDAD</b>	Anexo: Cuadro N° 21
<b>CONSISTENCIA</b>	Anexo: Cuadro N° 22
<b>ESTRUCTURA</b>	Anexo: Cuadro N° 23

Fuente: Elaboración Propia tomando en cuenta la NTP 339.150.

### 3.1.2.2. Procedimiento para Identificación de Suelos de Grano Fino.

Seleccionar una muestra representativa del material, remover las partículas mayores del tamiz N°40, hasta un espécimen equivalente aproximadamente a la mano llena del material para realizar las siguientes pruebas:

Cuadro 6: Identificación de suelos de grano fino.

<b>RESISTENCIA EN ESTADO SECO</b>	Anexo: Cuadro N° 24
<b>DILATANCIA</b>	Anexo: Cuadro N° 25
<b>TENACIDAD</b>	Anexo: Cuadro N° 26
<b>PLASTICIDAD</b>	Anexo: Cuadro N° 27

Fuente: Elaboración Propia tomando en cuenta la NTP 339.150.

### **3.1.3. MTC E 106/ NTP 339.089. Obtención en Laboratorio de Muestras Representativas (cuarteo).**

La muestra del suelo, tal como fue recibida, se seca al aire colocándola en forma extendida sobre una superficie plana y horizontal.

Se procede a desmenuzar el material, deshaciendo los terrones utilizando el mortero o la comba de goma, luego se mezcla bien hasta formar una pila en forma de cono y se repite esta acción 4 veces, se divide en cuatro partes hasta obtener la cantidad requerida (dentro del anexo se podrá observar el Cuadro N° 23 donde se verifica la cantidad necesaria para realizar la clasificación del suelo) como regla general no se debe realizar el secado en horno, porque puede influir en los resultados.

### **3.1.4. MTC E 204/ NTP 339.128. Método de Ensayo para el Análisis Granulométrico.**

La presente norma establece el método para el análisis granulométrico por tamizado, pues consiste en la determinación cuantitativa de la distribución de tamaños de partículas de los suelos.

La clasificación de las partículas mayores que 75  $\mu\text{m}$  (retenido en el tamiz N° 200) se efectúa por tamizado.

### **3.1.5. MTC E 110/ MTC E 111/ NTP 339.129. Método de Ensayo para Determinar el Límite Líquido, Límite Plástico, E Índice de Plasticidad de los Suelos.**

A la muestra se le remueve cualquier material retenido en el tamiz N° 40 .El límite líquido se determina realizando pruebas en las cuales se esparce una porción de la muestra en una copa de bronce, dividida en dos por un ranurador, y luego permitiendo que fluya debido a los impactos causados por las repetidas caídas de la copa en un dispositivo mecánico estándar. Se requiere realizar tres o más pruebas sobre un rango de contenidos de humedad y graficar o calcular la información de las pruebas para establecer una relación a partir de la cual se determine el límite líquido.

El límite plástico se determina presionando y enrollando alternadamente a un hilo de 3.2 mm de diámetro (1/4 pulg.) , una porción pequeña de suelos plástico hasta que su contenido de humedad se reduzca hasta el punto en que el hilo se quiebre y no pueda ser más presionado y re enrollado. El contenido de humedad del suelo en este punto se reporta como el límite plástico.

El índice de plasticidad se calcula como la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico.

### **3.1.6. NTP 339.134. Método para la Clasificación de los Suelos con Propósitos de Ingeniería (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, Sucs).**

Este método de ensayo describe un sistema para la clasificación de suelos minerales y orgánicos minerales con propósitos de ingeniería, basado en la determinación en el laboratorio de las características de granulometría, límite líquido e índice de plástico, y deberá ser utilizado cuando se requiera una clasificación precisa. Como un sistema de clasificación, este método de ensayo está limitado a suelos naturales.

La asignación de un nombre y un símbolo de grupo, y la información descriptiva requerida en la práctica recomendada ASTM D2488, pueden ser utilizados para describir un suelo, para ayudar en la evaluación de sus propiedades significativas para uso en ingeniería.

Las diversas agrupaciones de este sistema de clasificación, han sido diseñadas para correlacionar en una forma general los diversos tipos de suelos con su comportamiento dentro del campo de la ingeniería. Este método proporciona un primer paso útil en cualquier investigación de campo o de laboratorio, con propósitos de ingeniería geotecnica.

Para la clasificación del suelo se hizo el uso de las tablas que se tomaron de la NTP 339.134 (Anexo) las cuales son:

- TABLA 1: Carta de Flujo para clasificación de suelos de grano fino (50% o más pasa la malla N° 200).

- TABLA 2: Carta de Flujo para clasificación de suelos de grano grueso (más del 50% es retenido en la malla N° 200).
- TABLA 3: Carta de Plasticidad.

### **3.1.7. NTP 339.135. Método para la Clasificación de Suelos para uso en Vías de Transporte.**

Esta norma describe un procedimiento para clasificación de suelos minerales y orgánicos –minerales en siete grupos, basado en la determinación en el laboratorio de la distribución del tamaño de partículas, el límite líquido y el índice plástico. Puede ser utilizado cuando se requiere una clasificación precisa de ingeniería, especialmente para propósitos de construcción de carreteras. La evaluación de los suelos dentro de cada grupo es realizada por medio de un índice de grupo, el cual es un valor calculado usando una formula empírica.

Para la clasificación del suelo se hizo el uso de las tablas que se tomaron de la NTP 339.135 (Anexo) las cuales son:

- TABLA 4: Clasificación de Suelos y Mezclados de Suelo-Agregado.

### **3.2 MTC E 115/ NTP 339.141. METODO DE ENSAYO PARA LA COMPACTACION DEL SUELO EN LABORATORIO UTILIZANDO UNA ENERGIA MODIFICADA (2700 kN-m/m<sup>3</sup> (56000 pie-lbf /pie<sup>3</sup>)):**

Este método de ensayo cubre los procedimientos de compactación en laboratorio que se utilizan para determinar las relaciones entre el contenido de agua y el peso unitario seco de los suelos (curva de compactación) compactada

en un molde con un diámetro de 101.6 o 152.4 mm (4 ó 6 pulg) con un pisón de 44.5-N (10-lbf) que cae a una altura de 457 mm (18 pulg) produciendo un esfuerzo de compactación de (2700 kN-m/m<sup>3</sup> (56000 pie-lbf/pie<sup>3</sup>)).

Existen tres procedimientos o métodos. El método que se usó para este proyecto de investigación sería por el procedimiento o método “A” según el siguiente cuadro:

Cuadro 7: Para determinar el procedimiento o método.

PORCENTAJE % RETENIDO ACUMULADO	PROCEDIMIENTO “A”	PROCEDIMIENTO “B”	PROCEDIMIENTO “C”
TAMIZ ¾”	-----	-----	≤ 30 %
TAMIZ 3/8”	-----	≤ 20%	>20%
TAMIZ N°4	≤20%	>20%	-----
MOLDE Ø	4”	4”	6”
N° DE CAPAS	5	5	5
N° DE GOLPES POR CAPA	25	25	56
PESO DEL MARTILLO	10 LB	10LB	10LB
ALTURA DE CAIDA EN PULG	18”	18”	18”
CANTIDAD DE MATERIAL EN KG	4	4	6
USAR MATERIAL QUE PASA	N°4	3/8”	¾”

Fuente: Elaboración propia basado en las normas de la MTC E 115 y NTP 339.141.

### 3.2.1. Resumen del Método de Ensayo.

Se coloca un suelo a un contenido de agua seleccionado en cinco capas dentro de un molde de dimensiones particulares, con cada capa compactada con 25 o 56 golpes (según el método determinado anteriormente) de un pisón de 44.5 N (10 LBF) que cae desde una distancia de 457mm (18 pulg), sometiendo al suelo a un esfuerzo de compactación total de aproximadamente 2700 KN M/M3 (56000 pie –lbf/pie3).

Se determina el peso unitario seco resultante. El procedimiento se repite con un número suficiente de contenido de agua para establecer una relación entre el peso unitario seco y el contenido de agua del suelo. Este dato, cuando se gráfica, representa una relación curvilínea conocida como curva de compactación. Los valores del óptimo contenido de agua y el máximo peso unitario seco modificado se determinan en base a la curva de compactación.

En las figuras n°05 y n°06 se observa el material tamizado por los tamices de ¾, 3/8, N°4 y lo que pasa la N°4 y las herramientas que se utilizan previo al ensayo son: 2 badilejos, 1 balanza, 1 recipiente para el agua, 1 bandeja para realizar el mezclado del material con el agua.





Figura 5: Material tamizado.      Figura 6: Herramientas a usar.

En las figuras N°07 y N°08 se observa el mezclado el material con el agua se prosigue a hacer uso del molde el cual es de 4 pulg y el pisón de 10 lbf. y se trabajara de acuerdo a lo descrito en el procedimiento a., así también, se observa que se está realizando el ensayo con el pisón de 10lbf a una altura de 18 pulg. y con 25 golpes de compactación por impactos utilizando un esfuerzo modificado por cada capa (5 capas)



Figura 7: Instrumentos para el ensayo de proctor modificado.

Figura 8: compactación del material.

### **3.2.2. IMPORTANCIA Y USO**

El suelo tomado como relleno de ingeniería (terraplén, rellenos de cimentación, base para caminos) se compacta a un estado denso para obtener propiedades satisfactorias de ingeniería tales como, resistencia al esfuerzo de corte, compresibilidad o permeabilidad. También, los suelos de cimentación son compactados generalmente para mejorar sus propiedades de ingeniería. Los ensayos de compactación en laboratorio proporcionan las bases para determinar el porcentaje de compactación y el contenido de agua que se necesita para obtener las propiedades de ingeniería requerida, y para el control de la construcción para asegurar la obtención de la compactación requerida y los contenidos de agua.

### **3.3. MTC E 132/ NTP 339.145. METODO DE ENSAYO DE CBR (RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA) DE SUELOS COMPACTADOS EN EL LABORATORIO:**

Este método de ensayo se usa para evaluar la resistencia potencial de subrasante, sub base y material de base, el valor del CBR obtenido en esta prueba forma una parte integral de varios métodos de diseño de pavimentos flexibles.

#### **3.3.1. Aparatos.**

- ✓ MAQUINA DE CARGA: Maquina de carga equipada con un cabezal movable o base que corre a una velocidad uniforme de 1.27 mm/min (0.05 pulg/min) (sin vibrar) para ser utilizado en la penetración del pistón en espécimen. La máquina deberá equiparse con un dispositivo indicando la carga que pueda leerse hasta 44 N o menos.

Figura 9: Maquina de carga.



SE OBSERVA LA MAQUINA DE CARGA EL CUAL CUANTA CON SU DISPOSITIVO INDICANDO LA CARGA

- ✓ MOLDE: El molde deberá ser un cilindro metálico firme de un diámetro interno de  $152.4 \text{ mm} \pm 0.66 \text{ mm}$  (6 pulg  $\pm 0.026$  pulg) y una altura de  $177.8 \text{ mm} \pm 0.46 \text{ mm}$  (7 pulg  $\pm 0.018$  pulg). deberá estar provisto de un collarín de extensión metálico de por lo menos de  $50.8 \text{ mm}$  (2.00 pulg) de altura y una placa base de metal que tenga por lo menos 28 agujeros de diámetro de  $1.59 \text{ mm}$  (1/16 pulg) uniformemente espaciadas en la placa dentro de la circunferencia interior del molde.

Figura 10: Moldes sumergidos.      Figura 11: Moldes de 6" Ø.



SE OBSERVA LOS MOLDES DE 6" DE DIAMETRO, DURANTE EL SATURADO Y DESPUES DEL MISMO

- ✓ DISCO ESPACIADOR: Un disco espaciador circular de metal que tiene un diámetro exterior mínimo de 150.8 mm (5 15/16 pulg), pero no más grande tal que permita al espaciador deslizarse fácilmente en el molde. el disco espaciador deberá de tener una altura de 61.37 mm  $\pm$  0.127 mm (2.416 pulg  $\pm$  0.005 pulg).
- ✓ APISONADOR: Es un apisonador tal como se determinó en los métodos de prueba de proctor.
- ✓ APARATO PARA MEDIR LA EXPANSIÓN: Un vástago de metal ajustable y perforado a una placa de metal, la placa perforada debe ser de un diámetro de 149.23 mm a 150.81 mm (5 7/8 pulg a 5 15/16 pulg) y debe tener por lo menos cuarenta y dos agujeros de 1.59 mm (1/16pulg) uniformemente espaciados en la placa. También es necesario un trípode metálico para apoyar el dial para medir la cantidad de hinchazón durante el remojo.
- ✓ PESAS: una o dos pesas metálicas anulares que tengan una masa total de 4.54 kg  $\pm$  0.02 kg y pesas metálicas ranuradas, cada una que tenga

una masa de  $2.27 \text{ kg} \pm 0.02 \text{ kg}$ . La pesa anular deberá tener un diámetro de 149.23 mm a 150.81 mm (5 7/8 pulg a 5 15/16 pulg) y deberá tener una abertura central de aproximadamente 53.98 mm (2 1/8 pulg).

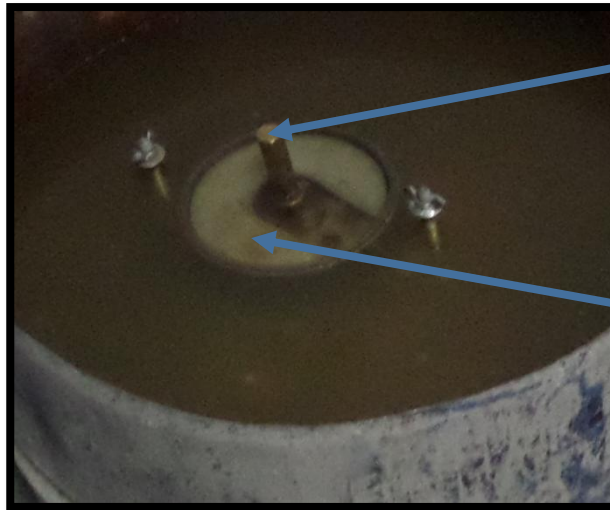


Figura 12: Vástago.

SE OBSERVA EL VASTAGO EL CUAL MIDE LA EXPANSION

Figura 13: Pesas.

SE OBSERVA LAS PESAS QUE VAN ENCIMA DE LA MUESTRA EL CUAL SIRBE PARA SIMULAR QUE ESTA SOMETIDO A CARGAS.

- ✓ PISTON DE PENETRACION: pistón metálico de  $49.63 \text{ mm} \pm 0.13 \text{ mm}$  ( $1.954 \text{ pulg} \pm 0.005 \text{ pulg}$ ) y no menor de  $101.6 \text{ mm}$  (4 pulg) de largo.
- ✓ DIAL DE DEFORMACION: Dos diales de deformación de lectura de  $0.025 \text{ mm}$  (0.001 pulg) con un rango mínimo de 0.200.

Figura 14: Dial y trípode.



### **3.3.2. METODO DE ENSAYO.**

Para ensayos realizados sobre materiales compactados a un contenido de agua se preparan tres especímenes. Los especímenes se compactan usando tres diferentes esfuerzos de compactación para obtener pesos unitarios, tanto por encima como por debajo del peso unitario deseado. Después de permitir que los especímenes se cubran de agua para humedecerse, u otro tratamiento específico como curado, cada espécimen estará sujeto a la penetración por un vástago cilíndrico. Los resultados del esfuerzo (carga) versus la profundidad de penetración se plasman en un gráfico para determinar el CBR de cada espécimen. El CBR a la densidad especificada se determina con un gráfico de CBR versus el peso unitario seco.

## **CAPITULO IV**

### **ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS.**

#### **4.1 CUADROS DE RESUMEN DE LOS ENSAYOS REALIZADOS EN EL LABORATORIO:**

##### **4.1.1. Resumen de la Clasificación de Suelos.**

En el cuadro N°08, se ve un resumen del porcentaje que retiene y pasa la malla N°200 de las 10 calicatas en el cual se puede verificar que las calicatas C – 6 y C – 9, los porcentajes retenidos por la malla N°200 son mayores frente al resto de las demás calicatas (61.20% y 63.90%).

Cuadro 8: Análisis granulométrico por tamizado NTP 339.128.

N° de Calicatas	% Retenido en la Malla N°200	% que Pasa la Malla N°200	Símbolo de Grupo(SUCS)
C - 1	44.10%	55.90%	CL - ML
C - 2	33.10%	66.90%	CL - ML
C - 3	43.60%	56.40%	CL - ML
C - 4	28.70%	71.30%	CL - ML
C - 5	26.50%	73.50%	CL - ML
C - 6	61.20%	38.80%	SC - SM
C - 7	26.00%	74.00%	CL - ML
C - 8	18.40%	81.60%	CL - ML
C - 9	63.90%	36.10%	SC - SM
C - 10	25.20%	74.80%	CL - ML

Fuente: Elaboración propia.

En el cuadro N°09 se ve el resumen de los límites de consistencia que son necesarios para la clasificación SUCS y AASHTO.

Cuadro 9: Límites de consistencia NTP 339.129.

N° de Calicatas	Límite Líquido	Límite Plástico	Índice de Plasticidad
C - 1	26.5	20.4	6.1
C - 2	27.1	20.8	6.3
C - 3	26.4	20.3	6.1
C - 4	25.7	19.5	6.2
C - 5	26.6	20.1	6.5
C - 6	25.9	19.0	6.9
C - 7	25.6	19.1	6.5
C - 8	25.9	19.6	6.3
C - 9	26.9	20.4	6.5
C - 10	26.3	19.7	6.6

Fuente: Elaboración propia.

En el cuadro N°10 se ve el resumen de las fracciones granulométricas en la cual se puede verificar que las calicatas C - 4, C - 5, C - 7, C - 8, C - 10 tienen el mayor porcentaje de finos.



Cuadro 10: Resumen de las fracciones granulométricas.

N° de Calicatas	% de Grava	% de Arena	% de Finos
C - 1	8.30%	35.80%	55.90%
C - 2	12.80%	20.30%	66.90%
C - 3	6.90%	36.70%	56.40%
C - 4	9.40%	19.20%	71.30%
C - 5	1.20%	25.30%	73.50%
C - 6	15.40%	45.80%	38.80%
C - 7	2.40%	23.60%	74.00%
C - 8	1.50%	16.80%	81.60%
C - 9	12.80%	51.10%	36.10%
C - 10	5.40%	19.80%	74.80%

Fuente: Elaboración propia.

En el cuadro N°11 se ve el procedimiento que se usó para poder realizar las clasificaciones SUCS y AASHTO se hicieron con ayuda de las normas NTP 339.134 y NTP 339.135 de las cuales se hicieron uso de las siguientes tablas: para la clasificación SUCS se hizo el uso de la TABLA 3: Carta de Plasticidad (se hizo uso de los límites líquidos e índice de plasticidad), TABLA 1: Carta de Flujo para clasificación de suelos de grano fino (50% o más pasa la malla N°200), TABLA 2: Carta de Flujo para clasificación de suelos de grano grueso (más del 50% es retenido en la malla N°200) y para la clasificación AASHTO se hizo el uso de la TABLA 4: Clasificación de suelos y mezclados de suelos. En este cuadro se puede verificar que las calicatas C-6 y C-9 se clasifican con el símbolo de grupo SC – SM debido a que más de 50% es retenido en la malla N°200 (Cuadro N°05) con nombres Arena Limosa – arcillosa con grava, las calicatas C-1, C-2, C-3 se clasifican en el grupo CL – ML y las calicatas C-4, C-5, C-7, C-8, C-10 también se clasifican con el mismo símbolo de grupo CL – ML pero con

diferente nombre de grupo, esto se debe a que el porcentaje retenido en la malla N°200 es menor a las calicatas anteriores dichas.

Cuadro 11: Resumen de la clasificación SUCS y AASHTO.

N° de Calicatas	Clasificación SUCS	Clasificación AASHTO
C - 1	Símbolo: CL - ML	A - 4 (1)
	Nombre: Arcilla Limo - arenosa	
C - 2	Símbolo: CL - ML	A - 4 (2)
	Nombre: Arcilla Limo - arenosa	
C - 3	Símbolo: CL - ML	A - 4 (1)
	Nombre: Arcilla Limo - arenosa	
C - 4	Símbolo: CL - ML	A - 4 (3)
	Nombre: Arcilla Limosa con arena	
C - 5	Símbolo: CL - ML	A - 4 (3)
	Nombre: Arcilla Limosa con arena	
C - 6	Símbolo: SC - SM	A - 4 (1)
	Nombre: Arena Limosa - arcillosa con grava	
C - 7	Símbolo: CL - ML	A - 4 (3)
	Nombre: Arcilla Limosa con arena	
C - 8	Símbolo: CL - ML	A - 4 (4)
	Nombre: Arcilla Limosa con arena	
C - 9	Símbolo: SC - SM	A - 4 (1)
	Nombre: Arena limosa - arcillosa	
C - 10	Símbolo: CL - ML	A - 4 (3)
	Nombre: Arcilla Limosa con arena	

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.2. Resumen de Proctor Modificado.

Para poder determinar por qué método se tiene que realizar el ensayo de proctor modificado (NTP 339.141) se hizo uso del cuadro N°07, y de acuerdo a la muestra de suelo que se obtuvo de las 10 calicatas se realizaron por el método A.

Cuadro N°12, se puede observar el resumen de los resultados obtenidos de la prueba del ensayo de proctor modificado de las 10

calicatas exploradas, la calicata C-6 tiene el valor más alto de máxima densidad seca y la calicata C-8 el valor más bajo de densidad seca.

Cuadro 12: Resumen de resultados de Proctor Modificado.

N° CALICATA	UBICACIÓN	CALICATA	DATOS	
			MDS	OCH
C - 1	PROG 0+005	AV. LA VICTORIA-LADO DERECHO	1.866 GR/CM3	18.40%
C - 2	PROG 0+190	AV. LA VICTORIA- LADO DERECHO	1.828 GR/CM3	18.50%
C - 3	PROG 0+200	AV.AGRICULTURA-LADO IZQUIERDO	1.736 GR/CM3	20.42%
C - 4	PROG 0+400	AV.AGRICULTURA-LADO DERECHO	1.808 GR/CM3	17.55%
C - 5	PROG 0+810	PSJ. PEDREGAL-LADO DERECHO	1.950 GR/CM3	12.50%
C - 6	PROG 0+770	AV. LA VICTORIA-LADO IZQUIERDO	1.950 GR/CM3	13.78%
C - 7	PROG 0+650	AV. SAN LUIS - LADO IZQUIERDO	1.846GR/CM3	18.05%
C - 8	PROG 0+100	AV. SAN LUIS -LADO IZQUIERDO	1.668 GR/CM3	21.00%
C - 9	PROG 0+100	AV. SANTA ROSA-LADO DERECHO	1.880 GR/CM3	14.60%
C - 10	PROG 0+220	PSJE. SAN LUIS -LADO DERECHO	1.920 GR/CM3	13.10%

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.3. Resumen de C.B.R.

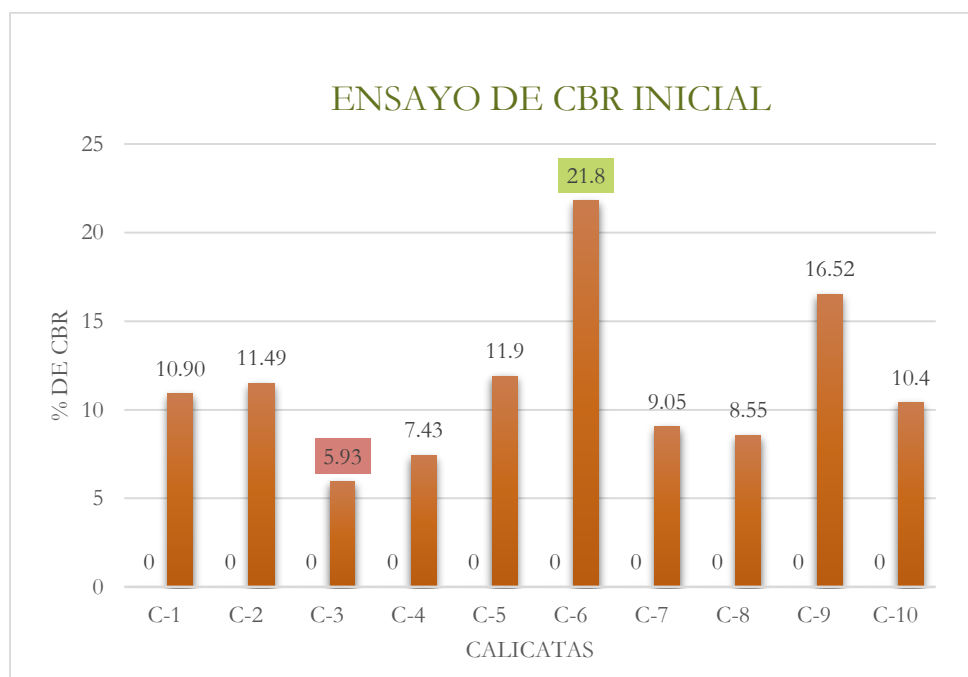
En el cuadro N°13 se puede observar el resumen de los resultados obtenidos de la prueba del ensayo de C.B.R. (NTP 339.145) de las 10 calicatas exploradas, el cual se pudo realizar una vez obtenidas los resultados de proctor modificado, y se observar que la calicata C-6 tiene de C.B.R. 21.80% al 95%, la calicata C-3 tiene de C.B.R 5.90% al 95 % siendo este el menor de todos, así también, en el gráfico 1 se puede observar los C.B.Rs al 95% del suelo en estado natural.

Cuadro 13: Resumen de resultados de C.B.R. en estado natural.

N° CALICATA	UBICACIÓN	CALICATA	DATOS	
			C.B.R AL 100%	C.B.R AL 95 %
C - 1	PROG 0+005	AV. LA VICTORIA-LADO DERECHO	14.10%	10.90%
C - 2	PROG 0+190	AV. LA VICTORIA- LADO DERECHO	13.50%	11.50%
C - 3	PROG 0+200	AV.AGRICULTURA-LADO IZQUIERDO	6.70%	5.90%
C - 4	PROG 0+400	AV.AGRICULTURA-LADO DERECHO	8.90%	7.40%
C - 5	PROG 0+810	PSJ. PEDREGAL-LADO DERECHO	14.03%	11.09%
C - 6	PROG 0+770	AV. LA VICTORIA-LADO IZQUIERDO	26.80%	21.80%
C - 7	PROG 0+650	AV. SAN LUIS - LADO IZQUIERDO	13.70%	9.10%
C - 8	PROG 0+100	AV. SAN LUIS -LADO IZQUIERDO	12.60%	8.60%
C - 9	PROG 0+100	AV. SANTA ROSA-LADO DERECHO	20.00%	16.50%
C - 10	PROG 0+220	PSJE. SAN LUIS -LADO DERECHO	13.80%	10.40%

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 1: C.B.R. en estado natural.



Fuente: Elaboración propia.

En el cuadro N°14 se puede observar un resumen de la clasificación de suelos, proctor modificado y CBR.

Cuadro 14: Resumen de resultados de C.B.R. en estado natural.

N° CALICATA	CLASIFICACION DE SUELOS		Índice de Plasticidad	PROCTOR MODIFICADO		CBR	
	Símbolo de Grupo(SUCS)	Clasificación AASHTO		MDS	OCH	C.B.R AL 100%	C.B.R AL 95 %
C-1	CL - ML	A - 4 (1)	6.1	1.866 GR/CM3	18.40%	14.10%	10.90%
C-2	CL - ML	A - 4 (2)	6.3	1.828 GR/CM3	18.50%	13.50%	11.50%
C-3	CL - ML	A - 4 (1)	6.1	1.736 GR/CM3	20.42%	6.70%	5.90%
C-4	CL - ML	A - 4 (3)	6.2	1.808 GR/CM3	17.55%	8.90%	7.40%
C-5	CL - ML	A - 4 (3)	6.5	1.950 GR/CM3	12.50%	14.03%	11.09%
C-6	SC - SM	A - 4 (1)	6.9	1.950 GR/CM3	13.78%	26.80%	21.80%
C-7	CL - ML	A - 4 (3)	6.5	1.846 GR/CM3	18.05%	13.70%	9.10%
C-8	CL - ML	A - 4 (4)	6.3	1.668 GR/CM3	21.00%	12.60%	8.60%
C-9	SC - SM	A - 4 (1)	6.5	1.880 GR/CM3	14.60%	20.00%	16.50%
C-10	CL - ML	A - 4 (3)	6.6	1.920 GR/CM3	13.10%	13.80%	10.40%

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.4. Resumen de C.B.R Aplicando el Aditivo Eco Road 2000.

Para realizar este procedimiento se optó por tomar 6 tipos de combinaciones tomando como base el dato patrón que es de 1 litro por 15 metros cúbicos, para el experimento se hizo uso del suelo de menor a mayor cantidad con 1 litro de aditivo (1L/11m<sup>3</sup>, 1L/13m<sup>3</sup>, 1L/ 15m<sup>3</sup>, 1L/17m<sup>3</sup>, 1L/19m<sup>3</sup> y 1L/21m<sup>3</sup>)

En el cuadro N°15 se puede observar el resumen de los resultados obtenidos de la prueba del ensayo de C.B.R. de las 10 calicatas exploradas con sus respectivas combinaciones con el aditivo y así poder determinar que combinación vendría a ser la ideal para cada una de ellas ya que al aplicar el aditivo ha subido su resistencia.

Cuadro 15: Resumen de resultados de C.B.R. con aplicación del aditivo.

ITEM	UBICACIÓN	CALICATA	COMBINACION	DATOS	
				C.B.R AL 100%	C.B.R AL 95 %
C - 1	PROG 0+005	AV. LA VICTORIA-LADO DERECHO	1LT/11M3	45.40%	38.60%
			1LT/13M3	43.00%	37.70%
			1LT/15M3	45.00%	36.60%
			1LT/17M3	33.80%	23.40%
			1LT/19M3	40.30%	31.40%
			1LT/21M3	32.90%	27.10%
C - 2	PROG 0+190	AV. LA VICTORIA- LADO DERECHO	1LT/11M3	57.20%	40.80%
			1LT/13M3	42.10%	31.20%
			1LT/15M3	45.90%	34.40%
			1LT/17M3	37.20%	28.50%
			1LT/19M3	39.60%	30.70%
			1LT/21M3	29.90%	22.10%
C - 3	PROG 0+200	AV.AGRICULTURA-LADO IZQUIERDO	1LT/11M3	40.50%	31.10%
			1LT/13M3	45.30%	36.10%
			1LT/15M3	34.60%	24.00%
			1LT/17M3	51.80%	28.60%
			1LT/19M3	47.10%	30.60%
			1LT/21M3	23.60%	17.50%
C - 4	PROG 0+400	AV.AGRICULTURA-LADO DERECHO	1LT/11M3	87.80%	75.70%
			1LT/13M3	76.00%	61.40%
			1LT/15M3	63.70%	55.90%
			1LT/17M3	75.20%	55.40%
			1LT/19M3	74.40%	65.50%
			1LT/21M3	30.00%	25.10%
C - 5	PROG 0+810	PSJ. PEDREGAL-LADO DERECHO	1LT/11M3	80.40%	65.20%
			1LT/13M3	64.80%	46.40%
			1LT/15M3	54.50%	47.20%
			1LT/17M3	69.20%	54.90%
			1LT/19M3	71.20%	46.20%
			1LT/21M3	28.40%	25.90%
C - 6	PROG 0+770	AV. LA VICTORIA-LADO IZQUIERDO	1LT/11M3	79.20%	58.90%
			1LT/13M3	71.80%	52.60%
			1LT/15M3	26.60%	15.20%
			1LT/17M3	54.00%	39.90%
			1LT/19M3	74.60%	58.80%
			1LT/21M3	32.30%	24.90%
C - 7	PROG 0+650	AV. SAN LUIS - LADO IZQUIERDO	1LT/11M3	39.70%	32.60%
			1LT/13M3	50.70%	41.20%
			1LT/15M3	38.30%	32.20%
			1LT/17M3	33.90%	25.80%
			1LT/19M3	77.00%	68.40%
			1LT/21M3	52.00%	42.20%

c - 8	PROG 0+100	AV. SAN LUIS -LADO IZQUIERDO	1LT/11M3	35.10%	28.50%
			1LT/13M3	51.50%	40.50%
			1LT/15M3	42.80%	32.70%
			1LT/17M3	32.70%	27.50%
			1LT/19M3	76.40%	65.70%
			1LT/21M3	50.50%	36.80%
c - 9	PROG 0+100	AV. SANTA ROSA-LADO DERECHO	1LT/11M3	28.60%	21.70%
			1LT/13M3	24.30%	17.40%
			1LT/15M3	24.80%	13.10%
			1LT/17M3	30.30%	21.30%
			1LT/19M3	25.70%	19.20%
			1LT/21M3	21.20%	13.00%
C - 10	PROG 0+220	PSJE. SAN LUIS -LADO DERECHO	1LT/11M3	64.70%	58.20%
			1LT/13M3	64.90%	58.10%
			1LT/15M3	26.00%	20.60%
			1LT/17M3	73.50%	64.60%
			1LT/19M3	70.70%	63.70%
			1LT/21M3	29.30%	24.50%

Fuentes: Elaboración propia.

En el cuadro N°16, se puede observar el resumen de los resultados obtenidos de la prueba de ensayo de C.B.R. en condiciones críticas (expuestas a la humedad), de las 10 calicatas exploradas con sus respectivas combinaciones (suelo - aditivo) se escogieron las que obtuvieron el mejor resultado en la resistencia del C.B.R., y que al ser expuestas a la humedad estas bajaron su resistencia tal como se indican en el cuadro.

Cuadro 16: Resumen de resultados de C.B.R. con aplicación del aditivo en condiciones críticas.

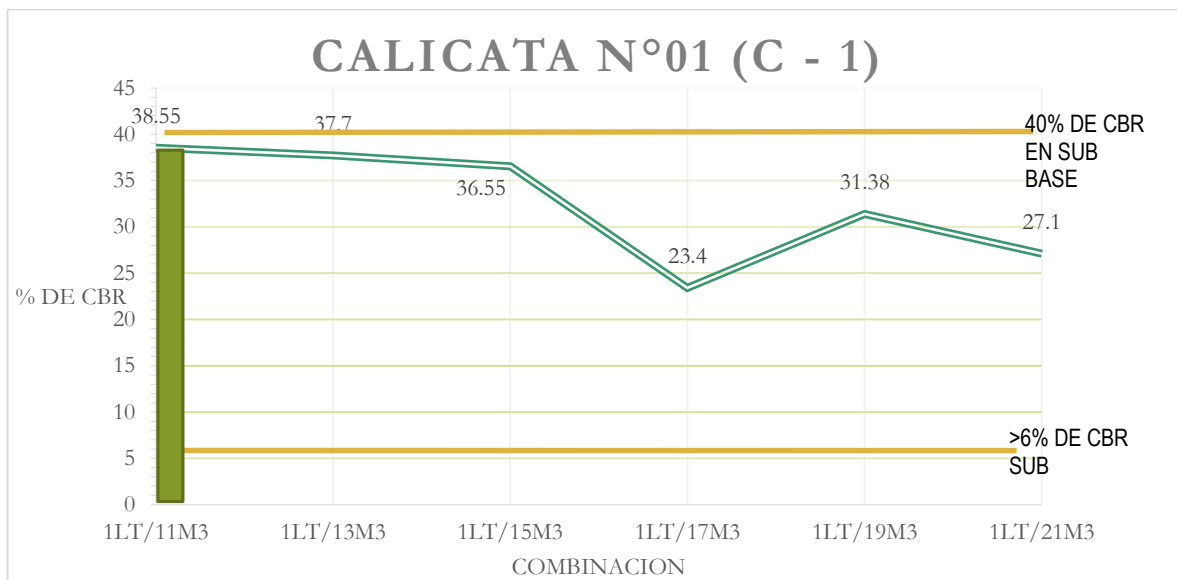
ITEM	UBICACIÓN	CALICATA	COMBINACION	DATOS	
				C.B.R AL 100%	C.B.R AL 95 %
C - 1	PROG 0+005	AV. LA VICTORIA-LADO DERECHO	1LT/11M3	44.80%	33.60%
C - 2	PROG 0+190	AV. LA VICTORIA- LADO DERECHO	1LT/11M3	54.80%	39.30%
C - 3	PROG 0+200	AV.AGRICULTURA-LADO IZQUIERDO	1LT/13M3	43.70%	32.70%
C - 4	PROG 0+400	AV.AGRICULTURA-LADO DERECHO	1LT/11M3	84.20%	71.40%
C - 5	PROG 0+810	PSJ. PEDREGAL-LADO DERECHO	1LT/11M3	76.40%	59.90%
C - 6	PROG 0+770	AV. LA VICTORIA-LADO IZQUIERDO	1LT/19M3	71.30%	56.50%
C - 7	PROG 0+650	AV. SAN LUIS - LADO IZQUIERDO	1LT/19M3	76.80%	65.60%
C - 8	PROG 0+100	AV. SAN LUIS -LADO IZQUIERDO	1LT/19M3	73.20%	64.20%
C - 9	PROG 0+100	AV. SANTA ROSA-LADO DERECHO	1LT/11M3	26.20%	21.60%
C - 10	PROG 0+220	PSJE. SAN LUIS -LADO DERECHO	1LT/17M3	70.90%	62.40%

Fuentes: Elaboración propia.

En el gráfico N°02, Se observa en la gráfica de la calicata C-1 las diferentes combinaciones en el eje X, y en el eje Y el porcentaje de CBR obtenido, de lo mostrado se puede determinar que con la combinación de 1LT/11M3 se obtiene un porcentaje de CBR de 38.55% siendo el mayor de los demás. Entonces de acuerdo al cuadro 12.4 del manual de carreteras “Suelos, Geología, Geotecnia y pavimentos en la sección de suelos y pavimentos nos indica que  $CBR \geq 30\%$  son consideradas sub rasante extraordinaria. Siendo así, nos encontramos dentro de una sub rasante extraordinaria.



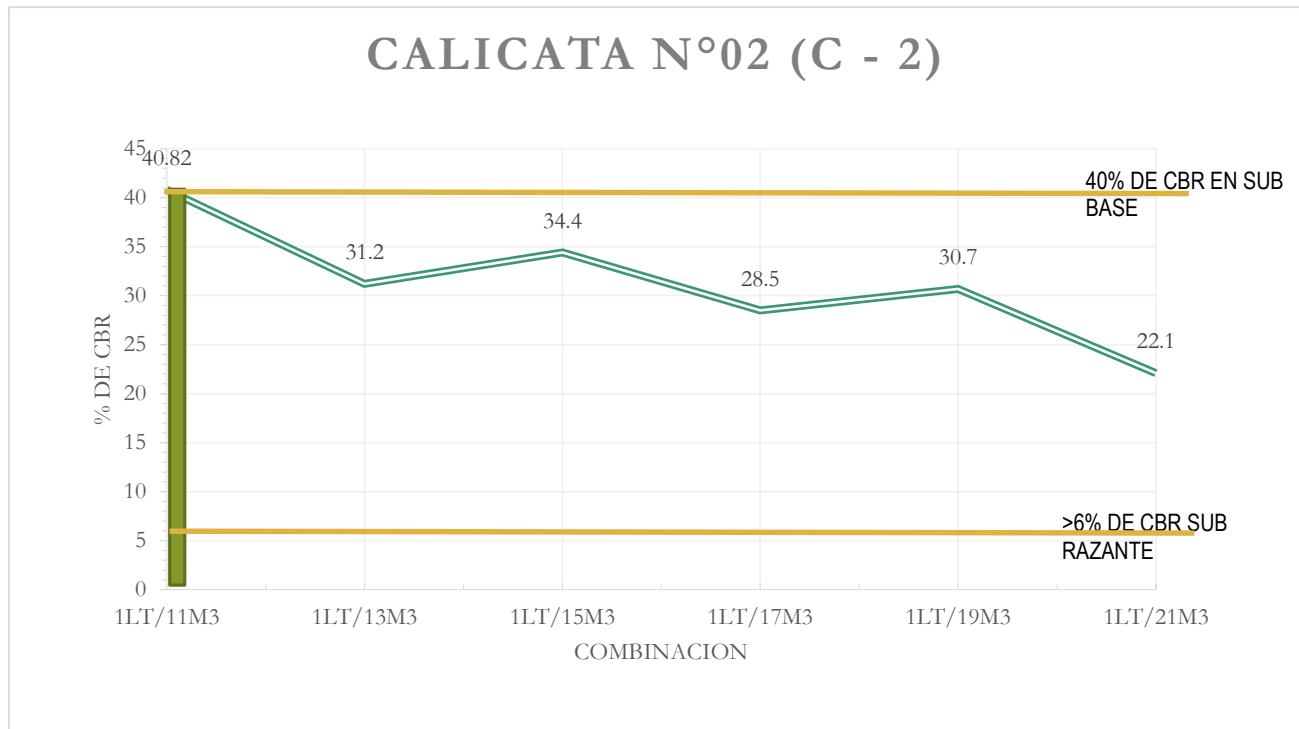
Gráfico 2: Calicata número 01.



Fuentes: Elaboración propia.

En el gráfico N°03: Se observa en la gráfica de la C – 2 las diferentes combinaciones en el eje X, y en el eje Y el porcentaje de CBR obtenido, de lo mostrado se puede determinar que con la combinación de 1LT/11M3 se obtiene un porcentaje de CBR de 40.82% siendo el mayor de los demás. Entonces de acuerdo al cuadro 10.1 del Manual de Carreteras “Suelos, Geología, Geotecnia y pavimentos en la sección de suelos y pavimentos nos indica que el CBR mínimo debe ser de 40% para sub base, lo cual quiere decir que el suelo de la calicata N°02 es considerado como suelo de sub base.

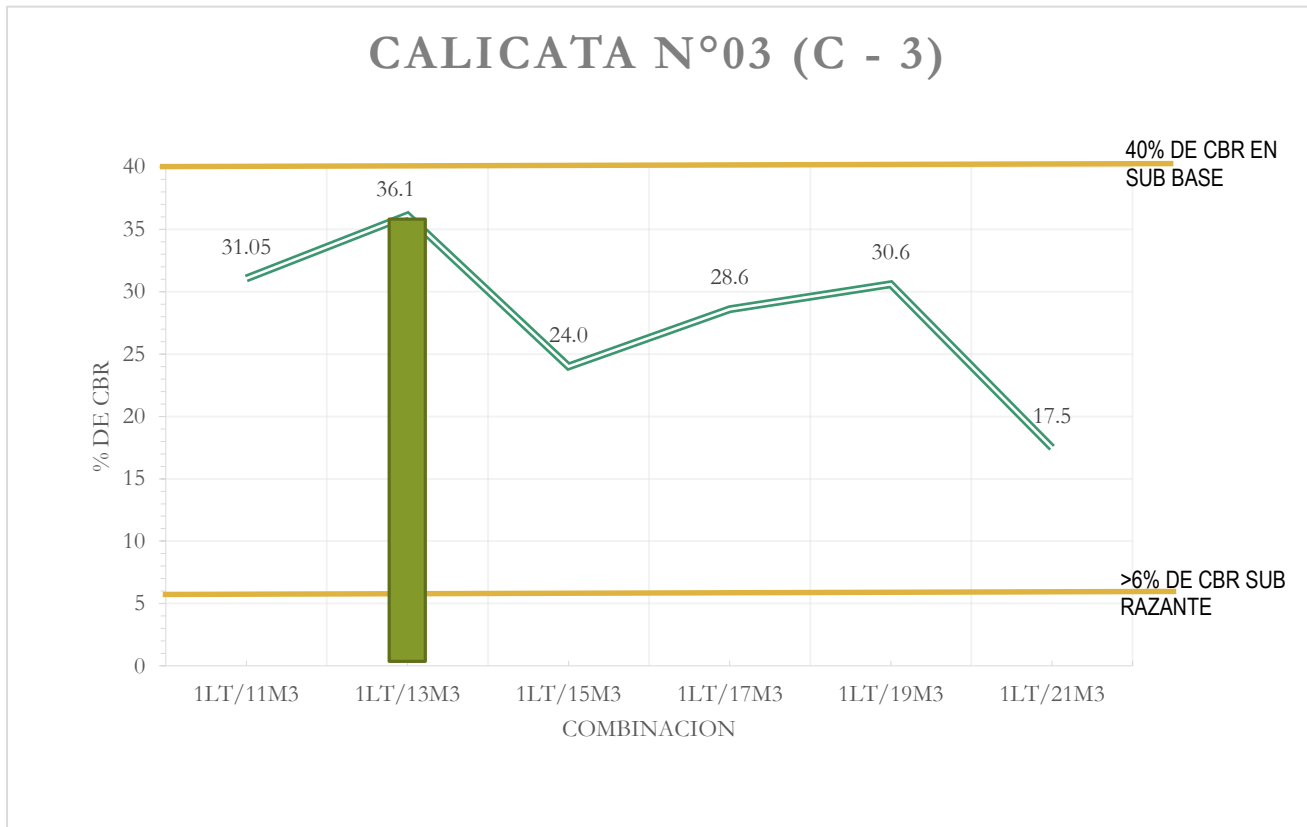
Gráfico 3: Calicata número 02.



Fuente: elaboración propia, tomando en cuenta los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio.

En el gráfico N°04: Se observa en la gráfica de la C – 3 las diferentes combinaciones en el eje X, y en el eje Y el porcentaje de CBR obtenido, de lo mostrado se puede determinar que con la combinación de 1LT/13M3 se obtiene un porcentaje de CBR de 36.1% siendo el mayor de los demás. Entonces de acuerdo al cuadro 12.4 del manual de carreteras “Suelos, Geología, Geotecnia y pavimentos en la sección de suelos y pavimentos nos indica que  $CBR \geq 30\%$  son considerados como subrasante extraordinaria. Siendo así nos encontramos dentro de una subrasante extraordinaria.

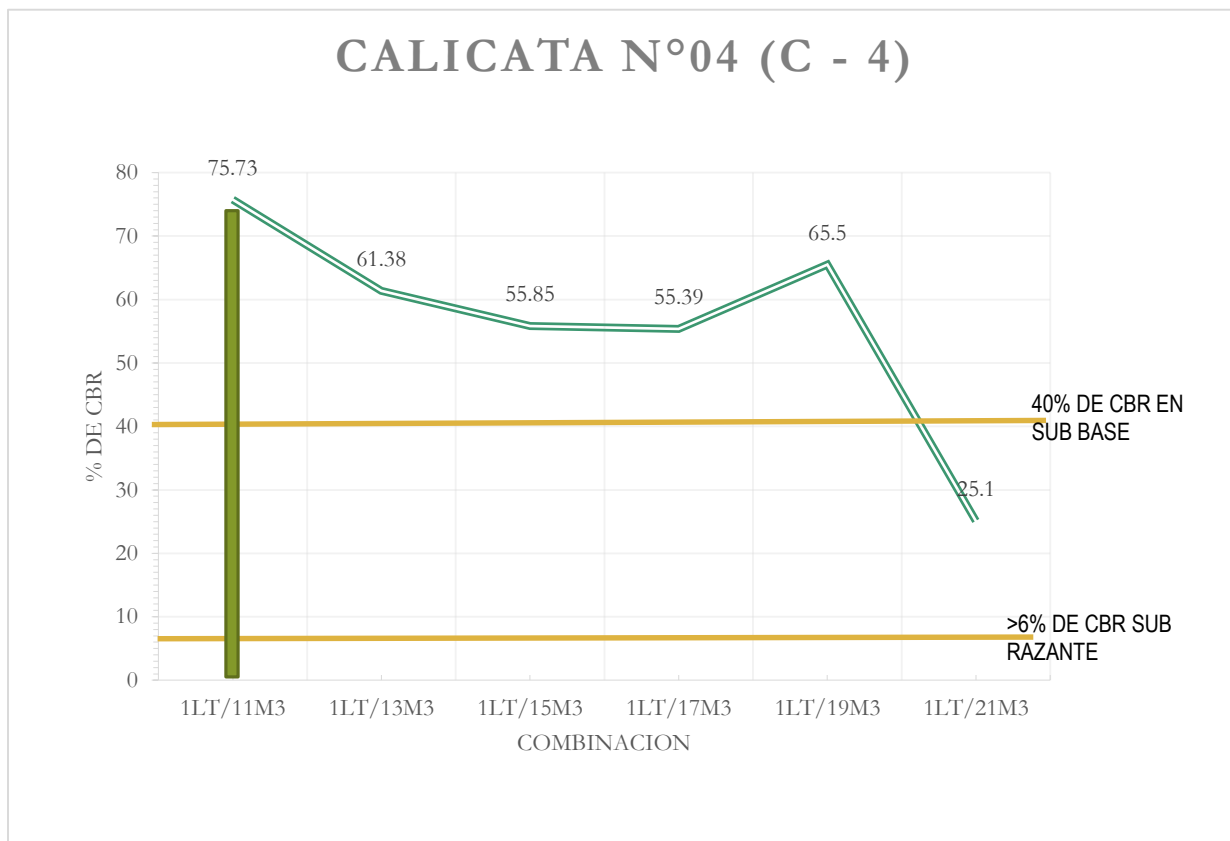
Gráfico 4: Calicata número 03.



Fuente: elaboración propia, tomando en cuenta los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio.

En el gráfico N°05: Se observa en la gráfica de la C - 4 las diferentes combinaciones en el eje X, y en el eje Y el porcentaje de CBR obtenido, de lo mostrado se puede determinar que con la combinación de 1LT/11M3 se obtiene un porcentaje de CBR de 75.73% siendo el mayor de los demás. Entonces de acuerdo al cuadro 10.1 del Manual de Carreteras "Suelos, Geología, Geotecnia y pavimentos en la sección de suelos y pavimentos nos indica que el CBR mínimo debe ser de 40% para sub base, lo cual quiere decir que el suelo de la calicata N°04 es considerado como suelo de sub base.

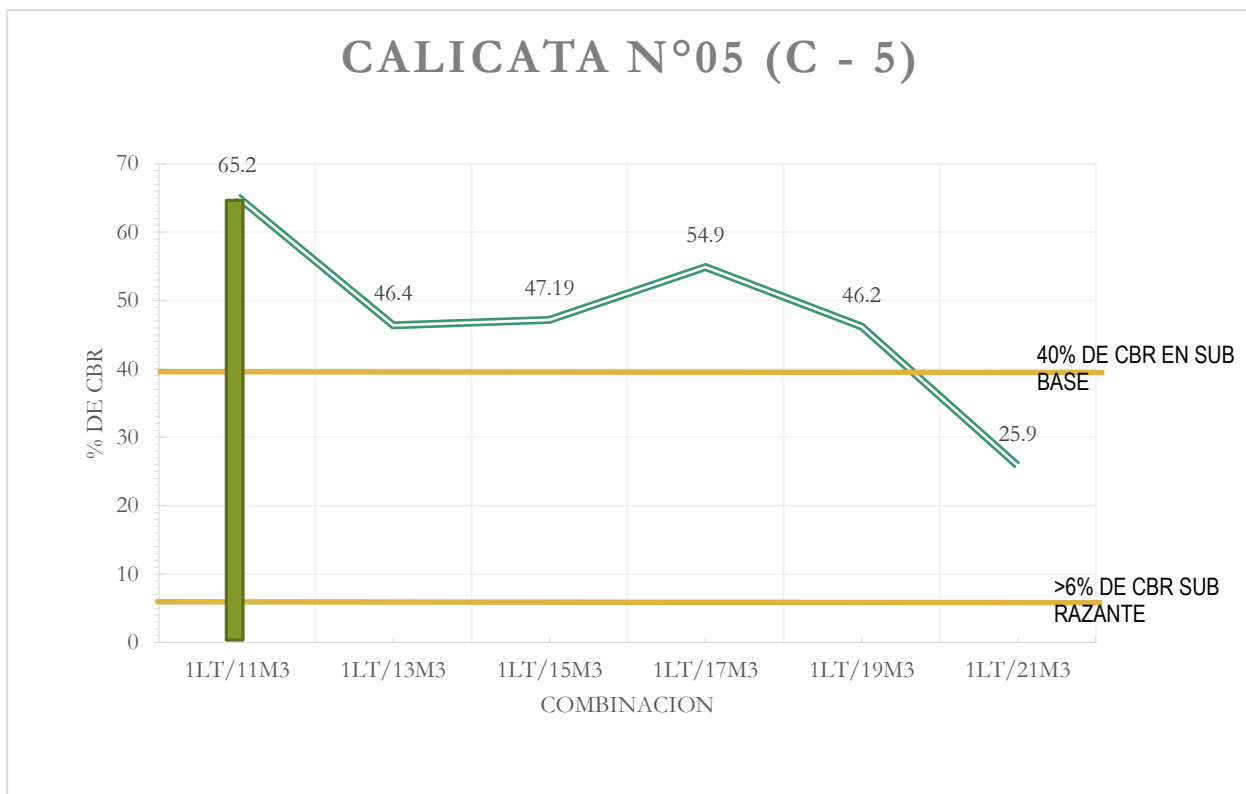
Gráfico 5: Calicata número 04.



Fuente: elaboración propia, tomando en cuenta los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio.

En el gráfico N°06: Se observa en la gráfica de la C – 5 las diferentes combinaciones en el eje X, y en el eje Y el porcentaje de CBR obtenido, de lo mostrado se puede determinar que con la combinación de 1LT/11M3 se obtiene un porcentaje de CBR de 65.2% siendo el mayor de los demás. Entonces de acuerdo al cuadro 10.1 del Manual de Carreteras “Suelos, Geología, Geotecnia y pavimentos en la sección de suelos y pavimentos nos indica que el CBR mínimo debe ser de 40% para sub base, lo cual quiere decir que el suelo de la calicata N°05 es considerado como suelo sub base.

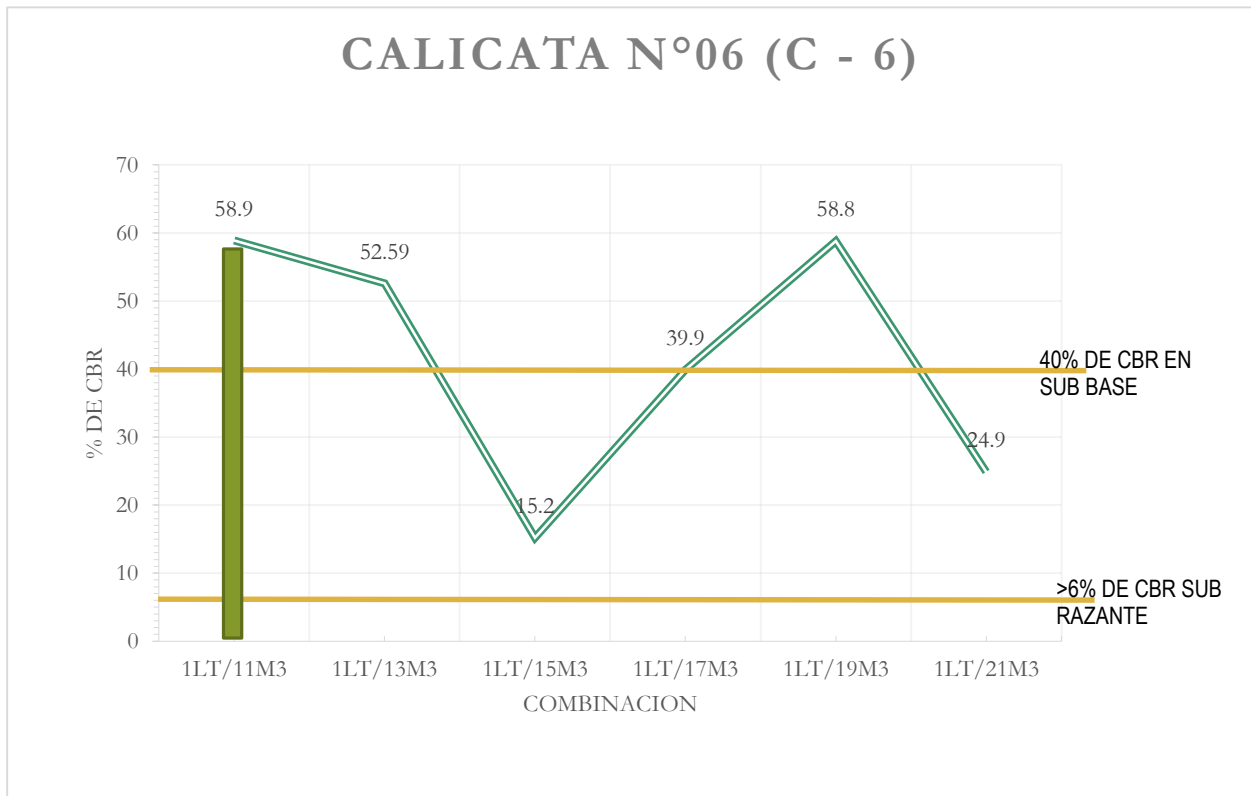
Gráfico 6: Calicata número 05.



Fuente: elaboración propia, tomando en cuenta los resultados obtenidos en el laboratorio.

En el gráfico N°07: Se observa en la gráfica de la C - 6 las diferentes combinaciones en el eje X, y en el eje Y el porcentaje de CBR obtenido, de lo mostrado se puede determinar que con la combinación de 1LT/11M3 se obtiene un porcentaje de CBR de 58.9% siendo el mayor de los demás. Entonces de acuerdo al cuadro 10.1 del Manual de Carreteras "Suelos, Geología, Geotecnia y pavimentos en la sección de suelos y pavimentos nos indica que el CBR mínimo debe ser de 40% para sub base, lo cual quiere decir que el suelo de la calicata N°06 es considerado como suelo de sub base.

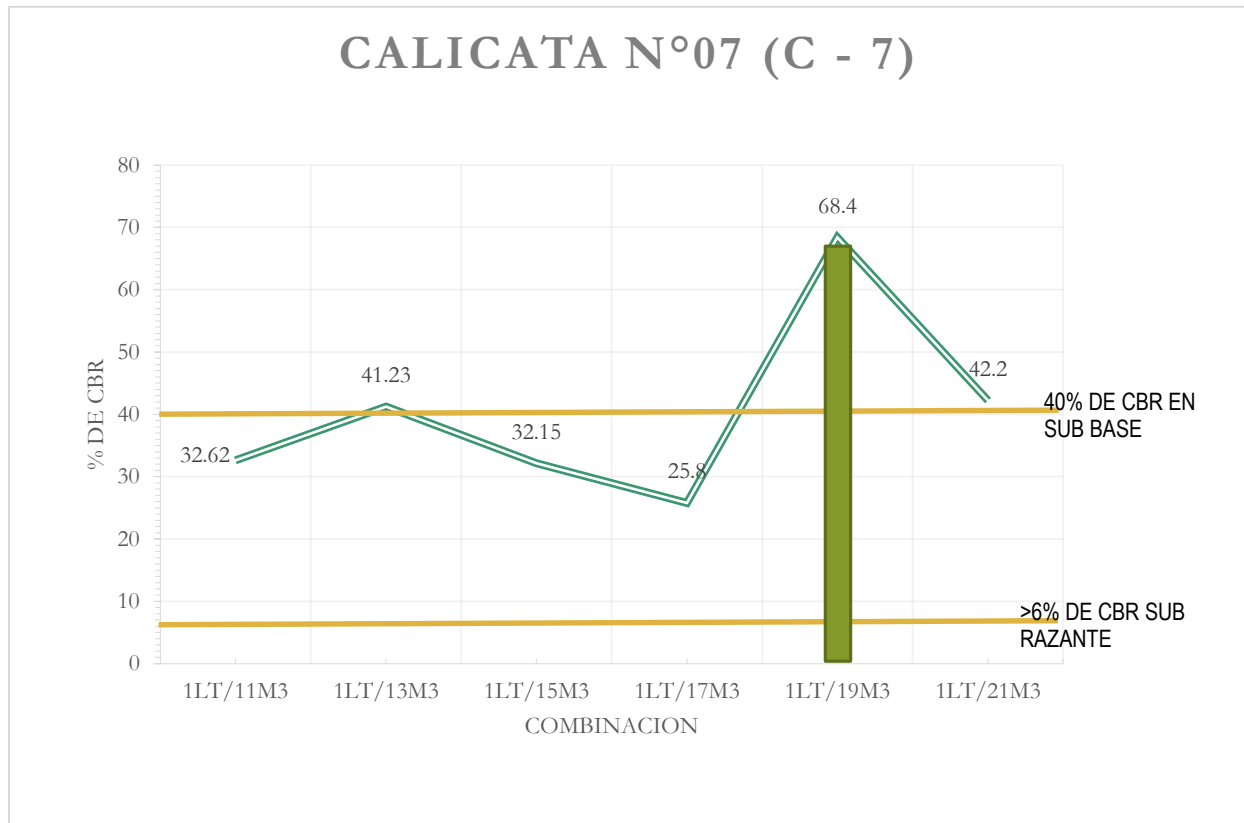
Gráfico 7: Calicata número 06.



Fuente: elaboración propia, tomando en cuenta los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio.

En el gráfico N°08: Se observa en la gráfica de la C - 7 las diferentes combinaciones en el eje X, y en el eje Y el porcentaje de CBR obtenido, de lo mostrado se puede determinar que con la combinación de 1LT/19M3 se obtiene un porcentaje de CBR de 68.4% siendo el mayor de los demás. Entonces de acuerdo al cuadro 10.1 del Manual de Carreteras "Suelos, Geología, Geotecnia y pavimentos en la sección de suelos y pavimentos nos indica que el CBR mínimo debe ser de 40% para sub base, lo cual quiere decir que el suelo de la calicata N°07 es considerado como suelo de sub base.

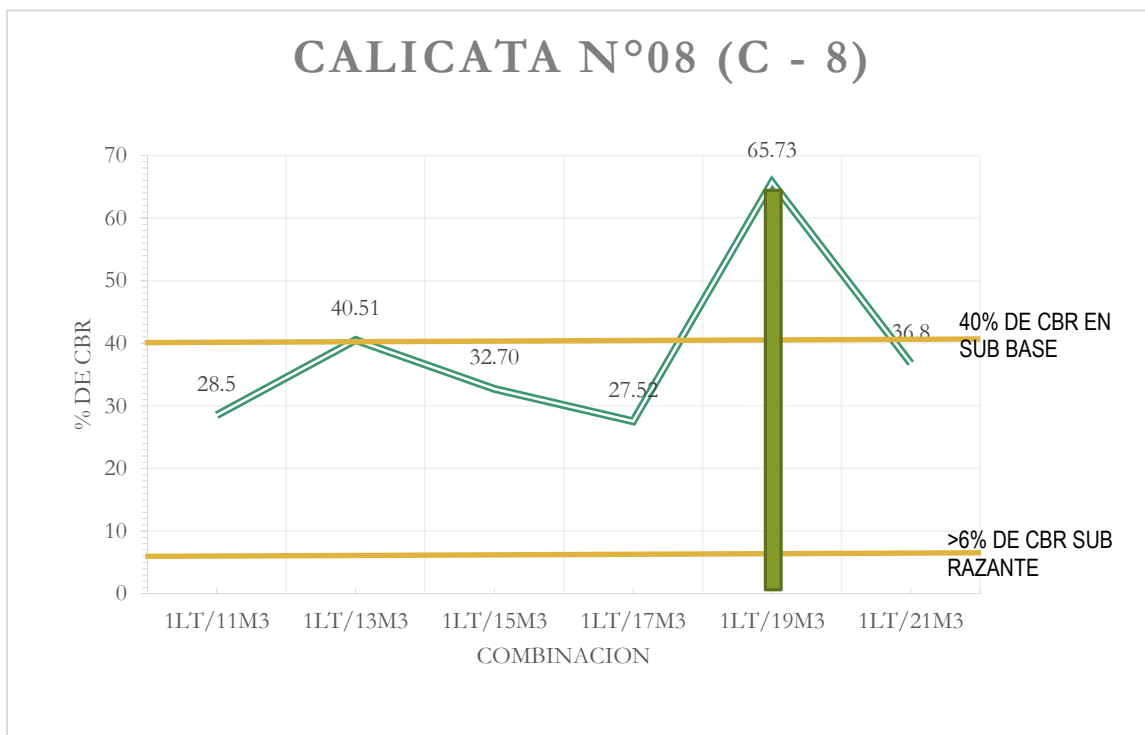
Gráfico 8: Calicata número 07.



Fuente: elaboración propia, tomando en cuenta los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio.

En el gráfico N°09: Se observa en la gráfica de la C - 8 las diferentes combinaciones en el eje X, y en el eje Y el porcentaje de CBR obtenido, de lo mostrado se puede determinar que con la combinación de 1LT/19M3 se obtiene un porcentaje de CBR de 65.73% siendo el mayor de los demás. Entonces de acuerdo al cuadro 10.1 del Manual de Carreteras "Suelos, Geología, Geotecnia y pavimentos en la sección de suelos y pavimentos nos indica que el CBR mínimo debe ser de 40% para sub base, lo cual quiere decir que el suelo de la calicata N°08 es considerado como suelo de sub base.

Gráfico 9: Calicata número 08.

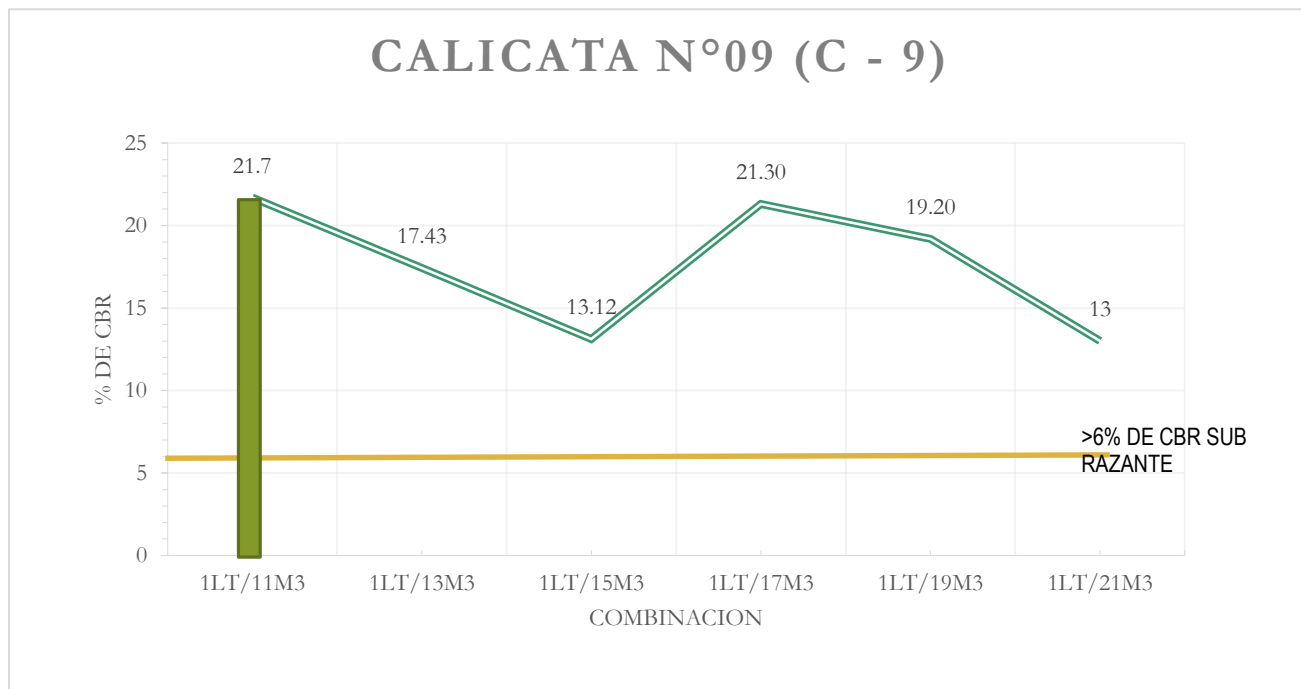


Fuente: elaboración propia, tomando en cuenta los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio.

En el gráfico N°10: Se observa en la gráfica de la C - 9 las diferentes combinaciones en el eje X y en el eje Y el porcentaje de CBR obtenido, de lo mostrado se puede determinar que con la combinación de 1LT/11M3 se obtiene un porcentaje de CBR de 21.7% siendo el mayor de los demás. Entonces de acuerdo al cuadro 12.4 del manual de carreteras "Suelos, Geología, Geotecnia y pavimentos en la sección de suelos y pavimentos nos indica que  $CBR \geq 20\%$  a  $CBR < 30\%$  son considerados como sub rasante muy buena. Siendo así nos encontramos dentro de una sub rasante muy buena.



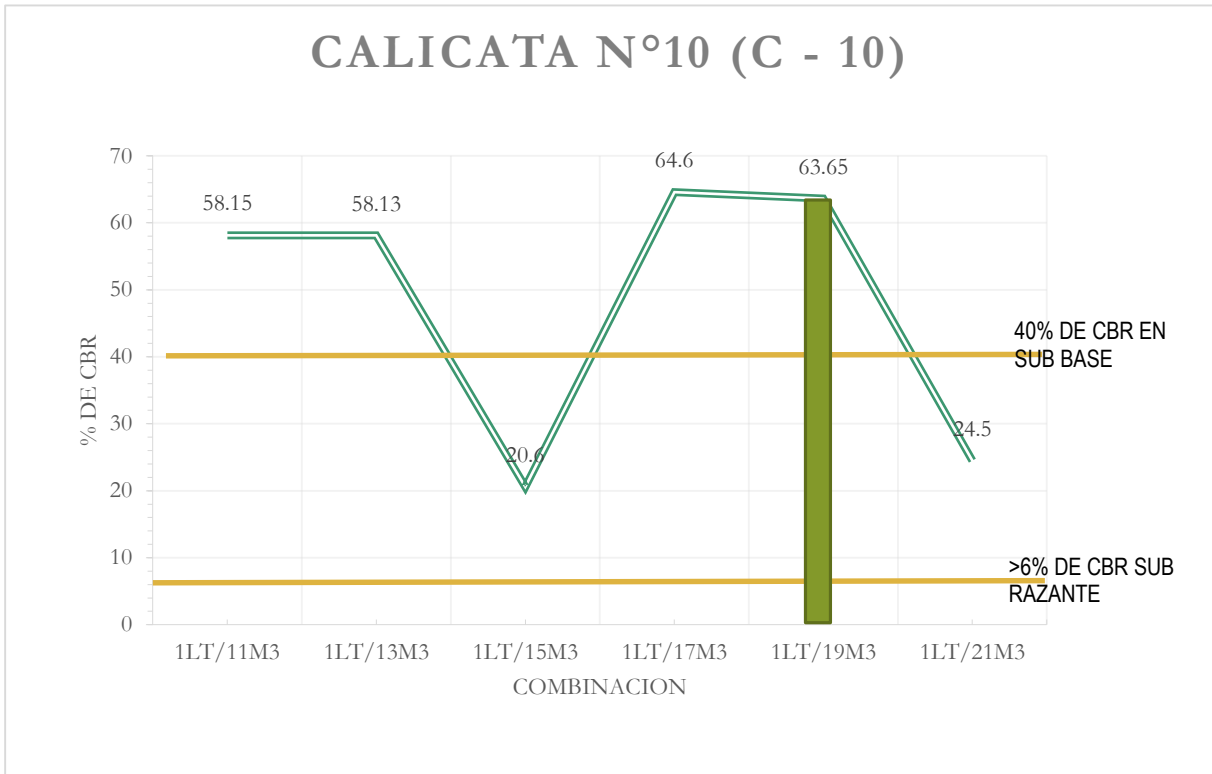
Gráfico 10: Calicata número 09.



Fuente: elaboración propia, tomando en cuenta los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio.

En el gráfico N°11: Se observa en la gráfica de la C - 10 las diferentes combinaciones en el eje X, y en el eje Y el porcentaje de CBR obtenido, de lo mostrado se puede determinar que con la combinación de 1LT/19M3 se obtiene un porcentaje de CBR de 63.65% siendo el mayor de los demás. Entonces de acuerdo al cuadro 10.1 del Manual de Carreteras "Suelos, Geología, Geotecnia y pavimentos en la sección de suelos y pavimentos nos indica que el CBR mínimo debe ser de 40% para sub base, lo cual quiere decir que el suelo de la calicata N°10 es considerado como suelo de sub base.

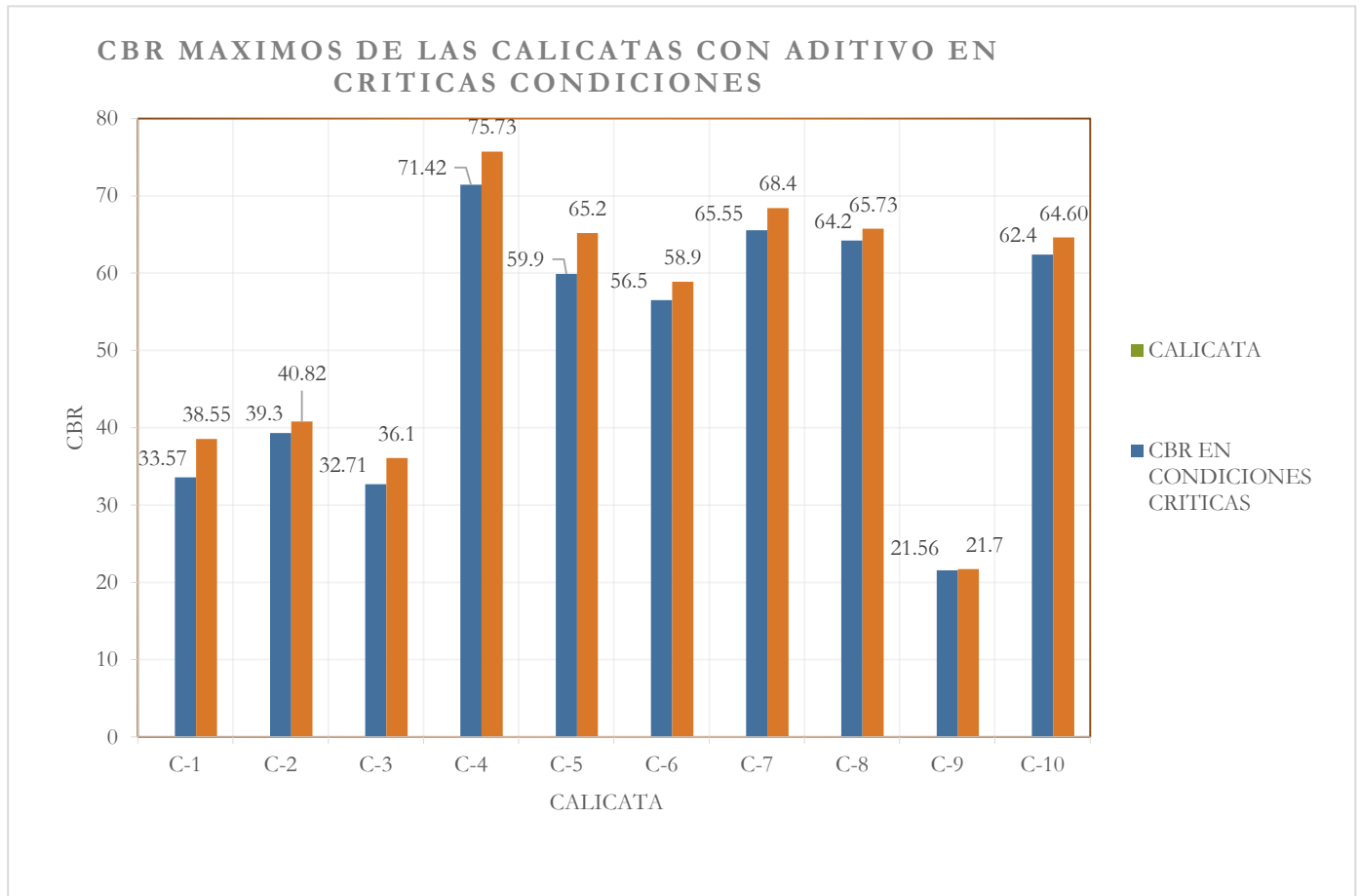
Gráfico 11: Calicata número 10.



Fuente: elaboración propia, tomando en cuenta los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio.

En el gráfico N°12: se puede observar que los CBRs. máximos de cada calicata con su respectiva combinación, al ser sometidos a condiciones críticas (saturación), han bajado su resistencia pero no en una cantidad considerable.

Gráfico 12: Barras, donde se comparan los CBR en estado crítico y el curado.



Fuente: elaboración propia, tomando en cuenta los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio.

En el cuadro N°17, se puede observar que son 7 calicatas que reaccionaron para sub base y 3 calicatas para sub rasante.

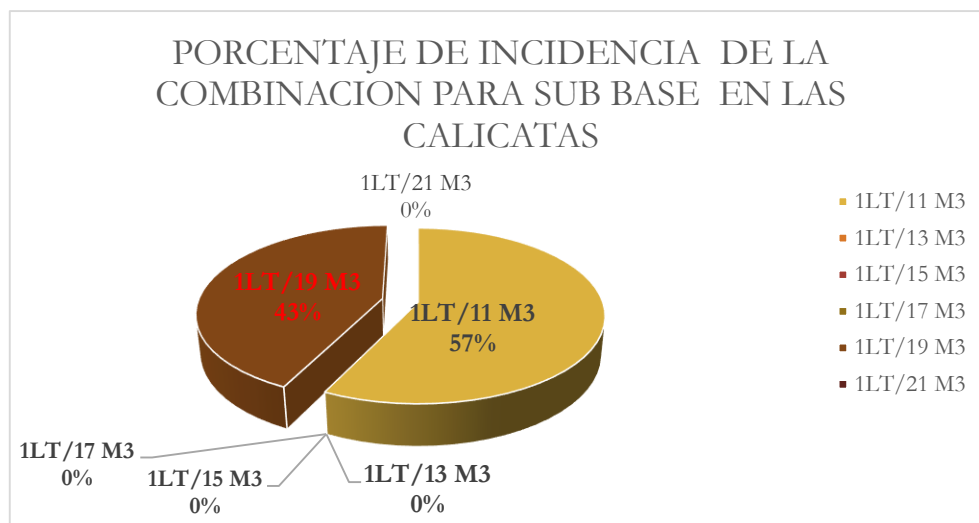
Cuadro 17: Resumen de las calicatas estabilizadas para sub base y sub rasante.

DESCRIPCION	CALICATA	COMBINACION	CBR
40% DE CBR ( SUB BASE)	C-2	1lt/11M3	40.82%
	C-4	1LT/11M3	75.73%
	C-5	1LT/11M3	65.20%
	C-6	1LT/11M3	58.90%
	C-7	1LT/19M3	68.40%
	C-8	1LT/19M3	65.73%
	C-10	1LT/19M3	63.65%
> 30 % DE CBR ( SUBRASANTE ETRAORDINARIA)	c-1	1LT/11M3	38.55%
	C-3	1LT/13M3	36.10%
20% A 30% DE CBR ( SUBRASANTE MUY BUENA)	C-9	1LT/19M3	21.70%

Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico N°13: Con el grafico se puede determinar el grado de incidencia que tubo cada dosificación que se aplicó al suelo para estabilizar, pudiendo demostrarse que la combinación de 1LT/11M3 tuvo incidencia del 57% con respecto a 5 calicatas en total que llegaron a alcanzar un % de CBR que cumplan para la capa de sub base, y sucesivo a este es la combinación de 1LT/19M3 con el 43% de incidencia con respecto a 4 calicatas en total que llegaron a alcanzar un % de CBR que cumplan para la capa de sub base.

Gráfico 13: Porcentaje de incidencia de las combinaciones (lt/m3).



Fuente: elaboración propia.

## **CAPITULO V**

### **CÁLCULO DEL PAQUETE ESTRUCTURAL Y ELABORACIÓN DEL PRESUPUESTO PARA UN PAVIMENTO RÍGIDO Y FLEXIBLE.**

#### **5.1. CÁLCULO DEL PAQUETE ESTRUCTURAL PARA PAVIMENTO RÍGIDO Y FLEXIBLE:**

Para realizar el diseño del pavimento hicimos uso del manual “Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos”, forma parte de los Manuales de Carreteras establecidos por el Reglamento Nacional de Gestión de Infraestructura Vial aprobado por D.S. N° 034-2008-MTC.

En este manual se ha optado, para el dimensionamiento de las secciones del pavimento, por los procedimientos más generalizados de uso actual en el país. Los procedimientos adoptados son:

- a. Método AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1993.
- b. Análisis de la Performance o Comportamiento del Pavimento durante el periodo de diseño.

### 5.1.1 DISEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE.

Se realizaron los cálculos del paquete estructural tomando en cuenta dos situaciones:

- Diseño del pavimento para un suelo natural.
- Diseño del pavimento para un suelo estabilizado con Eco Road 2000.

En la hoja de diseño 1 y 2 se puede observar la diferencia de espesores obtenidos del cálculo, en el diseño número 1 (trabajando con el C.B.R del suelo natural) se obtiene un espesor de 5 cm para la carpeta asfáltica, 15 cm para la base y 19.5cm redondeado 20 cm para la sub base, en el diseño número 2 (trabajando con el C.B.R. obtenido de la combinación del aditivo con el suelo natural) se obtiene un espesor de 5 cm para la carpeta asfáltica, 7.5 cm para la base y 8 cm para la sub base, , sin embargo, según en manual de carreteras el espesor mínimo es de 15 cm.

HOJA DE DISEÑO 1: Para calcular los espesores de un pavimento flexible en un suelo natural.

## DISEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE METODO AASHTO 1993 (MTC) PARA UN SUELO NATURAL

PROYECTO : **Ejemplo**  
SECCION 1 :            km            -            km

FECHA : 12/06/2015

### 1. REQUISITOS DEL DISEÑO

a. PERIODO DE DISEÑO (Años)	20
b. NUMERO DE EJES EQUIVALENTES TOTAL (W18)	4.14E+05
c. SERVICIABILIDAD INICIAL (pi)	3.8
d. SERVICIABILIDAD FINAL (pt)	2.0
e. FACTOR DE CONFIABILIDAD (R)	75%
STANDARD NORMAL DEVIATE (Zr)	-0.674
OVERALL STANDARD DEVIATION (So)	0.45

### 2. PROPIEDADES DE MATERIALES

a. MODULO DE RESILIENCIA DE LA BASE GRANULAR (KIP/IN <sup>2</sup> )	
b. MODULO DE RESILIENCIA DE LA SUB-BASE	
c. MODULO DE RESILIENCIA DE LA SUBRASANTE (Mr, ksi)	10.28

### 3. CALCULO DEL NUMERO ESTRUCTURAL (Variar SN Requerido hasta que N18 Nominal = N18 Cálculo)

<b>SN Requerido</b>	<b>G<sub>t</sub></b>	<b>N18 NOMINAL</b>	<b>N18 CALCULO</b>
<b>2.39</b>	-0.17609	5.62	5.62

### 3. ESTRUCTURACION DEL PAVIMENTO

a. COEFICIENTES ESTRUCTURALES DE CAPA	
Concreto Asfáltico (a1)	0.33
Base granular (a2)	0.14
Subbase (a3)	0.13
b. COEFICIENTES DE DRENAJE DE CAPA	
Base granular (m2)	1.00
Subbase (m3)	1.00

ALTERNATIVA	SNreq	SNresul	D1(cm)	D2(cm)	D3(cm)
1	2.39	2.40	<b>5</b>	<b>15</b>	<b>19.5</b>
2	2.39	0.00			

Fuente: elaboración propia.



HOJA DE DISEÑO 2: Para calcular los espesores de un pavimento flexible usando el aditivo Eco Road 2000.

**DISEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE  
METODO AASHTO 1993 (MTC)  
PARA UN SUELO ESTABILIZADO CON ECO ROAD 2000**

PROYECTO : **Ejemplo** FECHA : **12/06/2015**  
SECCION 1 :      km      -      km

**1. REQUISITOS DEL DISEÑO**

a. PERIODO DE DISEÑO (Años)	<b>20</b>
b. NUMERO DE EJES EQUIVALENTES TOTAL (W18)	<b>4.14E+05</b>
c. SERVICIABILIDAD INICIAL (pi)	<b>3.8</b>
d. SERVICIABILIDAD FINAL (pt)	<b>2.0</b>
e. FACTOR DE CONFIABILIDAD (R)	<b>75%</b>
STANDARD NORMAL DEVIATE (Zr)	<b>-0.674</b>
OVERALL STANDARD DEVIATION (So)	<b>0.45</b>

**2. PROPIEDADES DE MATERIALES**

a. MODULO DE RESILIENCIA DE LA BASE GRANULAR (KIP/IN <sup>2</sup> )	
b. MODULO DE RESILIENCIA DE LA SUB-BASE	
c. MODULO DE RESILIENCIA DE LA SUBRASANTE (Mr, ksi)	<b>36.91</b>

**3. CALCULO DEL NUMERO ESTRUCTURAL (Variar SN Requerido hasta que N18 Nominal = N18 Calculo)**

SN Requerido	G <sub>t</sub>	N18 NOMINAL	N18 CALCULO
<b>1.43</b>	0.17609	5.62	5.62

**3. ESTRUCTURACION DEL PAVIMENTO**

a. COEFICIENTES ESTRUCTURALES DE CAPA	
Concreto Asfáltico (a1)	<b>0.33</b>
Base granular (a2)	<b>0.14</b>
Subbase (a3)	<b>0.13</b>
b. COEFICIENTES DE DRENAJE DE CAPA	
Base granular (m2)	<b>1.00</b>
Subbase (m3)	<b>1.00</b>

ALTERNATIVA	SNreq	SNresul	D1(cm)	D2(cm)	D3(cm)
1	1.43	1.43	<b>5</b>	<b>7.5</b>	<b>8</b>
2	1.43	0.00			

Fuente: elaboración propia

### 5.1.2 DISEÑO DEL PAVIMENTO RÍGIDO.

Se realizaron los cálculos del paquete estructural tomando en cuenta dos situaciones:

- Diseño del pavimento para un suelo natural.
- Diseño del pavimento para un suelo estabilizado con Eco Road 2000.

En la hoja de diseño 3 y 4 se puede observar la diferencia de espesores obtenidos del cálculo, en el diseño número 3 (trabajando con el C.B.R del suelo natural) se obtiene un espesor de losa de 12 cm y un espesor de sub base de 20 cm, en el diseño número 4 (trabajando con el C.B.R. obtenido de la combinación del aditivo con el suelo natural) se obtiene un espesor de losa de 7 cm y un espesor de 10 cm para la sub base, sin embargo, según en manual de carreteras el espesor mínimo es de 15 cm.

HOJA DE DISEÑO 3: Para calcular los espesores de un pavimento rígido en un suelo natural.

DISEÑO DE PAVIMENTO RIGIDO				
METODO AASHTO 1993 (MTC)				
PARA UN SUELO NATURAL				
PROYECTO :		Ejemplo		FECHA : 12/06/2015
SECCION 1 :	km		- km	
1. REQUISITOS DEL DISEÑO				
a. PERIODO DE DISEÑO (Años)				20
b. NUMERO DE EJES EQUIVALENTES TOTAL (W18)				4.14E+05
c. SERVICIABILIDAD INICIAL (pi)				4.1
d. SERVICIABILIDAD FINAL (pt)				2.0
e. FACTOR DE CONFIABILIDAD (R)				75%
STANDARD NORMAL DEVIATE (Zr)				-0.674
OVERALL STANDARD DEVIATION (So)				0.35
2. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES				
a. RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL CONCRETO f'c (kg/cm2)				210
RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL CONCRETO f'c ( psi )				2,980.64
b. MODULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO Ec ( psi )				3,111,928.14
c. MODULO DE ROTURA S'c ( psi )				623.87
d. MODULO DE REACCION DE LA SUBRASANTE- K ( pci )				187.47
e. TRANSFERENCIA DE CARGA ( J )				2.8
f. COEFICIENTE DE DRENAJE ( Cd )				1.0
D (pulg)		G <sub>t</sub>	N18 NOMINAL	N18 CALCULO
4.800		-0.15490	5.62	5.62
4. ESTRUCTURACION DEL PAVIMENTO				
A. ESPESOR DE LOSA REQUERIDO ( Df ), pulgadas				5
B. ESPESOR DE LOSA REQUERIDO ( Df ), centímetros				12
C. ESPESOR DE SUB BASE ( SB ), pulgadas				8
D. ESPESOR DE SUB BASE ( SB ), centímetros				20

Fuente: elaboración propia

HOJA DE DISEÑO 4: Para calcular los espesores de un pavimento rígido usando el aditivo Eco Road 2000.

DISEÑO DE PAVIMENTO RIGIDO					
METODO AASHTO 1993					
PARA UN SUELO ESTABILIZADO CON ECO ROAD 2000					
PROYECTO :	Ejemplo			FECHA :	12/06/2015
SECCION 1 :	km	-	km		
1. REQUISITOS DEL DISEÑO					
a. PERIODO DE DISEÑO (Años)					20
b. NUMERO DE EJES EQUIVALENTES TOTAL (W18)					4.14E+05
c. SERVICIABILIDAD INICIAL (pi)					4.1
d. SERVICIABILIDAD FINAL (pt)					2.0
e. FACTOR DE CONFIABILIDAD (R)					75%
STANDARD NORMAL DEVIATE (Zr)					-0.674
OVERALL STANDARD DEVIATION (So)					0.35
2. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES					
a. RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL CONCRETO f'c (kg/cm2)					210
RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL CONCRETO f'c (psi)					2,980.64
b. MODULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO Ec (psi)					3,111,928.14
c. MODULO DE ROTURA S'c (psi)					623.87
d. MODULO DE REACCION DE LA SUBRASANTE- K (pci)					612.88
e. TRANSFERENCIA DE CARGA (J)					2.8
f. COEFICIENTE DE DRENAJE (Cd)					1.0
3. CALCULO DEL ESPESOR DE LOSA (Variar D Requerido hasta que N18 Nominal = N18 Calculo)					
D (pulg)		G <sub>t</sub>	N18 NOMINAL		N18 CALCULO
2.900		-0.15490	5.62		5.62
4. ESTRUCTURACION DEL PAVIMENTO					
A. ESPESOR DE LOSA REQUERIDO ( Df ), pulgadas					3
B. ESPESOR DE LOSA REQUERIDO ( Df ), centimetros					7
C. ESPESOR DE SUB BASE ( SB ), pulgadas					4
D. ESPESOR DE SUB BASE ( SB ), centimetros					10

Fuente: elaboración propia

## 5.2. ELABORACIÓN DE LA HOJA DE PRESUPUESTO.

Hoja de presupuesto 1: De pavimento flexible – sin el uso del aditivo Eco Road 2000.

Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
Subpresupuesto P. FLEXIBLE - SIN EL USO DEL ADITIVO ECO ROAD 2000					
Cliente UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES					
Lugar JUNIN - HUANCAYO - PALIAN					
<b>01</b>	<b>EXPLANACIONES</b>				<b>8.58</b>
0101	CORTE DE TERRENO A NIVEL DE SUBRASANTE	m3	150	5.72	8.58
<b>02</b>	<b>ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE</b>				<b>21.32</b>
02.01	CARGIO (ELIM. DE MATERIAL EXCEDENTE)	m3	150	3.88	5.82
02.02	TRANSPORTE (ELIM. DE MATERIAL EXCEDENTE)	m3	150	8.79	13.19
02.03	ESCARIFICADO, PERFILADO/COMP. SUBRASANTE	m2	100	2.31	2.31
<b>03</b>	<b>PAVIMENTOS</b>				<b>87.99</b>
<b>03.01</b>	<b>MEJORAMIENTO DE MATERIAL SR</b>				<b>71.58</b>
03.0101	MATERIAL P/MEJ. DE SUB RASANTE	m3	0.60	35.00	21.00
03.0102	EXTENDIDO/RIEGO/COMP. P/MEJ. E=VARIABLE	m2	3.00	2.08	6.24
03.0103	PIEDRA DE 6" P/MEJ. DE SUB RASANTE	m3	0.60	50.00	30.00
03.0104	EXTENDIDO/RIEGO/COMP. DE PIEDRA P/MEJ. E=VARIABLE	m2	3.00	4.78	14.34
<b>03.02</b>	<b>SUB BASE GRANULAR</b>				<b>9.08</b>
03.0201	MATERIAL PARA SUB BASE	m3	0.20	35.00	7.00
03.0202	EXTENDIDO/RIEGO/COMP. DE SUB BASE E=0.20 M	m2	100	2.08	2.08
<b>03.03</b>	<b>BASE GRANULAR</b>				<b>7.33</b>
03.0301	MATERIAL PARA BASE	m3	0.15	35.00	5.25
03.0302	EXTENDIDO/RIEGO/COMP. DE BASE E=0.15 M	m2	100	2.08	2.08
<b>Costo Directo</b>					<b>117.89</b>
<b>SON : CIENTO DIECISIETE Y 89/100 NUEVOS SOLES</b>					

Fuente: elaboración propia con el programa S10 de presupuestos.

Hoja de presupuesto 2: De pavimento flexible - con el uso del aditivo Eco Road 2000.

Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
Subpresup P. FLEXIBLE - CON EL USO DEL ADITIVO ECO ROAD					
Cliente UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES					
Lugar JUNIN - HUANCAYO - PALIAN					
<b>01</b>	<b>EXPLANACIONES</b>				<b>2.31</b>
02.03	ESCARIFICADO, PERFILADO/COMP. SUBRASANTE	m2	100	2.31	2.31
<b>03</b>	<b>PAVIMENTOS</b>				<b>58.70</b>
<b>03.01</b>	<b>MEJORAMIENTO DE MATERIAL SR</b>				<b>48.24</b>
03.0102	EXTENDIDO/RIEGO/COMP. P/MEJ. E=VARIABLE	m2	3.00	16.08	48.24
<b>03.02</b>	<b>SUB BASE GRANULAR</b>				<b>5.58</b>
03.0201	MATERIAL PARA SUB BASE	m3	0.10	35.00	3.50
03.0202	EXTENDIDO/RIEGO/COMP. DE SUB BASE E=0.10 M	m2	100	2.08	2.08
<b>03.03</b>	<b>BASE GRANULAR</b>				<b>4.88</b>
03.0301	MATERIAL PARA BASE	m3	0.08	35.00	2.80
03.0302	EXTENDIDO/RIEGO/COMP. DE BASE E=0.075 M	m2	100	2.08	2.08
<b>Costo Directo</b>					<b>61.01</b>
<b>SON : SESENTIUNO Y 01/100 NUEVOS SOLES</b>					

Fuente: elaboración propia con el programa S10 de presupuestos.

## Hoja de presupuesto 3: De pavimento flexible de la Av. La Victoria (se está ejecutando).

Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
Subpresupuesto 1.00 P. FLEXIBLE AV. LA VICTORIA (se esta ejecutando)					
Cliente UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES					
Lugar JUNIN - HUANCAYO - PALIAN					
01	<b>EXPLANACIONES</b>				<b>8.58</b>
01.01	CORTE DE TERRENO A NIVEL DE SUBRASANTE	m3	150	5.72	8.58
02	<b>ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE</b>				<b>21.32</b>
02.01	CARGIO (ELIM. DE MATERIAL EXCEDENTE)	m3	150	3.88	5.82
02.02	TRANSPORTE (ELIM. DE MATERIAL EXCEDENTE)	m3	150	8.79	13.19
02.03	ESCARIFICADO, PERFILADO/COMP. SUBRASANTE	m2	100	2.31	2.31
03	<b>PAVIMENTOS</b>				<b>89.74</b>
03.01	<b>MEJORAMIENTO DE MATERIAL SR</b>				<b>71.58</b>
03.01.01	MATERIAL P/MEJ. DE SUB RASANTE	m3	0.60	35.00	21.00
03.01.02	EXTENDIDO/RIEGO/COMP. P/MEJ. E=VARIABLE	m2	3.00	2.08	6.24
03.01.03	PIEDRA DE 6" P/MEJ. DE SUB RASANTE	m3	0.60	50.00	30.00
03.01.04	EXTENDIDO/RIEGO/COMP. DE PIEDRA P/MEJ. E=VARIABLE	m2	3.00	4.78	14.34
03.02	<b>SUB BASE GRANULAR</b>				<b>9.08</b>
03.02.01	MATERIAL PARA SUB BASE	m3	0.20	35.00	7.00
03.02.02	EXTENDIDO/RIEGO/COMP. DE SUB BASE E=0.20 M	m2	100	2.08	2.08
03.03	<b>BASE GRANULAR</b>				<b>9.08</b>
03.03.01	MATERIAL PARA BASE	m3	0.20	35.00	7.00
03.03.02	EXTENDIDO/RIEGO/COMP. DE BASE E=0.20 M	m2	100	2.08	2.08
<b>Costo Directo</b>					<b>119.64</b>
<b>SON : CIENTO DIECINUEVE Y 64/100 NUEVOS SOLES</b>					

Fuente: elaboración propia con el programa S10 de presupuestos.

## Hoja de presupuesto 4: De pavimento rígido - sin el uso del aditivo Eco Road 2000.

Subpresup	<b>P. RÍGIDO- SIN EL USO DEL ADITIVO ECO ROAD 2000.</b>				
Cliente	<b>UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES</b>				
Lugar	<b>JUNIN - HUANCAYO - PALIAN</b>				
<b>Item</b>	<b>Descripción</b>	<b>Und.</b>	<b>Metrado</b>	<b>Precio S/.</b>	<b>Parcial S/.</b>
<b>01</b>	<b>EXPLANACIONES</b>				<b>8.58</b>
01.01	CORTE DE TERRENO A NIVEL DE SUBRASANTE	m3	150	5.72	8.58
<b>02</b>	<b>ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE</b>				<b>30.40</b>
02.01	CARGIO (ELIM. DE MATERIAL EXCEDENTE)	m3	150	3.88	5.82
02.02	TRANSPORTE (ELIM. DE MATERIAL EXCEDENTE)	m3	150	8.79	13.19
02.03	ESCARIFICADO, PERFILADO/COMP. SUBRASANTE	m2	100	2.31	2.31
02.04	MATERIAL PARA BASE	m3	0.20	35.00	7.00
02.05	EXTENDIDO/RIEGO/COMP. DE BASE E=0.20 M	m2	100	2.08	2.08
<b>03</b>	<b>PAVIMENTOS</b>				<b>119.50</b>
<b>03.01</b>	<b>MEJORAMIENTO DE MATERIAL SR</b>				<b>71.58</b>
03.01.01	MATERIAL P/MEJ. DE SUB RASANTE	m3	0.60	35.00	21.00
03.01.02	EXTENDIDO/RIEGO/COMP. P/MEJ. E=VARIABLE	m2	3.00	2.08	6.24
03.01.03	PIEDRA DE 6" P/MEJ. DE SUB RASANTE	m3	0.60	50.00	30.00
03.01.04	EXTENDIDO/RIEGO/COMP. DE PIEDRA P/MEJ. E=VARIABLE	m2	3.00	4.78	14.34
<b>03.02</b>	<b>SUB BASE GRANULAR</b>				<b>9.08</b>
03.02.01	MATERIAL PARA SUB BASE	m3	0.20	35.00	7.00
03.02.02	EXTENDIDO/RIEGO/COMP. DE SUB BASE E=0.20 M	m2	100	2.08	2.08
<b>03.03</b>	<b>PAVIMENTO RÍGIDO</b>				<b>38.84</b>
03.03.01	CONCRETO PARA LOSA F' C=210 KG/CM2	m3	0.12	323.69	38.84
	<b>Costo Directo</b>				<b>158.48</b>
	<b>SON : CIENTO CINCUENTA Y OCHO Y 48/100 NUEVOS SOLES</b>				

Fuente: elaboración propia con el programa S10 de presupuestos.

## Hoja de presupuesto 5: De pavimento rígido - con el uso del aditivo Eco Road 2000.

Subpresupuesto	<b>P. RÍGIDO - CON EL USO DEL ADITIVO ECO ROAD 2000.</b>				
Cliente	<b>UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES</b>				
Lugar	<b>JUNIN - HUANCAYO - PALIAN</b>				
<b>Item</b>	<b>Descripción</b>	<b>Und.</b>	<b>Metrado</b>	<b>Precio S/.</b>	<b>Parcial S/.</b>
<b>01</b>	<b>EXPLANACIONES</b>				<b>2.31</b>
01.01	ESCARIFICADO, PERFILADO/COMP. SUBRASANTE	m2	100	2.31	2.31
<b>02</b>	<b>PAVIMENTOS</b>				<b>76.48</b>
<b>02.01</b>	<b>MEJORAMIENTO DE MATERIAL SR</b>				<b>48.24</b>
02.01.01	EXTENDIDO/RIEGO/COMP. P/MEJ. E=VARIABLE	m2	3.00	16.08	48.24
<b>02.02</b>	<b>SUB BASE GRANULAR</b>				<b>5.58</b>
02.02.01	MATERIAL PARA SUB BASE	m3	0.10	35.00	3.50
02.02.02	EXTENDIDO/RIEGO/COMP. DE SUB BASE E=0.10 M	m2	100	2.08	2.08
<b>02.03</b>	<b>PAVIMENTO RÍGIDO</b>				<b>22.66</b>
02.03.01	CONCRETO PARA LOSA F' C=210 KG/CM2	m3	0.07	323.69	22.66
	<b>Costo Directo</b>				<b>78.79</b>
	<b>SON : SETENTIOCHO Y 79/100 NUEVOS SOLES</b>				

Fuente: elaboración propia con el programa S10 de presupuestos.

## Hoja de presupuesto 6: De pavimento rígido - Av. La Victoria.

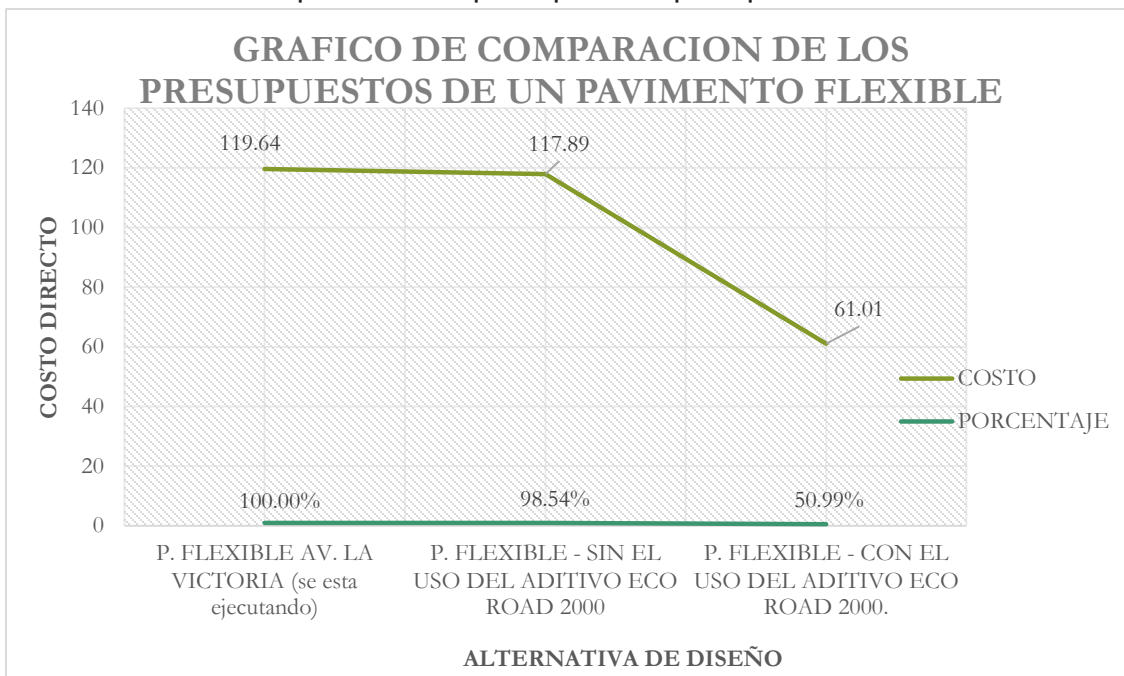
Subpresupuesto	<b>P. RÍGIDO - Av. LA VICTORIA.</b>				
Cliente	<b>UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES</b>				
Lugar	<b>JUNIN - HUANCAYO - PALIAN</b>				
<b>Item</b>	<b>Descripción</b>	<b>Und.</b>	<b>Metrado</b>	<b>Precio S/.</b>	<b>Parcial S/.</b>
<b>01</b>	<b>EXPLANACIONES</b>				<b>8.58</b>
01.01	CORTE DE TERRENO A NIVEL DE SUBRASANTE	m3	150	5.72	8.58
<b>02</b>	<b>ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE</b>				<b>30.40</b>
02.01	CARGIO (ELIM. DE MATERIAL EXCEDENTE)	m3	150	3.88	5.82
02.02	TRANSPORTE (ELIM. DE MATERIAL EXCEDENTE)	m3	150	8.79	13.19
02.03	ESCARIFICADO, PERFILADO/COMP.	m2	100	2.31	2.31
02.04	MATERIAL PARA BASE	m3	0.20	35.00	7.00
02.05	EXTENDIDO/RIEGO/COMP. DE BASE E=0.20 M	m2	100	2.08	2.08
<b>03</b>	<b>PAVIMENTOS</b>				<b>145.40</b>
<b>03.01</b>	<b>MEJORAMIENTO DE MATERIAL SR</b>				<b>71.58</b>
03.01.01	MATERIAL P/MEJ. DE SUB RASANTE	m3	0.60	35.00	21.00
03.01.02	EXTENDIDO/RIEGO/COMP. P/MEJ. E=VARIABLE	m2	3.00	2.08	6.24
03.01.03	PIEDRA DE 6" P/MEJ. DE SUB RASANTE	m3	0.60	50.00	30.00
03.01.04	EXTENDIDO/RIEGO/COMP. DE PIEDRA P/MEJ.	m2	3.00	4.78	14.34
<b>03.02</b>	<b>SUB BASE GRANULAR</b>				<b>9.08</b>
03.02.01	MATERIAL PARA SUB BASE	m3	0.20	35.00	7.00
03.02.02	EXTENDIDO/RIEGO/COMP. DE SUB BASE E=0.20	m2	100	2.08	2.08
<b>03.03</b>	<b>PAVIMENTO RÍGIDO</b>				<b>64.74</b>
03.03.01	CONCRETO PARA LOSA F´C=210 KG/CM2	m3	0.20	323.69	64.74
	<b>Costo Directo</b>				<b>184.38</b>
	<b>SON :</b>	<b>CIENTO OCHENTA Y CUATRO Y 38/100 NUEVOS SOLES</b>			

Fuente: elaboración propia con el programa S10 de presupuestos.

En el gráfico N°14: Se puede observar que según los costos calculados, la alternativa de diseño que sería conveniente es haciendo uso del aditivo ya que el costo es bajo (s/.61.01), el cálculo se realizó con el promedio de los CBRs en condiciones críticas de la Av. San Luis (C-7 y C-8), porque es la avenida más transitada en comparación con las demás.



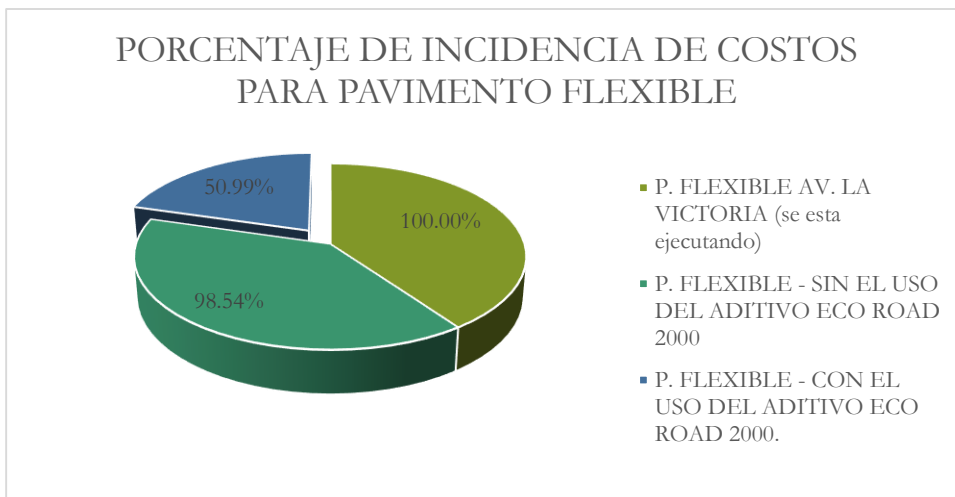
Gráfico 14: Comparación de presupuestos para pavimentos flexibles.



Fuente: elaboración propia

En el gráfico N°15: De acuerdo a los montos, se observa que la alternativa de diseño con el uso del aditivo Eco Road 2000 es el conveniente ya que la diferencia con respecto al costo con el que de esta ejecutando es del 49.01%

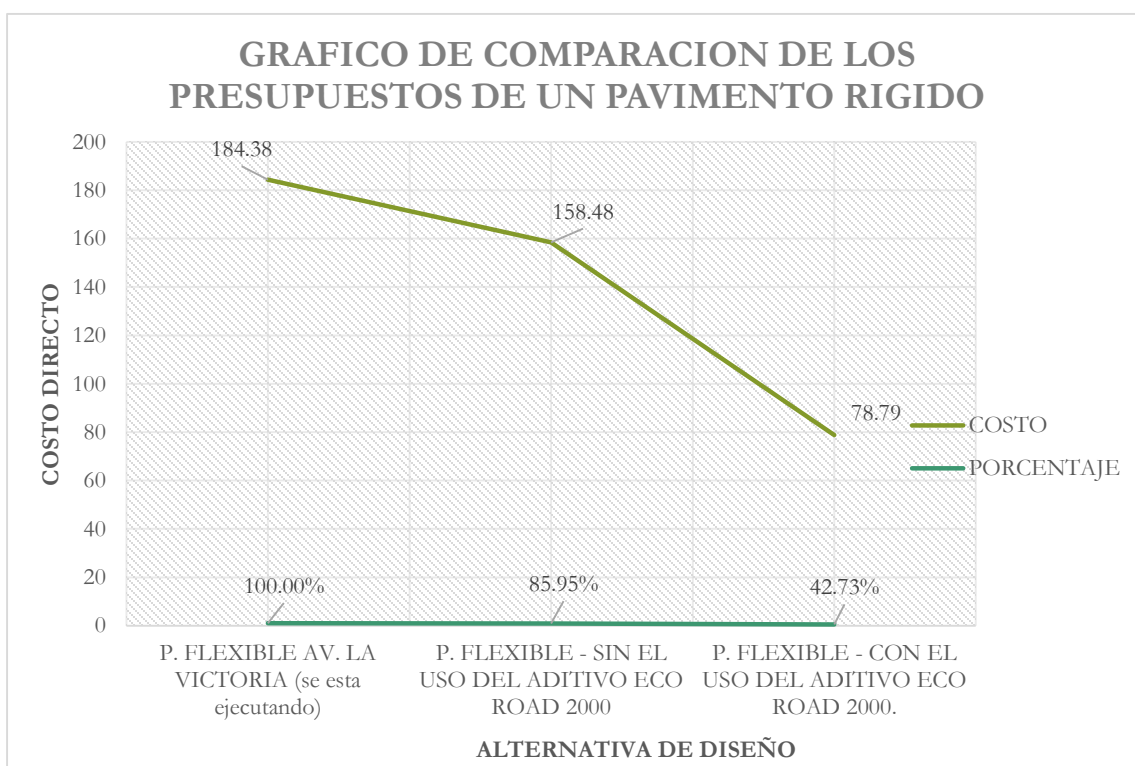
Gráfico 15: Porcentaje de incidencia con respecto al costo P.F.



Fuente: elaboración propia

En el gráfico N°16: Se puede observar que según los costos calculados para pavimentos rígidos, la alternativa de diseño que sería conveniente es haciendo uso del aditivo ya que el costo es bajo (s/.78.79), el cálculo se realizó con el promedio de los CBRs en condiciones críticas de la Av. San Luis (C-7 y C-8), porque es la avenida más transitada en comparación con las demás.

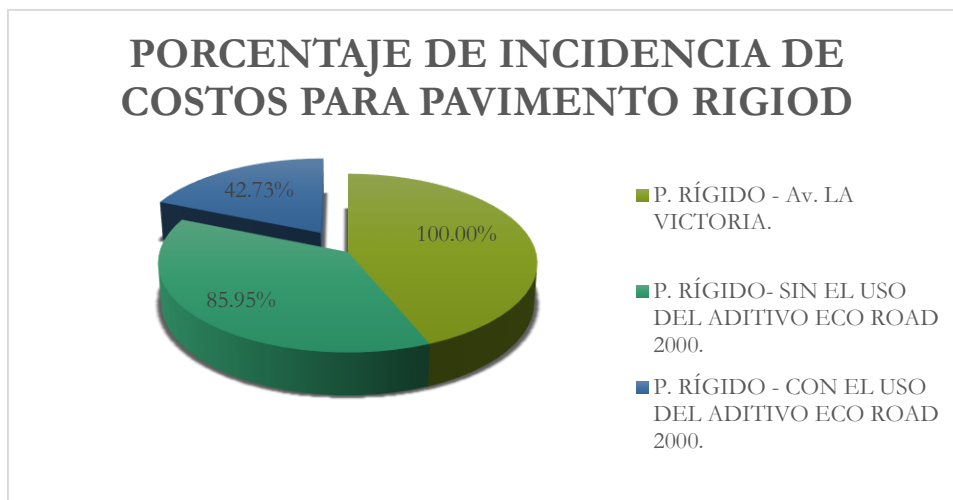
Gráfico 16: Comparación de presupuestos para pavimentos rígidos.



Fuente: elaboración propia

En el gráfico N°17: De acuerdo a los montos, se observa que la alternativa de diseño con el uso del aditivo Eco Road 2000 es el conveniente ya que la diferencia con respecto al costo con el que de esta ejecutando es del 57.27%.

Gráfico 17: Porcentaje de incidencia con respecto al costo P.R.



Fuente: elaboración propia

## CAPITULO VI

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

#### 6.1. CONCLUSIONES:

- De la adición del aditivo Eco Road 2000 al suelo natural se observaron notables cambios en la parte física y mecánica esto es debido a que el aditivo acelera el proceso de expansión y contracción para poder obtener un suelo más estable.
- Las calicatas que reaccionaron mejor al aditivo fueron C-4, C-5, C-7, C-8, C-10 debido al porcentaje de finos que contiene cada uno (71.30%, 73.50%, 74.00%, 81.60%, 74.80%) en conclusión un suelo con mayor cantidad de finos reaccionaría mejor al aditivo Eco Road 2000, esto demuestra que no todos los suelos cohesivos reaccionan de la misma forma (ver el Gráfico N°09).
- Se demostró mediante ensayos que la dosificación patrón (1 litro por 15 m<sup>3</sup>) planteada en las especificaciones técnicas del aditivo fue superado por las dosificaciones 1lt/19m<sup>3</sup> con un porcentaje de 57% (ver el Gráfico N°13).

- De los ensayos de CBR aplicando el aditivo se obtuvieron que siete calicatas llegan a tener más del 40% de CBR, cumpliendo para material de sub base, así también, se obtuvieron que tres calicatas llegan a tener un CBR de 38.55%, 36.10%, 21.70% los cuales cumplen con: >30% de CBR es una sub rasante extraordinaria y de 20% a 30% de CBR una sub rasante muy buena (ver el Gráfico N°14).
- La aplicación del aditivo reduce costos en comparación al no aplicarlo, reduciendo en un monto de s/.58.63 (49.01%) con lo que respecta en pavimento flexible, y en el pavimento rígido se reducen en un monto de s/.105.59 (57.27%) en conclusión es rentable el uso del aditivo Eco Road 2000 (a costos de Huancayo).

## **6.2. RECOMENDACIONES:**

- El material que se encontró en el anexo de palian es recomendable como material de liga ya que su índice de plasticidad varia de 6.1 a 6.9.
- Se recomienda usar este tipo de estabilización para afirmados.
- Para considerar que el suelo estabilizado con el aditivo pueda reemplazar a una sub base o base se recomienda realizar otros ensayos necesarios muy aparte del C.B.R.

## BIBLIOGRAFÍA

1. **Norma Técnica Peruana (N.T.P.)**. “Comisión de Normalización y de Fiscalización de Barreras Comerciales no Arancelarias – INDECOPÍ”
2. **Norma Técnica Peruana (N.T.P.) (1999-04-29)**. “Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico, e índice de plasticidad de suelos” – NTP 339.129. **Perú.Indecopi.**
3. **Norma Técnica Peruana (N.T.P.) (1999-04-29)**. “Método para la clasificación de suelos con propósitos de ingeniería (sistema unificado de clasificación de suelos, SUCS)” – NTP 339.134. **Perú.Indecopi.**
4. **Norma Técnica Peruana (N.T.P.) (1999-04-29)**. “Método para la clasificación de suelos para uso en vías de transporte” – NTP 339.135. **Perú.Indecopi.**
5. **Norma Técnica Peruana (N.T.P.) (2014-08-28)**. “Método de ensayo para la compactación del suelo en laboratorio utilizando una energía modificada (2700 kN – m/m<sup>3</sup>, 56000 pie – lbf/pie<sup>3</sup>)” – NTP 339.141. **Perú.Indecopi.**
6. **Norma Técnica Peruana (N.T.P.) (2014-08-28)**. “Método de ensayo de CBR (Relación de Soporte de California, California Bearing Ratio) de suelos compactados en el laboratorio” – NTP 339.145. **Perú.Indecopi.**

7. **Manual de Carreteras. (2013-02-18)** “Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos” en la sección de Suelos y Pavimentos establecido por el reglamento Nacional de Gestión de Infraestructura Vial aprobado por D.S N° 034 – 2008 – MTC (Ministerio de Transportes y Comunicaciones). **Perú. Ministerio de Transportes y Comunicaciones.**
8. **Juárez Badillo Eulalio, Rico Rodríguez Alfonso.(1998)** Mecánica de suelos.**Mexico.Limusa, S.A de C.V.**
9. **Ing. Crespo Villalaz Carlos.** Mecánica de suelos y cimentaciones.  
**Mexico.Limusa, S.A de C.V.**
10. **Ccanto Mallma Germán.(2010)** Metodología de la investigación científica en ingeniería civil, Ingeniería de transportes. **Perú. Depósito legal en la BNP N°2010-2608-1.**
11. **Ángel Muelas Rodríguez.(2010)** Manual de mecánica de suelos y cimentaciones.Disponible:[http://www.uned.es/dptoicf/mecanica\\_del\\_suelo\\_y\\_cimentaciones/images/mecansueloycimentacionescap\\_3.pdf](http://www.uned.es/dptoicf/mecanica_del_suelo_y_cimentaciones/images/mecansueloycimentacionescap_3.pdf).(2014,18 de Agosto).
12. **Ing. Carlos Aurelio Baldes Guzmán Estudio (2008)** Comparativo de Estabilización de Un Suelo Arcilloso Altamente Expansivo, Utilizando un Co-Polimero Multienzimatico, Tesis de Maestría en Ingeniería, **UNIVERSIDAD DE MICHOACANA DE SAN NICOLAS DE HIDALGO. México.**
13. **ECO ROAD INTERNATIONAL SAC.** Estabilizador, compactador e impermeabilizador de suelos de larga vida y rápida aplicación.
14. **El bachiller Carlos Alberto Gutiérrez Montes. (2010)** Estabilización química de carreteras no pavimentadas en el Perú y ventajas comparativas del cloruro de

magnesio (bischofita) frente al cloruro de calcio, tesis para el título profesional de ingeniería civil. **UNIVERSIDAD RICARDO PALMA .Perú.**

**15. Ing. diego Wilfredo Alfonso Valle Áreas.(2010)** “Estabilización de suelos arcillosos plásticos con mineralizadores en ambientes sulfatados o yesíferos”. tesis de maestría en ingeniería. **UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID. España.** Disponible: [http://oa.upm.es/4512/1/TESIS\\_MASTER\\_WILFREDO\\_ALFONSO\\_VALLE\\_AREAS.pdf](http://oa.upm.es/4512/1/TESIS_MASTER_WILFREDO_ALFONSO_VALLE_AREAS.pdf).

**16. El Bachiller Jairo Roldán de Paz. (2010)** “Estabilización de suelos con cloruro de sodio (nacl) para bases y sub bases”. Tesis para el título profesional de ingeniero civil **.UNIVERSIDAD SAN CARLOS DE GUATEMALA. Guatemala.** Disponible: [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_3160\\_C.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_3160_C.pdf).



# ANEXOS

Cuadro 18: Número de calicatas para Exploración de suelos.

TIPO DE CARRETERA	PROFUNDIDAD	NUMERO MINIMO DE CALICATAS	OBSERVACIONES
Autopistas: carreteras con IMDA mayor a 600 veh/día, de calzadas separadas, cada uno con dos o más carriles.	1.50 m respecto al nivel de sub rasante del proyecto.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Calzada 2 carriles por sentido.(4 calicatas x km x sentido).</li> <li>• Calzada 3 carriles por sentido.(4 calicatas x km x sentido).</li> <li>• Calzada 4 carriles por sentido.(6 calicatas x km x sentido).</li> </ul>	Las calicatas se ubicaran longitudinalmente y en forma alternada.
Carreteras duales o multicarril: carreteras de IMDA entre 6000 y 4001 veh/día, de calzada separadas, cada una con dos o más carriles.	1.50 m respecto al nivel de sub rasante del proyecto.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Calzada 2 carriles por sentido.(4 calicatas x km x sentido).</li> <li>• Calzada 3 carriles por sentido.(4 calicatas x km x sentido).</li> <li>• Calzada 2 carriles por sentido.(6 calicatas x km x sentido).</li> </ul>	
Carreteras de primera clase: carreteras con un IMDA entre 4000 – 2001 veh/día, de una calzada de dos carriles.	1.50 m respecto al nivel de sub rasante del proyecto.	• 4 calicatas x km.	Las calicatas se ubicaran longitudinalmente y en forma alternada.
Carreteras de segunda clase: carreteras con un IMDA entre 2000 – 401 veh/día, de una calzada de dos carriles.	1.50 m respecto al nivel de sub rasante del proyecto.	• 3 calicatas x km.	
Carreteras de tercera clase: carreteras con un IMDA entre 400 – 201 veh/día, de una calzada de dos carriles.	1.50 m respecto al nivel de sub rasante del proyecto.	• 2 calicatas x km.	
Carreteras de bajo volumen de transito: carreteras con un IMDA $\leq$ 200 veh/ día, de una calzada.	1.50 m respecto al nivel de sub rasante del proyecto.	• 1 calicatas x km.	

Fuente: Manual de Carreteras, teniendo en cuenta el Tipo de Carreteras establecido en la RD 037-2008-MTC/14 y el Manual de Ensayo de Materiales del MTC.

Cuadro 19: Criterios para determinar la angulosidad.

DESCRIPCION	CRITERIO
<b>ANGULOSA</b>	Partículas que tienen bordes afilados y con superficies relativamente planas con superficies no pulidas.
<b>SUBANGULOSA</b>	Partículas que son similares a la descripción angulosa pero tienen bordes redondeados.
<b>SUBREDONDEADO</b>	Partículas que tienen lados casi planos pero tienen esquinas y bordes bien redondeados.
<b>REDONDEADO</b>	Son partículas que tienen lados suavemente curvado y sin bordes

Fuente: Norma Técnica Peruana 339.150.

Cuadro 20: Criterios para determinar la forma de las gravas.

LA FORMA DE LA PARTICULA SERÁ DESCRITA COMO SIGUE, DONDE LA LONGITUD, EL ANCHO Y EL ESPESOR SE REFIEREN A LAS DIMENSIONES MAYOR, INTERMEDIA Y MENOR DE UNA PARTICULA, RESPECTIVAMENTE.	
<b>Chata</b>	Partículas donde el ancho/espesor es $>3$
<b>Alargada</b>	Partículas donde la longitud/ancho $>3$
<b>Chatas y alargadas</b>	Partículas que reúnen los criterios para ser clasificadas como chatas y alargadas.

Fuente: Norma Técnica Peruana 339.150.

Cuadro 21: Criterios para determinar las condiciones de humedad.

DESCRIPCION	CRITERIO
SECA	Ausencia de humedad, polvoriento, seco al tacto.
HUMEDO	Húmedo pero no presenta agua visible.
SATURADO	Presenta agua libre visible, usualmente cuando el suelo está bajo el nivel freático.

Fuente: Norma Técnica Peruana 339.150.

Cuadro 22: Criterios para determinar la consistencia.

DESCRIPCION	CRITERIO
MUY SUAVE	El pulgar penetra el suelo más de 25mm (1pulg)
SUAVE	El pulgar penetra el suelo 25 mm (1 pulg).
FIRME	El pulgar penetra el suelo alrededor de 6 mm (1/4")
DURA	El pulgar no ingresa al suelo pero fácilmente ingresa la uña del pulgar.
MUY DURA	La uña del pulgar no ingresa al suelo

Fuente: Norma Técnica Peruana 339.150.

Cuadro 23: Criterios para determinar la estructura.

DESCRIPCION	CRITERIO
ESTRATIFICADA	Capas alternadas de material o color variable, capas de por lo menos 6 mm de espesor.
LAMINADA	Capas alternadas de color variable de < 6 mm de espesor.
FISURADA	Se quiebran a lo largo de planos definidos de fractura con poca resistencia a la tracción.
SUPERFICIE DESLIZANTE EN BLOQUE	Los planos de fractura aparecen pulidos, algunas veces estriados. Suelo cohesivo que puede ser fragmentado en trozos angulosos pequeños que resisten mayor fragmentación.
LENTICULAR	Inclusión de pequeños lentes de diferentes suelos, tales como lentes de arena esparcidos en una masa de arcilla, tomar nota del espesor.
HOMOGENEA	Con el mismo color y apariencia.

Fuente: Norma Técnica Peruana 339.150.

Cuadro 24: Criterios para determinar la resistencia en estado seco.

DESCRIPCION	CRITERIO
NINGUNA	El espécimen seco se pulveriza solo con la presión de la manipulación.
BAJA	El espécimen seco se pulveriza con poca presión del dedo.
MEDIA	El espécimen seco se rompe en pedazos o se pulveriza con considerable presión de los dedos.
ALTA	El espécimen seco no puede quebrarse con la presión del dedo. El espécimen se quebrara en pedazos entre el pulgar y una superficie dura.
MUY ALTA	El espécimen seco no puede romperse entre el pulgar y una superficie dura.

Fuente: Norma Técnica Peruana 339.150.

Cuadro 25: Criterios para determinar la dilatación.

DESCRIPCION	CRITERIO
NINGUNA	No hay cambio visible en el espécimen.
LENTA	El agua aparece lentamente sobre la superficie del espécimen durante la agitación y no desaparece o desaparece lentamente durante el mezclado.
RAPIDO	El agua aparece rápidamente sobre la superficie del espécimen durante la agitación y desaparece rápidamente en el mezclado.

Fuente: Norma Técnica Peruana 339.150.

Cuadro 26: Criterios para determinar la tenacidad.

DESCRIPCION	CRITERIO
BAJA	Solo se requiere ligera presión para enrollar el hilo cerca del límite plástico. El hilo y la masa con débiles y suaves.
MEDIA	Se requiere presión media para enrollar el hilo hasta cerca del L.P el hilo y la masa tienen rigidez media.
ALTA	Se requiere considerable presión para enrollar el hilo hasta cerca L.P el hilo y la masa tienen muy alta rigidez.

Fuente: Norma Técnica Peruana 339.150.

Cuadro 27: Criterios para determinar la plasticidad.

DESCRIPCION	CRITERIO
NO PLASTICA	Un hilo de 1/8" no puede ser enrollado a ningún contenido de humedad.
BAJA	El hilo puede ser enrollado difícilmente y la masa no se puede formar cuando se encuentra más seca que el L.P.
MEDIA	El hilo es fácil de enrollar y no se requiere de mucho tiempo para alcanzar el L.P, el hilo no puede ser enrollado nuevamente después de alcanzar el L.P la masa se agrieta cuando está más seca que el L.P.
ALTA	Toma considerable tiempo enrollar y amasar para alcanzar el L.P, el hilo puede ser enrollado nuevamente varias veces luego de alcanzar el L.P, la masa puede ser formada sin agrietamiento cuando se encuentra más seca del límite plástico.

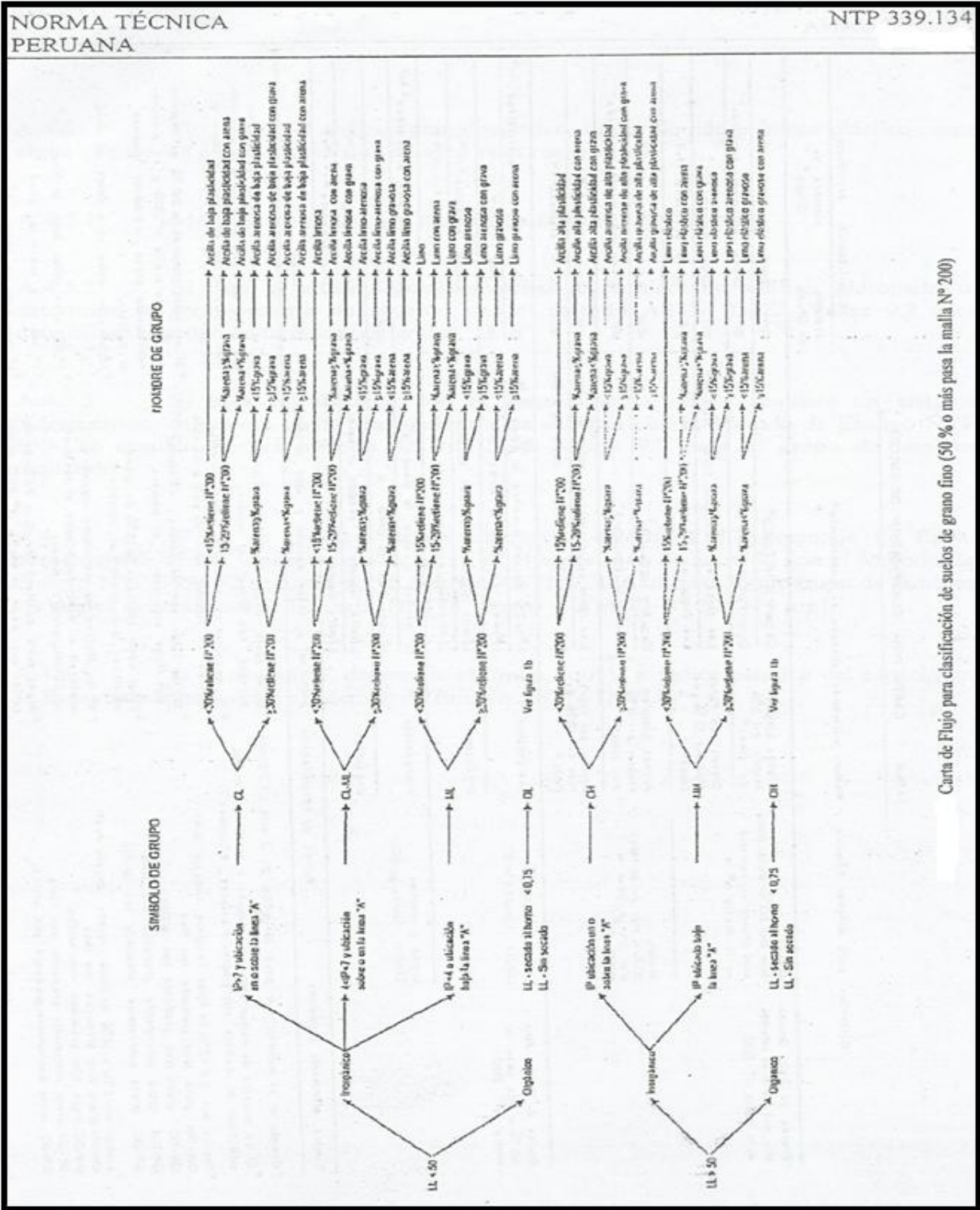
Fuente: Norma Técnica Peruana 339.150.

Cuadro 28: Criterios para identificar los suelos inorgánicos.

SIMBOLO DEL SUELO	RESISTENCIA SECA	DILATANCIA	TENACIDAD
ML	NINGUNA A BAJA	LENTA A RAPIDA	BAJA O NO PUEDE FORMARSE EL HILO
CL	MEDIA A ALTA	NINGUNA A BAJA	MEDIA
MH	BAJA A MEDIA	NINGUNA A LENTA	BAJA A MEDIANA
CH	ALTA A MUY ALTA	NINGUNA	ALTA

Fuente: Norma Técnica Peruana 339.150.

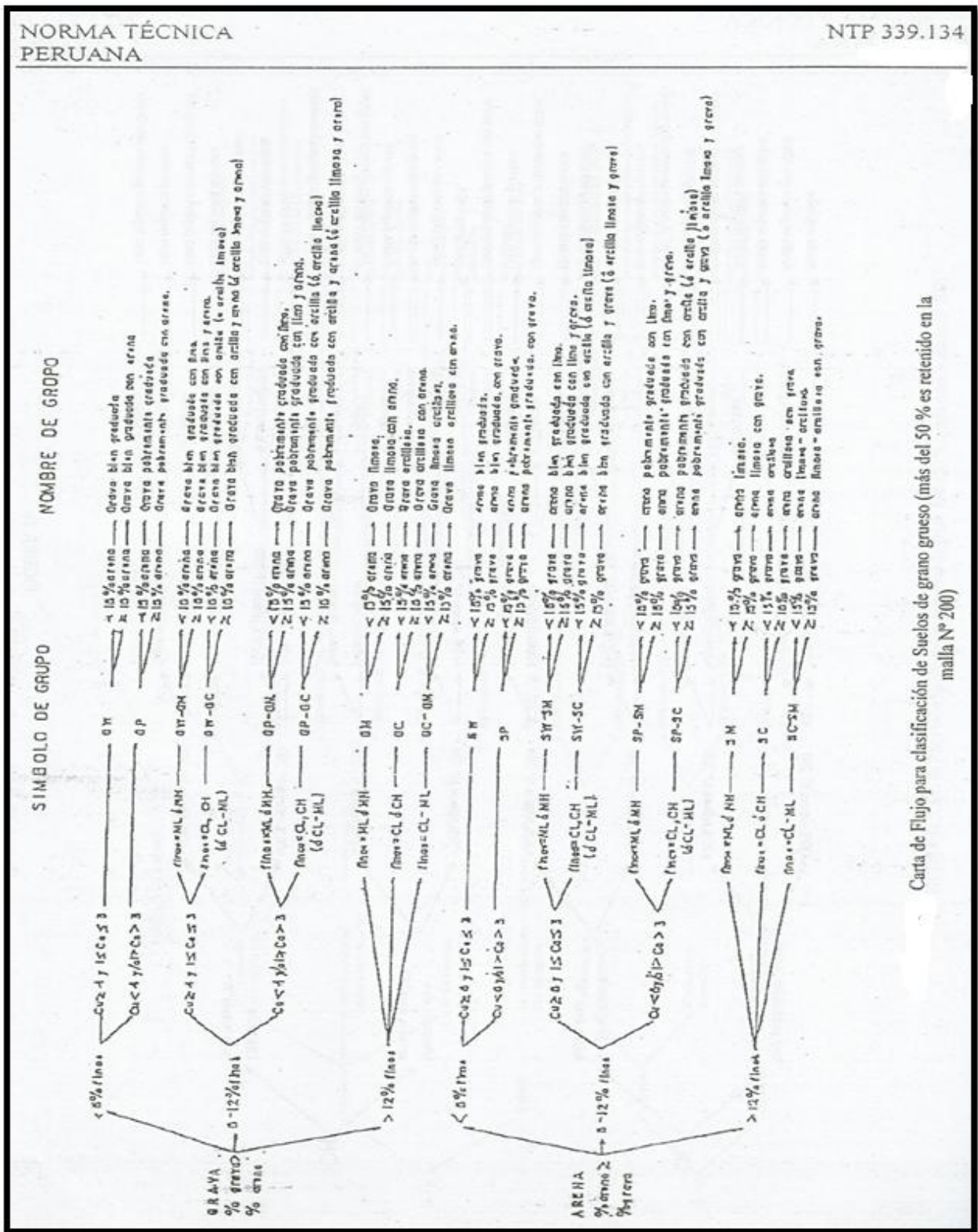
Tabla 1: Carta de flujo para la clasificación de suelos de grano fino (50% o más pasa la malla N°200).



Carta de Flujo para clasificación de suelos de grano fino (50 % o más pasa la malla N° 200)

Fuente: Norma Técnica Peruana 339.134.

Tabla 2: Carta de flujo para la clasificación de suelos de grano grueso (más del 50% es retenido en la malla N°200).

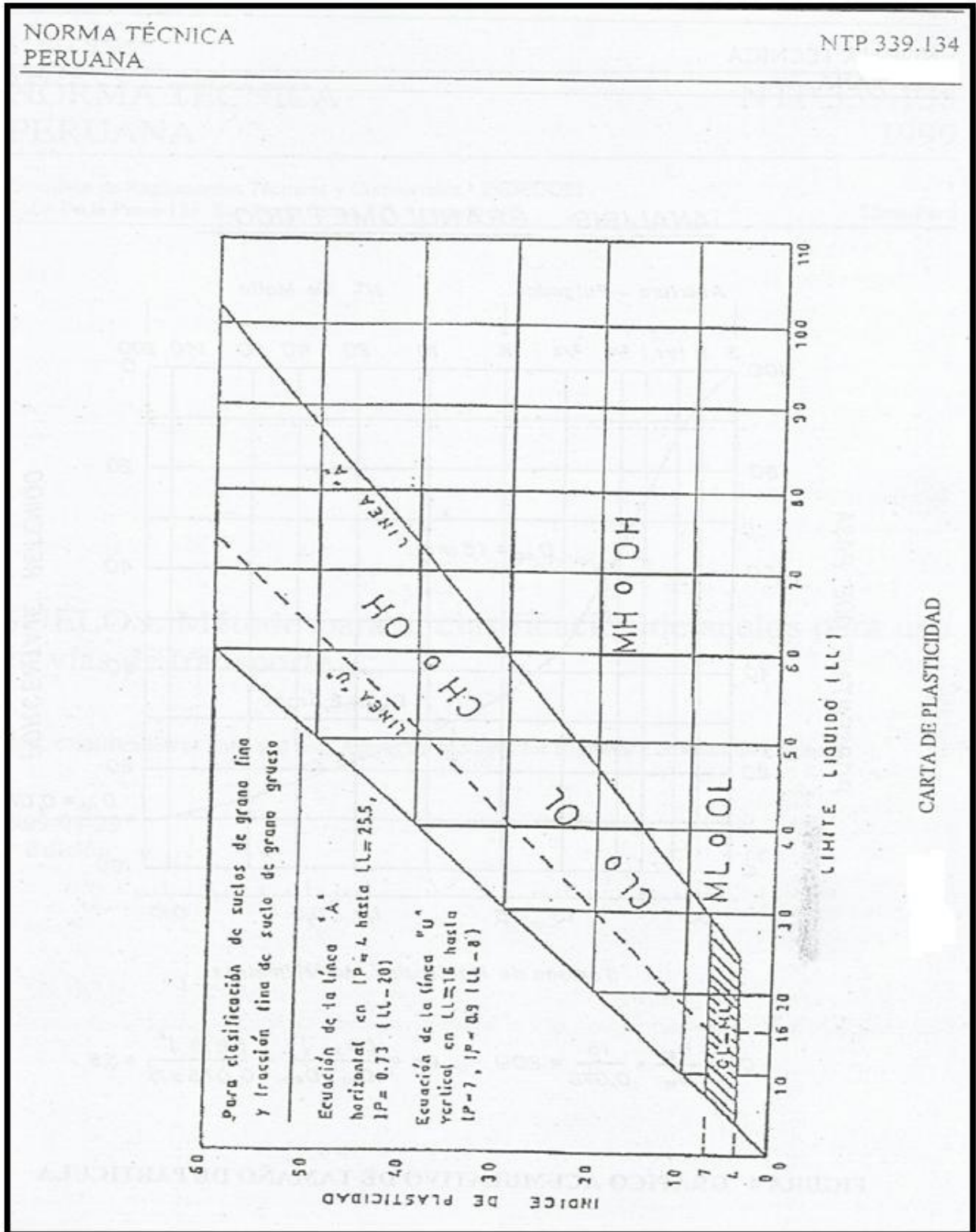


Carta de Flujo para clasificación de Suelos de grano grueso (más del 50 % es retenido en la malla N° 200)

Fuente: Norma Técnica Peruana 339.134.



Tabla 3: Carta de plasticidad de la NTP 339.134.



Fuente: Norma Técnica Peruana 339.134.

Tabla 4: Clasificación de suelos y mezclas de suelo - agregado.

NORMA TÉCNICA PERUANA		NTP 339.135						
<b>Clasificación de Suelos y Mezclas de Suelo-Agregado</b>								
Clasificación General	Materiales Granulares (35% ó menos pasa N° 200)			Materiales Limo-Arcillosos (Más del 35% pasa N° 200)			A-7	
	A-1	A-3 <sup>A</sup>	A-2	A-4	A-5	A-6		
Análisis granulométrico, % que pasa:								
N° 10 (2.00mm)	...	...	...	...	...	...	...	
N° 40 (425µm)	50 máx	51 mín	...	...	...	...	...	
N° 200 (75µm)	25 máx	10 máx	35 máx	36 mín	36 mín	36 mín	36 mín	
Características de fracción que pasa N° 40 (425µm)								
Límite Líquido	...	...	0	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín	
Índice Plástico	6 máx	N.P.	0	10 máx	10 máx	11 mín	11 mín	
Clasificación general como subrasante	Excelente a buena			Regular a Deficiente				
A La ubicación de A-3 antes de A-2 es necesaria en el "proceso de eliminación de izquierda a derecha" y no indica superioridad de A-3 Sobre A-2								
B Ver Tabla 2								
<b>TABLA 2 Clasificación de Suelos y Mezclas Suelo-Agregado</b>								
Clasificación General	Materiales Granulares (35% ó menos pasa N° 200)			Materiales Limo-Arcillosos (Más del 35% pasa N° 200)			A-7	
	A-1	A-2	A-3	A-4	A-5	A-6		
Clasificación de Grupo	A-1-a	A-1-b	A-2	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7	
Análisis granulométrico, % que pasa:								
N° 10 (2.00mm)	50 máx	...	...	...	...	...	...	
N° 40 (425µm)	30 máx	50 máx	51 mín	...	...	...	...	
N° 200 (75µm)	15 máx	25 máx	10 máx	35 máx	35 máx	36 mín	36 mín	
Características de fracción que pasa N° 40 (425µm)								
Límite Líquido	...	...	...	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín	
Índice Plástico	6 máx	N.P.	N.P.	10 máx	11 mín	10 máx	11 mín	
Tipos usuales de materiales constituyentes significativos	Fragmentos de Piedra, Arena Grava y Arena Fina		Grava y Arena Limosa ó Arcillosa		Suelos Limosos		Suelos Arcillosos	
Clasificación General como subrasante	Excelente a Buena			Regular a Deficiente				
A El índice de Plasticidad del subgrupo A-7-5 es igual ó menor que LL menos 30. El índice de Plasticidad del subgrupo A-7-6 es mayor que LL menos 30 ( ver Fig.1)								

Fuente: Norma Técnica Peruana 339.134.