

CAPÍTULO I
INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

La estabilización de suelos se refiere al proceso de someter a los suelos naturales a ciertos tratamientos para aprovechar sus mejores cualidades de manera que puedan soportar las condiciones adversas inherentes al diseño rindiendo en todo tiempo el servicio adecuado que de ellos se espera, es decir dar a los suelos resistencia al esfuerzo cortante, a la deformabilidad o compresibilidad, dar estabilidad volumétrica ante la presencia del agua, siempre buscando, una mejoría sustancial en el comportamiento esfuerzo deformación de los suelos y/o de la estructura que se coloque sobre ellos, a lo largo de su vida útil. Existen varios procedimientos que se emplean para lograr la mejoría de los suelos, pero uno de los más frecuentes es la técnica de estabilización por medios mecánicos y por medios químicos, este último es de mayor interés en este estudio y se logra por la adición de agentes estabilizantes específicos, como la cal, el cemento, el asfalto, cenizas u otros.

En Bolivia y en diversos países del mundo la estabilización química de suelos cuenta con una gama de datos a base de estudios realizados dando como resultados especificaciones, manuales y algunos proyectos de investigación que sirven como guías que pueden seguirse para lograr la mejoría de las propiedades de los suelos.

La estabilización de suelos con emulsiones asfálticas tiene una incidencia en la construcción vial. Utilizando materiales de alta resistencia para bases, subbases, emulsiones asfálticas y otros incorporando polímeros, cal, etc.

El objetivo de la estabilización de suelos es obtener una técnica constructiva de bajo costo, con buenas condiciones de servicio para mejorar la red vial y con ello una mejora en la calidad de vida de los habitantes de la zona, sus aspectos sociales y económicos.

Parte del trabajo, costo de la técnica es utilizar el suelo del lugar. Además, el personal no es altamente especializado y se transforma en una fuente de trabajo para la zona de la obra.

Hay varios factores a favor del uso de las emulsiones asfálticas:

- Las emulsiones no son inflamables ni emanan vapores de hidrocarburo hacia la atmósfera.
- Lo principal es mejorar las propiedades mecánicas del suelo.
- El hecho de aplicar esta técnica implica cambiar la metodología de trabajo, pero no disminuir las exigencias de calidad de los materiales ni del proceso constructivo y del mantenimiento posterior.

1.2. Situación problemática

La utilización de suelos arcillosos es de primordial importancia para la construcción de subrasante en nuestro medio, ya que es la base del paquete estructural, motivo por el cual se busca una forma no convencional de estabilizar los suelos finos con emulsión asfáltica, y así observar las mejoras físico-mecánicas producidas por el mismo.

En la actualidad en la ciudad de Tarija no se cuenta con conocimientos sobre las mejoras físico-mecánicas de los suelos arcillosos de baja plasticidad a través de adición de emulsiones asfálticas por lo cual al no tener un conocimiento sobre la estabilización de suelos con este producto químico, que es utilizado en otros países del mundo entero como una alternativa más, no se puede establecer si el mismo es rentable para su aplicación en nuestro medio, desde los puntos de vista técnicos económicos y ambientales, es así que nace la necesidad de conocer cuáles son sus beneficios, sus potencialidades, sus ventajas y desventajas, cuáles son las mejoras y los cambios que sufren sus propiedades físico-mecánicas mediante la aplicación de las emulsiones asfálticas.

Motivo por el cual se plantea la realización de un análisis de la aplicación de las emulsiones asfálticas en suelos arcillosos de baja plasticidad, para identificar las mejoras físico-mecánicas de la aplicación de este químico en nuestro medio.

1.2.1. Problema

¿Cómo es el efecto de las emulsiones asfálticas empleados como aditivos estabilizantes en el comportamiento mecánico de los suelos finos con contenido de arcillas?

1.2.2. Relevancia y factibilidad del problema

Actualmente este método no es muy utilizado en nuestro medio para la estabilización de suelos finos arcillo-arenosos. Es necesario realizar estudios físicos mecánicas de las propiedades de los suelos y así mismo de las emulsiones asfálticas para su aplicación en nuestro país.

La estabilización de suelos con emulsiones asfálticas tiene una amplia aplicación en distinta tareas de la construcción vial especialmente para caminos de desarrollo.

1.2.3. Delimitación temporal y espacial del problema

La investigación realizada se planifica para un tiempo de 14 semanas que contemplan los meses de agosto, septiembre, octubre y noviembre, tomando las precauciones del tiempo necesario para realizar las actividades. El cronograma de actividades se contempla a detalle.

Los ensayos que requieren dicha investigación serán realizados en los laboratorios de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, tomando en cuenta que tipo de equipos será necesario para la caracterización del suelo y el asfalto en desarrollo del proyecto.

1.3. Justificación

Los caminos de desarrollo son importantes en nuestro medio, sin embargo, se toman en cuenta más las vías principales para su diseño, construcción y mantenimiento, dejando de lado a los caminos rurales que también tienen importancia para la conexión entre comunidades y con las ciudades principales

Existe el problema que los caminos rurales se encuentran en malas condiciones por la falta de mantenimiento que deben ser continuos y constantes, lo que significa un elevado costo

del mismo causando el deterioro y dificultando la transitabilidad dando como resultado menor vida útil.

La importancia de realizar un minucioso análisis de las mejoras que produce las emulsiones asfálticas en los suelos finos es para obtener un método de estabilización no convencional, así mismo implementar este método en proyecto viales, ya con los conocimiento de los beneficios que genera esta misma.

Por lo tanto la estabilización de las subrasantes finas con emulsión asfáltica es una propuesta alternativa para su mejoramiento y mayorando su vida útil

- Aprovechamiento del suelo existente en la zona
- La utilización de equipos convencionales de construcción
- Mínimo mantenimiento durante su vida útil
- Puede ser considerado como capa base de excelente soporte para la construcción en los pavimentos

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Determinar desde el punto de vista técnico e ingenieril la estabilización de suelos finos con contenido de arcillas mediante la adición de diferentes porcentajes de emulsión asfáltica como sustancia cementante, con la finalidad de obtener un material con propiedades físico-mecánicas suficientes para su óptima elección como solución constructiva en subrasantes mejoradas.

1.4.2. Objetivos específicos

- Evaluar las propiedades mecánicas del suelo natural mediante la determinación de granulometría, plasticidad, resistencia (CBR).
- Establecer una dosificación en porcentajes de mezcla suelo-emulsión; a través de ensayos de laboratorio.

- Definir en base a los resultados obtenidos los porcentajes óptimos de emulsión asfáltica para la estabilización (mejoramiento del CBR) de suelos finos con contenido de arcilla que permitan su empleo en sub rasantes.
- Validar los datos obtenidos mediante método estadístico.

1.5. Hipótesis

La hipótesis que se planteó para este trabajo de investigación es:

“Si, Mediante la adición de un porcentaje óptimo de emulsión asfáltica se consiguió el mejoramiento de las propiedades físico mecánicas de los CBR., incrementando así su resistencia y disminuyendo su deformación.”

1.6. Operacionalización de las variables

1.6.1. Variable independiente

Tabla 1. Variable independiente

| Variable Independiente | Dimensión | Indicador | Valor/Acción |
|-------------------------------|------------------|------------------|--|
| Emulsión Asfáltica | Compactación | Porcentaje (%) | Aumentar la resistencia del CBR mediante el Contenido de emulsión óptimo |

Fuente: Elaboración propia

1.6.2. Variable dependiente

Tabla 2. Variable dependiente

| Variable Dependiente | Dimensión | Indicador | Valor/Acción |
|-----------------------------|------------------|---------------------|--|
| Valores del CBR | Compactación | g/cm ³ | Densidad máxima Curva de compactación |
| | | Porcentaje (%) | Contenido de humedad optima Curva de compactación |
| | Expansión | Tiempo (t) | Por día de saturación |
| | | Porcentaje (%) | Medición del hinchamiento |
| | Resistencia | Penetración (Pulg.) | Usando prensa de CBR |
| | | Porcentaje (%) | Dividiendo resistencia del suelo con la resistencia patrón |

Fuente: Elaboración propia

1.7. Identificación del tipo de investigación

La metodología que se describe a continuación, se empleó en forma independiente, pero representa, una solución técnica, para constituir una estructura vial, dependiendo de los requerimientos, las características y objetivos de cada obra y del nivel al que se quiere llegar en las condiciones de la estructura vial.

1.8. Unidades de estudio y decisión muestral

1.8.1. Unidad de estudio

La unidad de estudio es la “Estabilización de suelos por medios químicos” porque está referida principalmente a la utilización de ciertas sustancias químicas patentizadas. El emulsificante es una molécula formada por una cabeza iónica polar químicamente compatible con el agua y una cadena hidrocarbonada químicamente compatible con el asfalto y el suelo.

1.8.2. Población

Todos los elementos o materiales disponibles para estabilizar un suelo fino que tenga CBR $\leq 3\%$ y una expansión $> 4\%$ entre estos están por ejemplo la cal, el cloruro de sodio, productos asfálticos, cemento, cenizas, polímeros, etc.

1.8.3. Muestra

Las emulsiones asfálticas son los materiales asfálticos líquidos estables constituidos por dos fases no miscibles, en los que la fase continúa de la emulsión está formada por pequeños glóbulos de cemento asfáltico.

El emulsificante es una molécula formada por una cabeza iónica polar químicamente compatible con el agua y una cadena hidrocarbonada químicamente compatible con el asfalto, utilizados para estabilizar bancos de suelos finos.

1.8.4. Selección de las técnicas de muestreo

En esta investigación se realizó con el método probabilístico de la técnica de muestreo estratificado, donde se tiene que ordenar los elementos en clases o sub grupos, que comúnmente se denominan estratos, considerando algunas características comunes; por ejemplo tipo de ensayos, características propiedades, etc.

El número de cada clase o estrato debe ser definido de forma proporcional a la poblacional.

1.9. Métodos y técnicas empleadas

1.9.1. Métodos

Se ejecutará en el área de estudio un análisis previo de las características topográficas, geométricas, esto con el fin de definir los parámetros necesarios a emplear.

Inspeccionar toda el área de estudio, registrar y cuantificar los posibles puntos de extracción de muestra y la extracción de muestras de suelos en diversos sectores de toda el área.

1.9.2. Técnicas

La Investigación experimental es un tipo de investigación que usa experimentos y los principios encontrados en el método científico. En el laboratorio se analizarán las muestras de suelos tomadas en situ para determinar algunas propiedades como; granulometría, densidad aparente, Ensayos de Capacidad de Soporte (CBR).

Una vez obtenidos las características del material extraído se propondrá diversos porcentajes de adicción de emulsión asfáltica para una estabilización de este. Posteriormente se realizará ensayos los cuales darán resultados de las propiedades modificadas del suelo.

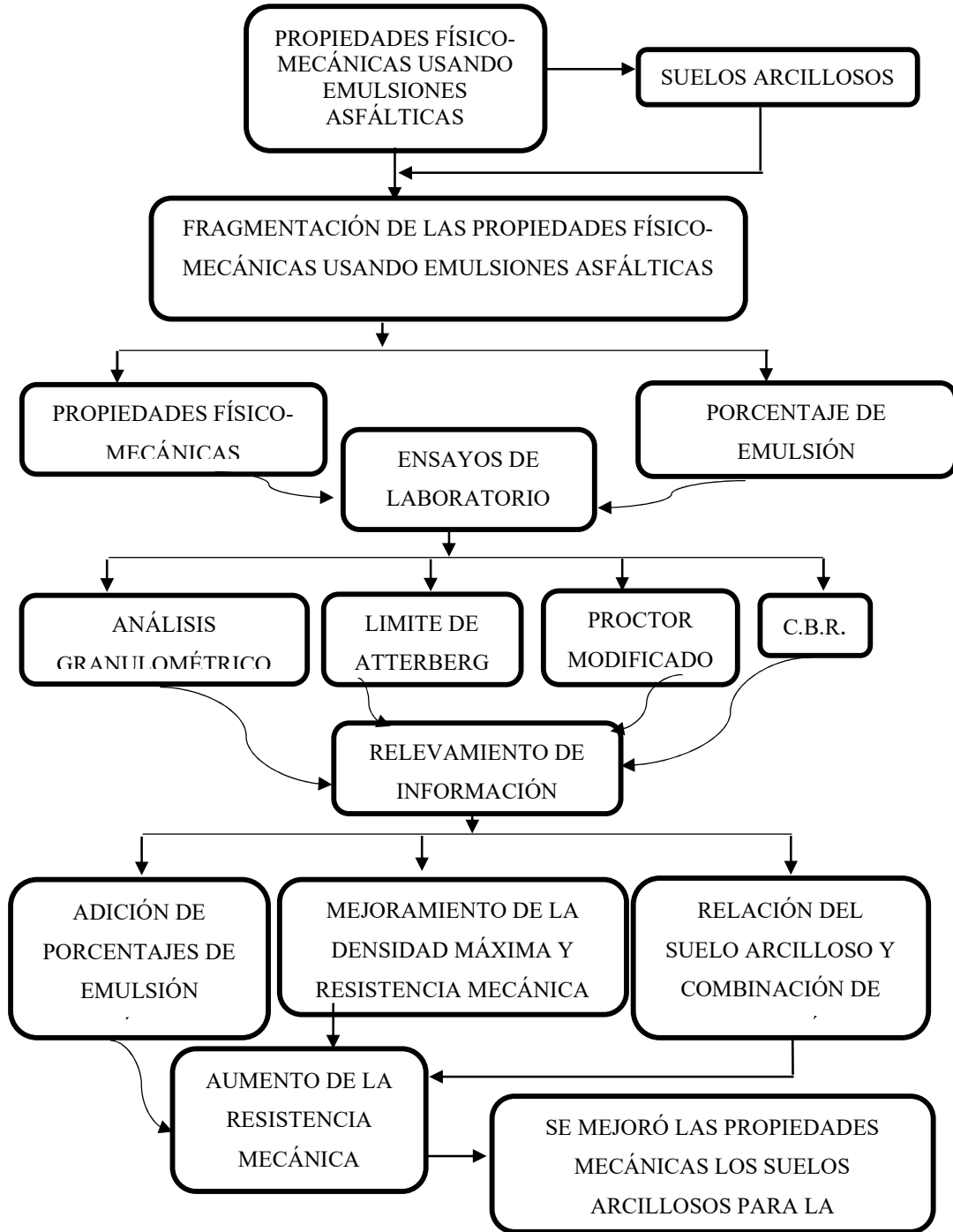
Finalmente se hará un análisis de las ventajas o desventajas obtenidas del suelo modificado en sus propiedades.

1.10. Procesamiento de la información

Se realizó una revisión de toda la información registrada en las encuestas y visitas previas, los resultados fueron procesados para su análisis e interpretación de los resultados.

De la misma forma la toma de muestras en situ fueron tabulados y presentados en formatos de fácil comprensión, para los resultados de los ensayos de suelos se utilizaron los formatos establecidos por el laboratorio. Finalmente se redactó conclusiones y se propuso una solución al problema detectado.

Figura 1. Esquema de planificación de actividades



Fuente: Elaboración propia

1.11. Alcance de la investigación

Esta investigación pretende establecer con claridad la influencia de la emulsión asfáltica y la consecuente cementación que esta produce en los suelos finos con contenido de arcilla en tres zonas del departamento de Tarija con la mezcla de emulsiones asfálticas. De este modo, se puede optimizar el uso de una técnica muy ventajosa para la estabilización de estos materiales como lo son las mezclas bituminantes.

Para la realización del estudio propuesto en el trabajo de investigación, se abarco primeramente una parte teórica sobre las características de los suelos a estudiar los cuales son un CL, CH y un ML y las emulsiones asfálticas.

Por tanto se elaboró una metodología que nos permitió encontrar la dosificación de suelo-asfalto adecuada en una estabilización de suelos finos por lo que se proyectó explicar y practicar los ensayos en laboratorio de: granulometría, límites, compactación, CBR, para la caracterización de cada uno de los suelos en su estado natural tanto como para la mezclas con los aditivos estabilizantes.

Todos los datos y resultados adquiridos de los ensayos de laboratorio fueron sometidos a un proceso de análisis para su valoración, lo cual se vio reflejado en la obtención de curvas, cuadros y/o planillas; con dichas herramientas se pudo estipular los comportamientos de los suelos naturales y estabilizados respecto a la resistencia y deformación.

CAPÍTULO II

ASPECTOS GENERALES DE LA

ESTABILIZACIÓN

CAPÍTULO II

ASPECTOS GENERALES DE LA ESTABILIZACIÓN

2.1. Suelos arcillosos

Se puede entender a los materiales arcillosos como aquéllos que poseen una parte relevante de suelos cohesivos y que como tales condicionan su comportamiento., frente a los restantes materiales existentes en las obras o en el terreno.

Figura 2. Suelos arcillosos



Fuente: https://static8.depositphotos.com/1004216/1054/i/950/depositphotos_10542432-stock-photo-clay-soil-close-up.jpg

2.1.1. Arcillas

La arcilla es un tipo de roca natural sedimentaria que engloba a los minerales filosilicatos, cuyas propiedades dependen de su estructura y tamaño de grano. Está constituida por agregados de silicatos de aluminio hidratado, procedentes de la descomposición de minerales de aluminio.

Surge de la descomposición de rocas que contienen feldespato, originada en un proceso natural que dura decenas de miles de años. Físicamente se considera un coloide de partículas extremadamente pequeñas y superficie lisa. (Das, 2001)

2.1.2. Características de las arcillas

- Material de estructura laminar
- Sumamente higroscópico
- Su masa se expande con el agua
- Con la humedad se reblandece y se vuelve plástica
- Adquiere gran dureza al ser sometida a temperaturas mayores a 600°C.

2.1.3. Clasificación de las arcillas

Desde el punto de vista geológico: Se pueden distinguir entre primarias las cuales son de tipo hipogénico y que permanecieron en el mismo lugar de su formación, y las secundarias que fueron acarreadas a lugares diferentes al de su origen.

- Fluviales: Depositadas por ríos y siendo depósitos de baja calidad
- Lacustres: Asentados en lagos y estando en capas uniformes de buena calidad
- En deltas: Son arenosas y de composición irregular
- Glaciales: Formadas por la acción de grandes masas de hielo sobre rocas cristalinas

2.1.4. Clasificación de los minerales arcillosos

Mineral de arcilla caolinita: Se encuentra entremezclada en las arcillas sedimentarias. Es el constituyente más abundante de los depósitos residuales de arcilla. Son estables, inexpandibles y de mediana plasticidad.

Mineral de Arcilla Ilita: Es el grupo más abundante en los depósitos arcillosos marinos modernos y en los sedimentarios antiguos. Son medianamente estables, medianamente inexpandibles y de mediana plasticidad.

Mineral de Arcilla Montmorillonita: Son especialmente abundantes en arcillas derivadas de cenizas volcánicas intemperizadas. Son muy inestables, medianamente inexpandibles y de alta plasticidad.

Clasificación de las arcillas en base a su estabilidad

- Arcillas Caolinitas:

Formadas por una lámina de silicio y una de aluminio. La unión de estas arcillas no permite la penetración de moléculas de agua entre ellas (se les considera estables).

- Arcillas Iilitas:

Formadas por una lámina de aluminio entre dos de silicio. Son menos expansivas que las montmorillonitas y su comportamiento es más favorable para el ingeniero civil.

- Arcillas Montmorillonitas:

Formadas por una lámina de aluminio entre dos de silicio. Su unión es débil por lo que las moléculas de agua pueden introducirse en la estructura con facilidad, por lo que son inestables en presencia de agua y pueden producir problemas en las construcciones que se cimienten en este tipo de arcillas.

2.1.5. Arcillas en la ingeniería civil

En general el estudio de suelos en la ingeniería civil incluye mineralogía y comportamiento bajo condiciones diversas.

La determinación mineralógica es importante porque permite predecir su comportamiento y la forma de controlarlo. La mineralogía permite estimar características de un suelo pero no calcular los valores absolutos representativos de su comportamiento actual. De aquí que se hagan una serie de pruebas características entre las cuales se encuentran:

Tamaño del grano: El orden del tamaño arcilloso varía desde 0,005mm hasta dimensiones coloidales, teniendo muchas partículas arcillosas un diámetro inferior a 0,0002mm.

En el cuadro que se adjunta se destaca la división adoptada para los distintos sistemas de clasificación que actualmente utilizamos los ingenieros en nuestros proyectos.

Tabla 3. Definición del tamaño de partículas

| Nombre de la Organización | Tamaño de los granos (mm) | | | |
|--|---------------------------|--------------|---------------|---------|
| | Grava | arena | limo | arcilla |
| Massachusetts Institute of Tec. | > 2 | 2 a 0,06 | 0,06 a 0,002 | <0,002 |
| U.S. Dep. of Agriculture | > 2 | 2 a 0,05 | 0,05 a 0,002 | <0,002 |
| AASHTO | 76,2 a 2 | 2 a 0,075 | 0,075 a 0,002 | <0,002 |
| Sistema Unificado de Clasif. US Army Corp. Of Engineering US Bureau of Reclamation ASTM | 76,2 a 4,75 | 4,75 a 0,075 | <0,075 | |

Nota: El tamaño correspondiente a 76,2 mm corresponde al tamiz US de 3".

El tamaño correspondiente a 4,75 mm corresponde al tamiz US N° 4.

El tamaño correspondiente a 2 mm corresponde al tamiz US N° 10.

El tamaño correspondiente a 0,075 mm corresponde al tamiz US N° 200.

Fuente: <http://apuntesingenierocivil.blogspot.com/2010/10/distribucion-del-tamano-de-particulas.html>

2.1.6. Incidencia de arcillas en obra viales

La incidencia de las arcillas, radica en que constituyen en alto porcentaje los suelos naturales (subrasantes), con mayor énfasis en los que geológicamente aún se encuentran en formación.

Todas las estructuras viales que el hombre ha diseñado, desde siempre, incluyendo las actuales, se basan en dos premisas: la 1° de ellas considera las cargas que deberá soportar la vía, durante el tiempo de vida útil que requerimos. Es un dato estadístico muy difícil de modificar.

La 2° premisa es la capacidad portante del suelo natural sobre el que debemos soportar nuestra vía. En la medida en que mayor sea la capacidad portante de este estrato menor

será el espesor de la estructura requerida, para una carga o esfuerzo determinados, lo que redundará en economía, en todos los aspectos y menor deterioro ambiental.

Cuando la capacidad portante del suelo natural no es la adecuada o es muy baja, se busca mejorar la calidad del suelo ya sea adicionando materiales que le ayuden a mejorar las características de mencionado estrato o sustituyéndolo por otro, de ahí nace la idea de estabilizarlo.

Son suelos inadecuados para su empleo en subrasantes los suelos orgánicos o con materia orgánica (hojas, hierba, raíces, desechos orgánicos y otros materiales putrescibles), por ello no se empleara la capa de tierra vegetal, ni materiales procedentes turberas, etc., tampoco es conveniente emplear escombros y vaciados heterogéneos, que pueden dar lugar a asentamientos diferenciales en servicio.

En cambio es conveniente estudiar la posibilidad de empleo de subproductos y desechos industriales locales, que en algunas zonas presentan problemas ecológicos y de acopio; cenizas volantes, desechos de cantera, ciertos materiales minerales subproductos de industrias químicas, materiales puzolánicos, etc.

2.2. La subrasante

Figura 3. La subrasante



Fuente: <http://padegua.com/wp-content/uploads/2014/01/SUBRASANTE.jpg>

La subrasante es la superficie terminada de la carretera a nivel de movimiento de tierras (corte y relleno), sobre la cual se coloca la estructura del pavimento o afirmado.

La subrasante es el asiento directo de la estructura del pavimento y forma parte del prisma de la carretera que se construye entre el terreno natural allanado o explanado y la estructura del pavimento. La subrasante es la capa superior del terraplén o el fondo de las excavaciones en terreno natural, que soportará la estructura del pavimento, y está conformada por suelos seleccionados de características aceptables y compactados por capas para constituir un cuerpo estable en óptimo estado, de tal manera que no se vea afectada por la carga de diseño que proviene del tránsito. La subrasante puede estar constituida por suelos en su estado natural, o por éstos con algún proceso de mejoramiento tal como la estabilización mecánica, la estabilización física-química con aditivos como el cemento Portland, la cal, el asfalto, entre otras.

El factor más importante en la determinación de los espesores de diseño del pavimento es la respuesta del suelo de subrasante ante las cargas del tránsito. De la calidad que tenga esta capa dependerán, en gran parte, los espesores sean de un pavimento rígido o flexible. Del estudio geotécnico se determinan las características físico-mecánicas de la subrasante, y se determinan la capacidad de soporte o resistencia a la deformación por esfuerzo cortante bajo las cargas del tránsito. La subrasante es la capa más importante para el diseño de una estructura de pavimentos, ya que es esta la que va a dar soporte a la estructura. (Villalaz, 2005)

La función de la subrasante es soportar las cargas que transmite el pavimento y darle sustentación, además de considerarse la cimentación del pavimento. Entre mejor calidad se tenga en esta capa el espesor del pavimento será más reducido y habrá un ahorro en costos sin mermar la calidad. Otra de las funciones de la subrasante es evitar que el terraplén contamine al pavimento y que sea absorbido por las terracerías.

2.2.1. Categoría de la subrasante

Se identificarán seis categorías de subrasante:

Tabla 4. Categoría de subrasante

| Categorías de subrasante | C.B.R. |
|----------------------------|---------------------------------------|
| S0 : Subrasante inadecuada | C.B.R. < 3 % |
| S1 : Subrasante pobre | De C.B.R. \geq 3 % a C.B.R. < 6 % |
| S2 : Subrasante regular | De C.B.R. \geq 6 % a C.B.R. < 10 % |
| S3 : Subrasante buena | De C.B.R. \geq 10 % a C.B.R. < 20 % |
| S4 : Subrasante muy buena | De C.B.R. \geq 20 % a C.B.R. < 30 % |
| S5 : Subrasante excelente | C.B.R. \geq 30 % |

Fuente: Diseño Estructural de Pavimentos para Caminos

Se considerarán como materiales aptos para la coronación de la subrasante suelos con CBR igual o mayor de 3 %. En caso de ser menor, se procederá a eliminar material inadecuado o modificar el material estabilizándolo a fin de que cumpla con los requerimientos y características adecuadas.

Figura 4. Estructura típica de pavimentos



Fuente: Diseño Moderno de Pavimentos Asfálticos

2.2.2. Propiedades de la subrasante

Propiedades físicas:

Son propiedades relacionadas con el tipo de material a utilizar y las características constructivas de los mismos.

Granulometría: La granulometría sirve para determinar el porcentaje en peso de las partículas de diferentes tamaños, teniendo una visión de la distribución del tamaño de los granos presentes en un suelo.

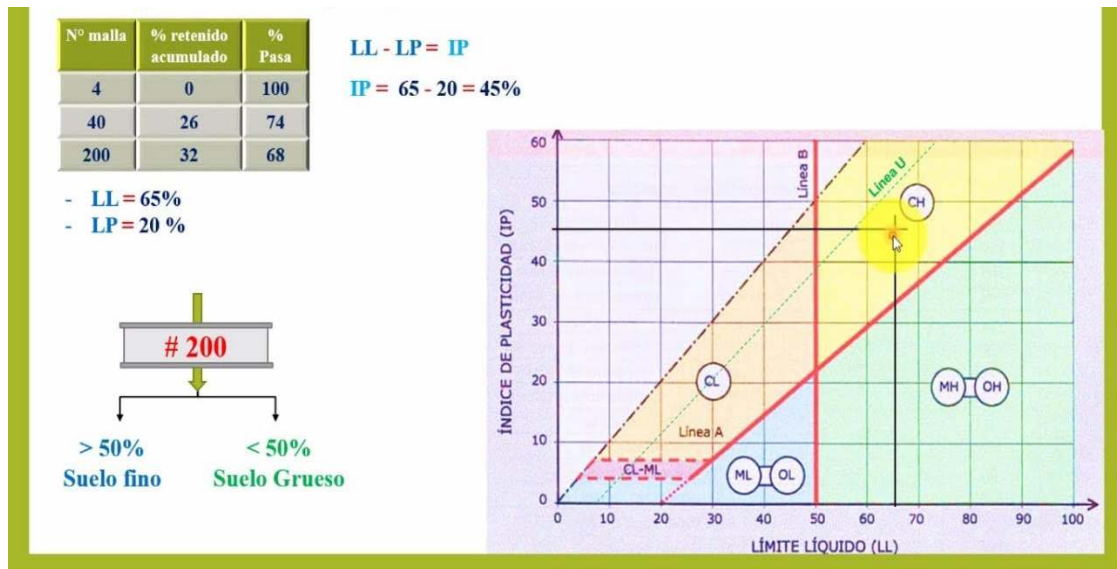
Tabla 5. Escala granulométrica

| Partícula | Tamaño |
|----------------|-----------------|
| Arcillas | < 0,002 mm |
| Limos | 0,002 – 0,06 mm |
| Arenas | 0,06 – 2 mm |
| Gravas | 2 – 60 mm |
| Cantos rodados | 60 – 250 mm |
| Bloques | > 250 mm |

Fuente: ABC, Manual Técnico Vol. 4

2.2.2.1. Clasificación de los suelos

Figura 5. Clasificación sistema SUCS



Fuente: <https://i.ytimg.com/vi/1tgYT7nG3N0/maxresdefault.jpg>

Límite Líquido. - El Límite Líquido de un suelo se define como el contenido máximo de humedad a partir del cual dicho suelo deja de comportarse plásticamente y pasa a comportarse como un líquido.

Límite Plástico. - El Límite Plástico de un suelo es el contenido de humedad correspondiente a un límite convencional entre los estados de consistencia plástica y semisólida.

Figura 6. Límites de consistencia



Fuente: Elaboración propia

2.2.3. Propiedades ingenieriles

Relación humedad-densidad: La compactación se define como el proceso mecánico mediante el cual se disminuye la cantidad de huecos en una masa de suelo, obligando a sus partículas a un contacto más íntimo entre sí, es decir, a un aumento de la densidad de un material determinado.

Relación de Soporte California (CBR): El ensayo CBR (California Bearing Ratio: Ensayo de Relación de Soporte de California) mide la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo y para poder evaluar la calidad del terreno para subrasante, subbase y base de pavimentos. Se efectúa bajo condiciones controladas de humedad y densidad.

Expansión: La expansividad de suelos es una propiedad física de los suelos que puede evaluarse como el hinchamiento del suelo cuando aumenta su cantidad de agua y se retraen cuando la disminuye.

2.3. Estabilidad del suelo

Es de todos conocido la variabilidad y complejidad de los suelos. Sin embargo, debido a sus diversas utilidades, el ingeniero tiene grandes oportunidades para desarrollar sus habilidades, al utilizar a los suelos como un material ingenieril. (Del Castillo, 2008).

Desafortunadamente, en Bolivia existen muchos suelos que en su estado natural no son adecuados para su utilización en las obras por no reunir los requisitos especificados. En estos casos los ingenieros deberán tomar una de las tres decisiones siguientes:

- Aceptar el material tal y como esta y efectuar el diseño de acuerdo con las restricciones impuestas por la calidad de la materia.
- Remover y desechar el suelo del lugar y sustituirlo por un suelo de características adecuadas.
- Alterar o cambiar las propiedades del material existente de tal manera que se obtenga un material que reúna la mejor forma los requisitos impuestos, o cuando menos que la calidad obtenida será adecuada.

El objetivo del presente trabajo es considerar solamente lo que representa a la tercera decisión, es decir, que nos referimos solamente a la que se conoce como Estabilización de Suelos.

Por tanto se denomina estabilización de suelos al proceso de someter a los suelos naturales a ciertos tratamientos para aprovechar sus mejores cualidades, siempre buscando una mejoría sustancial en el comportamiento esfuerzo-deformación de los suelos y/o de la estructura que se coloque sobre ellos, a lo largo de su vida útil; obteniéndose una capa de asiento del firme estable y durable, capaz de soportar los efectos del tránsito y las condiciones del clima más severas y por ende asegure geotécnicamente el comportamiento de la explanada.

Para el proceso de estabilización de los suelos existen dos opciones de ejecución, mezcla en central o plantas móviles y mezclas in situ.

Se define un suelo estabilizado “in situ” a la mezcla homogénea y uniforme de un suelo con cal o con cemento, y eventualmente agua, en la propia traza de la carretera, la cual convenientemente compactada, tiene por objeto disminuir la susceptibilidad al agua o aumentar su resistencia, para su uso en la formación de explanadas.

Figura 7. Estabilización en planta y estabilización in situ con cemento



Fuente: <http://www.firmesecologicossoltec.com/>

2.4. Importancia de la estabilización de suelos

Es importante la estabilización para mejorar varias propiedades esenciales de los suelos; pero también puede aparecer el caso de que algunas de estas propiedades lleguen a deteriorarse inmediatamente o con el paso del tiempo. Para evitar esta situación, es importante elegir o especificar un sistema de estabilización y ver que sea el más correcto posible. Además, es necesario determinar el porcentaje óptimo de estabilizante, y tener la seguridad que sea el adecuado para cada caso particular. Por otro lado es importante realizar la investigación del comportamiento de los materiales estabilizados, analizando a corto y largo plazo las propiedades que se mejoran y se mantienen al paso del tiempo, estando conscientes del costo que implica la tarea, de las múltiples propiedades del suelo.

2.5. Estabilización subrasante con emulsión asfáltica

Figura 8. Estabilización en subrasante



Fuente: <http://padegua.com/wp-content/uploads/2014/01/PROYECTO-BLVD-JUAN-PABLO-II.jpg>

a) Disminuir la Plasticidad.

La plasticidad del suelo está relacionada con el concepto de límites de Atterberg, término conocido en la mecánica de suelos. Estos parámetros relacionan la capacidad que tienen los suelos cohesivos para adsorber agua sobre la superficie de sus partículas, ya que cuanto mayor es la cantidad de agua que contiene un suelo, menor es la interacción entre sus partículas adyacentes y más se aproxima el suelo en su comportamiento al de un material líquido; por lo tanto, una alteración en los valores de estos límites indicara una modificación del agua adsorbida por el suelo.

El término limoso se aplica cuando las fracciones de finos del suelo tienen un índice de plasticidad de 10 o menor. El término arcilloso se aplica cuando las fracciones de finos tienen un índice de plasticidad de 11 o mayor (BRAJA M. DAS).

Diversos autores han demostrado que puede lograrse un cambio de los límites de Atterberg modificando químicamente la capacidad del mineral de arcilla para captar las moléculas de agua en ese sentido, la estabilización química se ha usado con gran eficacia para modificar esta propiedad.

b) Estabilidad Volumétrica.

Esta propiedad se refiere al apreciable cambio de volumen que sufren los suelos, debido al cambio de humedad y los esfuerzos internos afectados por el agua.

Cuando un suelo saturado se seca, cambia su volumen (retracción). Esta pérdida de volumen se debe a la desecación ocurrida en el suelo, que provoca una modificación en la tensión capilar del menisco formado en cada, poro de la superficie. Luego se produce una tracción en el agua del suelo y la correspondiente compresión en la estructura del mismo, siendo ésta última bastante considerable e inclusive actúa como una carga en el mismo.

Se produce la expansión o hinchamiento cuando un suelo seco, cohesivo aumenta su humedad; este fenómeno se debe a diversos factores como la atracción del agua por los minerales arcillosos, la repulsión eléctrica de las partículas de arcilla y de sus cationes absorbidos.

La estabilidad volumétrica está íntimamente relacionada con la composición mineralógica de los suelos y los cambios climatológicos de la región, esta propiedad es propia de los suelos que contienen un alto porcentaje de minerales arcillosos.

La estabilidad volumétrica se modifica cementando el material de modo que disminuya la capacidad del material de absorber agua, siendo más efectivos en las arcillas profundas.

c) Compresibilidad.

La compresibilidad es una propiedad que está relacionada íntimamente con el cambio volumétrico del suelo, el cual se manifiesta a través de un asentamiento. Este asentamiento es producido por el peso propio del material o por cargas externas superficiales que originan un cambio en la relación de vacíos, flexión y la distorsión o, cambio de formas de la fase sólida del suelo inmediatamente debajo de la carga. Asimismo, la estructura de los sólidos especialmente en los puntos de contacto de un factor irreversible con la compresibilidad de todos los suelos no cohesivos. Sin embargo, en las arcillas el factor más importante de la compresibilidad es la repulsión eléctrica entre sus partículas que tienen cargas iguales o, que están rodeadas de cationes con cargas semejantes que las mantienen apartadas.

La reducción de la compresibilidad del suelo puede lograrse llenando los poros del mismo, es decir, cementando los granos con un material rígido. Pero también, es posible reducir esta propiedad cambiando las fuerzas del agua absorbida por el mineral de arcilla.

En términos generales, todos los métodos de estabilización revisados en anteriores secciones pueden incluir en esta propiedad, pero frecuentemente la compactación y la estabilización química son las que más se utilizan.

d) Resistencia o Capacidad Portante.

Esta propiedad se refiere a la capacidad que tiene el suelo de soportar cargas continuas de tráfico, para no sufrir fallas y deformaciones inadmisibles en su estructura.

En general, todas las formas de estabilización química revisadas anteriormente, pueden mejorar en mayor y menor grado de resistencia del suelo; pero mucho depende de la cantidad de materia orgánica que contiene el mismo, ya que el efecto de la materia orgánica en el suelo estabilizado por medios químicos, reduce la reacción con el aditivo empleado y disminuye considerablemente la resistencia normalmente adquirida.

2.6. Tipos de estabilización

Son muchos los procedimientos que pueden seguirse para lograr esa mejoría de las propiedades de los suelos, con vistas a hacerlos apropiados para algún uso específico, lo que constituye la estabilización. La siguiente lista de técnicas de estabilización no agota seguramente la amplia gama existente, aunque resume las más conocidas en nuestro medio.

- a) Estabilización mecánica
- b) Estabilización Física o granulométrica
- c) Estabilización química o por medios químicos
- d) Estabilización Físico-Química
- e) Estabilización por medios eléctricos

La gran variabilidad de los suelos y sus composiciones hacen que cada técnica de estabilización resulte sólo aplicable a un número limitado de tipo de ellos; en muchas ocasiones esa variabilidad se manifiesta a lo largo de algunos metros, en tanto que en otras

a lo largo de algunos kilómetros, pero en cualquier caso suele ser frecuente que para aplicar una técnica de estabilización económicamente hayan de involucrarse varios tipos de suelos.

De esta manera una optimizada estabilización de suelos, abre la posibilidad de una utilización eficaz de los materiales locales, para la construcción y conservación de una vía.

2.6.1. Estabilización química o por medios químicos

En estos casos, la estabilización se hace a través de un compuesto químico que reacciona con el suelo produciendo cambios irreversibles en este, tanto físicos como en su estructura química, dando lugar a que la capa tratada mejore sus propiedades físicas y mecánicas.

Dentro de este grupo de estabilización, las sustancias químicas más comunes son: cal y cemento.

- Cal: Disminuye la plasticidad de los suelos arcillosos y es muy económica.
- Cemento portland: Aumenta la resistencia de los suelos y se usa principalmente para arenas o gravas finas.

Otros productos también utilizados son:

- Productos Asfálticos: Es una emulsión muy usada para material triturado sin cohesión.
- Cloruro de sodio: Impermeabilizan y disminuyen los polvos en el suelo, principalmente para arcillas y limos.
- Cloruro de calcio: Impermeabilizan y disminuyen los polvos en el suelo, principalmente para arcillas y limos.
- Escorias de fundición: Se utiliza comúnmente en carpetas asfálticas para darle mayor resistencia, impermeabilizarla y prolongar su vida útil.
- Polímeros: Este se utiliza comúnmente en carpetas asfálticas para darle mayor resistencia, impermeabilizarla y prolongar su vida útil.
- Caucho de Neumáticos: Este se utiliza comúnmente en carpetas asfálticas para darle mayor resistencia, impermeabilizarla y prolongar su vida útil.

2.7. Sustancia cementantes

Son materiales aglomerantes que tienen las propiedades de adherencia y cohesión requeridas para unir fragmentos minerales entre sí, formando una masa sólida continua, de resistencia y durabilidad adecuadas.

Los principales materiales cementantes son:

- La arcilla
- Los cementos
- El yeso
- Los asfaltos y alquitranes
- La cal
- Los monómeros polimerizados

2.7.1. Emulsión asfáltica

Figura 9. Emulsión asfáltica



Fuente: <http://ventaemulsionlenta-asfaltorc250.com.pe/wp-content/uploads/2018/01/EMULSI%C3%93N-ASF%C3%81LTICA.jpg>

Una emulsión asfáltica es simplemente la suspensión de pequeños glóbulos de asfalto en agua, la cual es asistida por un agente emulsificante (como por ejemplo una solución jabonosa). El agente emulsificante actúa al impartir una carga eléctrica a la superficie de los glóbulos de asfalto, de manera que estos no se aglomeren. En general, las emulsiones

tienen apariencia de líquido marrón espeso cuando se aplican inicialmente. Cuando el asfalto empieza a adherirse al material circundante (agregado, superficie existente, subbase, etc.) el color cambia de marrón a negro y se dice que la emulsión se ha "roto". Cuando el agua empieza a evaporarse, la emulsión comienza a comportarse cada vez más como asfalto puro. El tiempo requerido para el rompimiento depende del tipo de emulsión, la tasa de aplicación, la temperatura de la superficie sobre la que se aplica y las condiciones ambientales.

2.7.1.1. Tipos de emulsiones

Básicamente hay ocho tipos de emulsiones asfálticas con diferentes fines constructivos.

- Emulsiones bituminosas

Las emulsiones bituminosas son dispersiones coloidales de glóbulos de betún en una fase acuosa, compuesta por agua y uno o varios agentes emulsionantes de carácter aniónico o catiónico, cuya misión es permitir la dispersión del betún, asegurar la estabilidad de la emulsión y garantizar la adherencia con los áridos a temperatura ambiente. («Emulsiones bituminosas de Repsol—Repsol.energy», s. f.)

- Emulsiones modificadas

Su empleo es adecuado en momentos de tráfico pesado y climatología adversa para garantizar una excelente unión entre capas y una cohesión mejorada con el árido.

- Emulsiones termo adherentes

Su propiedad termo adherente garantiza la nula pegajosidad de cualquier elemento hasta el momento de la aplicación de la mezcla bituminosa en caliente, que precisamente modifica en ése momento la viscosidad del ligante, facilitando la adherencia entre capas.

- Emulsión especial para reciclado en frío

Especialmente desarrollada por nosotros para el reciclado en frío de firmes envejecidos. Se diseña específicamente para cada obra y aporta los componentes que ha perdido el

betún original en la carretera por el paso del tiempo, devolviéndole sus características iniciales

- Emulsiones para mezclas bituminosas templadas

Sea desarrollado las gamas de emulsiones ECOTEMP y RECITEMP para la fabricación y empleo de mezclas bituminosas templadas. Con ellas logramos una reducción de temperaturas, por lo que disminuyen las emisiones, un aumento en la seguridad y salud laboral y un ahorro energético.

- EFIMUL Mezclas abiertas en frío

Formulada ad-hoc para la fabricación de mezclas de granulometría abierta, acopiables, manejables a temperatura ambiente, y específicamente diseñada para aprovechar la versatilidad y movilidad que ofrece la maquinaria de fabricación y extendido de lechadas bituminosas.

- Emulsión de altas prestaciones para Micro aglomerados en frío y Lechadas Bituminosas

Permite obtener micro aglomerados en frío de rotura muy rápida y cohesiones muy altas, capaces de soportar las más adversas condiciones de trabajo.

- Emulsiones de Alta Estabilidad al Almacenamiento. Emulsiones Export

Esta gama de emulsiones cuenta con una gran estabilidad al almacenamiento, permitiendo mejorar el proceso natural de sedimentación durante el almacenamiento y transporte a largas distancias.

2.7.1.2. Componente de la emulsión asfáltica

La emulsión asfáltica está compuesta entre un 50% y un 75 % de asfalto, y aun siendo el elemento predominante en la emulsión, ninguna de sus propiedades afecta la estabilidad de la misma. Sin embargo, la caracterización del asfalto es necesaria para determinar su desempeño posterior a la colocación de la emulsión. Según el clima, condiciones de

tránsito esperado y el tipo de aplicación escogida, la propiedad que requiere mayor atención es la dureza del asfalto.

- Agua

Ciertos minerales y algunos químicos en el agua utilizada durante la elaboración de las emulsiones, pueden afectar la estabilidad y las condiciones de almacenamiento de la emulsión asfáltica. La presencia de iones de calcio y magnesio en el agua retrasan el rompimiento de los enlaces catiónicos en emulsiones con carga positiva, contrariamente, cuando se presentan carbonatos o partículas en suspensión, se produce una pérdida de estabilidad en la emulsión debido a un prematuro rompimiento.

- Emulsificante

El emulsificante está conformado una parte por cadenas de hidrocarburos que son solubles en medios orgánicos como el asfalto y otra parte con carga eléctrica que es soluble en medios acuosos. Es por esta razón que a pesar de que el emulsificante es el componente en menor cantidad dentro de una emulsión, es quien provee las propiedades principales a la emulsión, le brinda estabilidad y determina finalmente qué tipo de emulsión asfáltica se obtendrá.

2.8. Prueba de hipótesis t

2.8.1. Prueba t de student para muestras independientes

Supongamos que tenemos dos muestras aleatorias e independientes con medias de x_1 y x_2 y que queremos saber si estas dos medias son significativamente distintas a un nivel de $p \leq 0,05$. Esto es lo mismo que decir que si afirmamos que hay una diferencia entre las muestras tenemos un 95% de probabilidad de tener razón. Lo que tenemos que calcular, entonces, es la probabilidad de que las dos muestras pueden provenir de la misma distribución y que la diferencia que vemos es por varianza en esa población. En otras palabras: queremos saber si dos muestras con la diferencia observada ($x_1 - x_2$) podrían tener provenir de la misma población.

Si sacamos un número significativo de muestras de una misma población la media de estas muestras va a tener una diferencia con la media de la población, en algunos casos más altos y en otros más bajos. Usamos este conocimiento para calcular el error estándar:

$$SE = \frac{\sigma}{\sqrt{N}}$$

De la misma manera existe un error estándar de diferencias entre medias (SED por sus siglas en ingles).

2.8.2. Definición (Error estándar de diferencia entre medias)

$$SED = \sqrt{\sigma^2_1/N_1 + \sigma^2_2/N_2}$$

Donde:

- σ^2_1 y σ^2_2 : las varianzas de las poblaciones 1 y 2
- N_1 y N_2 : es el número de observaciones en cada muestra.

Al igual que con el error estándar, a menudo desconocemos la varianza de la población, por lo cual lo estimamos de la muestra y la fórmula es la que vemos en la definición.

2.8.3. Definición (Error estándar de diferencia entre medias estimado de muestras)

$$SED = \sqrt{s^2_1/N_1 + s^2_2/N_2}$$

Donde:

- s^2_1 y s^2_2 : las varianzas de las muestras 1 y 2
- N_1 y N_2 : es el número de observaciones en cada muestra.

Para muestras relativamente pequeñas ($N < 30$) la distribución de la muestra tiende a la distribución *t* de student. Podemos valernos de esto para calcular la probabilidad de que nuestro *SED* esté en el rango requerido aplicando la fórmula de la definición

2.8.4. Definición (Prueba de t)

$$t = \frac{(X1-X2)}{SED}$$

Si aplicamos la fórmula de la definición nos sale un valor que podemos comparar con los valores críticos para determinar si rechazamos H_0 o no.

CAPÍTULO III
METODOLOGÍA DE APLICACIÓN

CAPÍTULO III METODOLOGÍA DE APLICACIÓN

3.1. Ubicación de la zona

Partiendo desde su macroentorno el área de estudio para el respectivo muestreo se divide en 3 unidades localizadas dentro del departamento de Tarija (Bolivia) en la zona sur (área urbana), y de la Provincia Cercado y en la comunidad de Entre Ríos provincia O' Connor.

La primera muestra está ubicada en las lomas comunidad de entre ríos de la provincia O' Connor, compuesto por limos inorgánicos en estado seco textura rojizo.

La segunda muestra se encuentra en el barrio Los Chapacos detrás del colegio Humberto Portocarrero II, el terreno está compuesta por material fino con contenido de arcillas de color amarillo blanquecino, seca de textura muy fina.

La tercera muestra está ubicada sobre la Av. Colon pasando el puente de la quebrada El Monte, está compuesto por material fino de arcillas inorgánicas. A continuación en la figura 3.1, 3.2 y 3.3 se visualizan las tres áreas de estudio.

Figura 10. Mapa de área de extracción de muestras N.º 1: Barrio los Chapacos



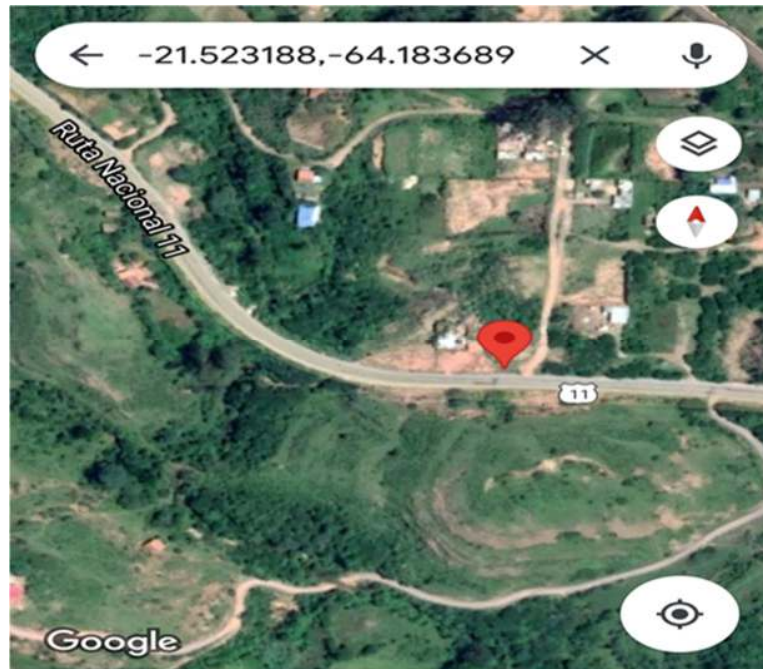
Fuente: Programa Google Earth

Figura 11. Mapa de área de extracción de muestras N.º 2: Av. Colon



Fuente: Programa Google Earth

Figura 12. Mapa de área de extracción de muestras N.º 3: Entre Ríos



Fuente: Programa Google Earth

3.2. Muestreo de materiales

Para la selección de la muestra de los suelos, se tuvo en cuenta que fuera del tipo fino.

Con este objeto fue necesaria una previsualización de los terrenos y sus aptitudes geotécnicas para la futura estabilidad de las mismas. La muestra se la extrajo cumpliendo las especificaciones y siguiendo los pasos indicados en las guías de laboratorio para la extracción de muestra (ASTM D4220) del manual de carreteras V4C.

3.2.1. Muestreo zona de estudio: Zona Entre Ríos

Para este muestreo se optó por realizar la toma de muestras en esta zona, porque este tramo secundario que se encuentra sobre una carretera, será una vía de acceso a viviendas además los alrededores del lugar se encuentran en crecimiento por lo que es de prever la construcción de más obras civiles y más vías de acceso, en un futuro cercano

Figura 13. Zona de procedencia del material extraído: Muestra (Suelo Limoso Color Rojizo)



Fuente: Elaboración Propia

3.2.2. Muestreo zona de estudio: Barrio Los Chapacos

Para este muestreo se procedió a la toma directa del material debido a que la zona se encontraba excavado por maquinaria pesada y por tanto libre de materia orgánica, las muestras tomadas se las colocaron en bolsas de nylon para la caracterización del misma y especialmente para evitar la pérdida de humedad natural del suelo y saquillos para los

ensayos de estabilización debido a que se trabajara con muestras secas. En las siguientes figuras se observa la zona de extracción de las muestras de campo es una zona en crecimiento.

3.2.3. Muestreo zona de estudio: Av. Colon Barrio El Trigo

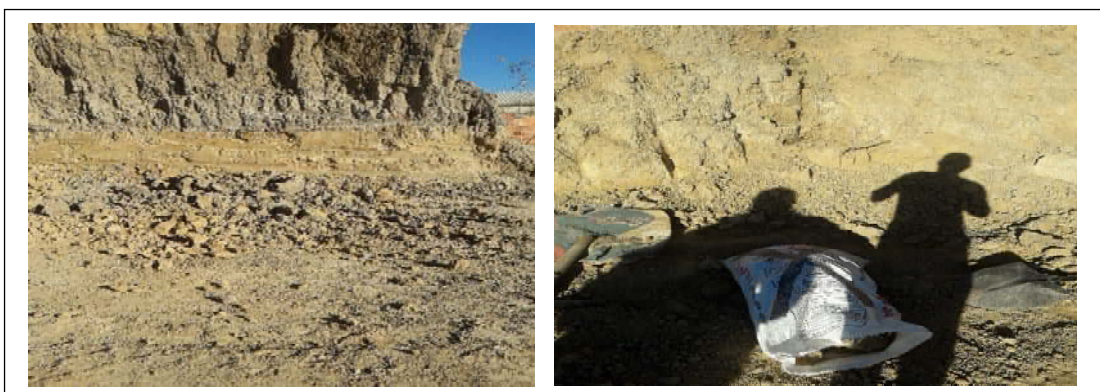
El muestreo consistió en hacer un análisis visual del crecimiento poblacional la cual nos llevó a realizar la extracción en la zona que fue el mismo método empleado del segundo muestreo.

Figura 14. Zona de procedencia del material extraído: Muestra (arcilla amarilla)



Fuente: Elaboración Propia

Figura 15. Zona de procedencia del material extraído: Muestra (arcilla orgánica)




Fuente: Elaboración Propia

3.2.4. Selección de las emulsiones

La emulsión para este trabajo de investigación, es IMPRIMAX y CSS1, traído de la empresa QUIMITEC ASFALTOS SRL. De Montero -Santa Cruz, de las cuales se muestran sus características en las siguientes fichas técnicas.

Figura 16. Ficha técnica emulsión IMPRIMAX

| Procedencia | QUIMITEC ASFALTOS SRL. | Número de registro | 26 | | |
|---|-------------------------------------|--------------------|----------------|------|-----------|
| Cliente | CONVIAL SRL. | Fecha de ensayo | 03-abr-21 | | |
| Producto | Emulsión Asfáltica para Imprimación | Tipo | IMPRIMAX | | |
| Características del producto | | | | | |
| Ensayo | Norma | Unidad | Especificación | | Resultado |
| Viscosidad S.F (25°C) | AASHTO T59 - 97 | seg | Máx. | 90 | 14,2 |
| Peso Especifico 25 °C | AASHTO T59 - 97 | gr/cc | | | 0,966 |
| Tamizado malla N° 20 | AASHTO T59 - 97 | % | Máx. | 0,1 | 0,01 |
| Solvente destilado | AASHTO T59 - 97 | % | Máx. | 15,0 | 5,10 |
| Residuo por evaporación | AASHTO T59 - 97 | % | Min. | 45,0 | 48,2 |
| Sedimentación, 5 días | AASHTO T59 - 97 | % | Máx. | 10,0 | 4,1 |
| pH | AASHTO T200 | | Máx. | 8,0 | 6,2 |
| ENSAYOS SOBRE EL RESIDUO DE EVAPORACION | | | | | |
| Ensayo | Norma | Unidad | Especificación | | Resultado |
| Solubilidad en tricloroetileno | AASHTO T-44 | % | Min. | 97 | 98,5 |
| Ductilidad (25° C, 5 cm/min.) | AASHTO T-51 | cm | Min. | 40 | 115,0 |
| Observaciones: | | | | | |


 QUIMITEC ASFALTOS SRL
 Jefe de Laboratorio
 Téc. Pedro J. Padilla M.



Fuente: Elaboración QUIMITEC ASFALTOS SRL.

Figura 17. Ficha técnica emulsión CSS1

| Procedencia | QUIMITEC ASFALTOS SRL | Número de registro | 35 | | |
|---------------------------------------|-----------------------|--------------------|----------------|------|-----------|
| Cliente | GENESIS | Fecha de ensayo | 17-may-21 | | |
| Producto | Emulsión Asfáltica | Tipo | CSS1 | | |
| Características del producto | | | | | |
| Ensayo | Norma | Unidad | Especificación | | Resultado |
| Viscosidad S.F (25°C) | NBR 14491/ASTM D-244 | seg. | 20 | 100 | 25,0 |
| Contenido de agua | ASTM D-95/T55-2000 | % | Máx. | 40,0 | 38,8 |
| Residuo por evaporación | NBR 14376/ASTM D-5997 | % | Min. | 60,0 | 61,2 |
| Sedimentación, 7 días | NBR 6570/ASTM D-244 | % | Máx. | 5,0 | 1,2 |
| Tamizado malla N° 20 | NBR 14393/ASTM D-244 | % | Máx. | 0,1 | 0,01 |
| Mezcla con cemento | ASTM D-244/T59-97 | % | Máx. | 2,0 | 0,5 |
| Carga de partícula | NBR 6567/ASTM D-244 | % | Positiva | | Positiva |
| ENSAYOS SOBRE EL RESIDUO DE EMULSION | | | | | |
| Ensayo | Norma | Unidad | Especificación | | Resultado |
| Penetración, 25°C, 100g, 5 seg. | NBR 6576/ASTM D-5 | cm | 50 | 250 | 55 |
| Punto de Ablandamiento | NBR 6560/ASTM D-30 | °C | Min. | 55 | 57 |
| Ductilidad, 5° C, 5 cm/min, cm | ASTM D-113/T51 | cm | ≥ 10 | | 10 |
| Recuperación elástica, 25°C, 5 cm/min | NBR 15086/ASTM D-6084 | cm | ≥ 12 | | 12,0 |
| Observaciones: | | | | | |

QUIMITEC ASFALTOS SRL

Jefe de Laboratorio

Téc. Pedro J. Padilla M.



Fuente: Elaboración QUIMITEC ASFALTOS SRL.

3.3. Caracterización de los materiales a estabilizar

Para conocer las propiedades de los suelos utilizados en el proyecto, se tomaron muestras en todo el desarrollo del mismo, posteriormente en el Laboratorio de suelos y Hormigón se determinaron sus propiedades y clasificación de las mismas según la norma AASHTO.

3.3.1. Análisis granulométrico (ASTM D 422 AASHTO T88)

La prueba de granulometría sirve para determinar el porcentaje en peso de las partículas de diferentes tamaños, teniendo una visión de la distribución del tamaño de los granos presentes en un suelo. El ensayo de análisis granulométrico por tamizado se realizó mediante el método del lavado en el cual se pesa 500 gr como peso total, se procede a realizar el lavado por la malla número 200 de acuerdo a la norma AASHTO-T88. Después que el suelo está seco se pesa y se procede al tamizado por la malla N.º 40 y 200, desde arriba hacia abajo. El primer tamiz, es el de mayor tamaño y es donde inicia el tamizado. Se tapa con el fin de evitar pérdidas de finos; el ultimo tamiz está abajo y descansa sobre un recipiente (base) de forma igual a uno de los tamices, y recibe el material más fino no retenido por ningún tamiz. Luego proceder a realizar el pesaje del material retenido en cada malla.

Figura 18. Lavando el suelo por la malla N°200



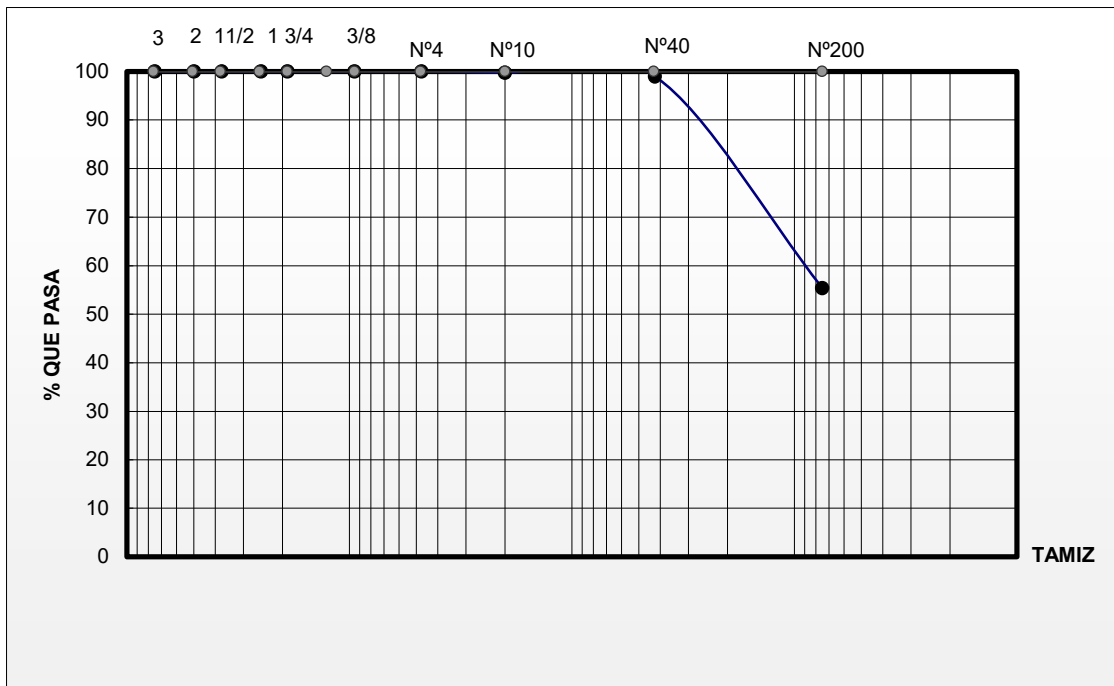
Fuente: Elaboración Propia

Figura 19. Tamizando y pesando lo que quedo retenido en cada malla



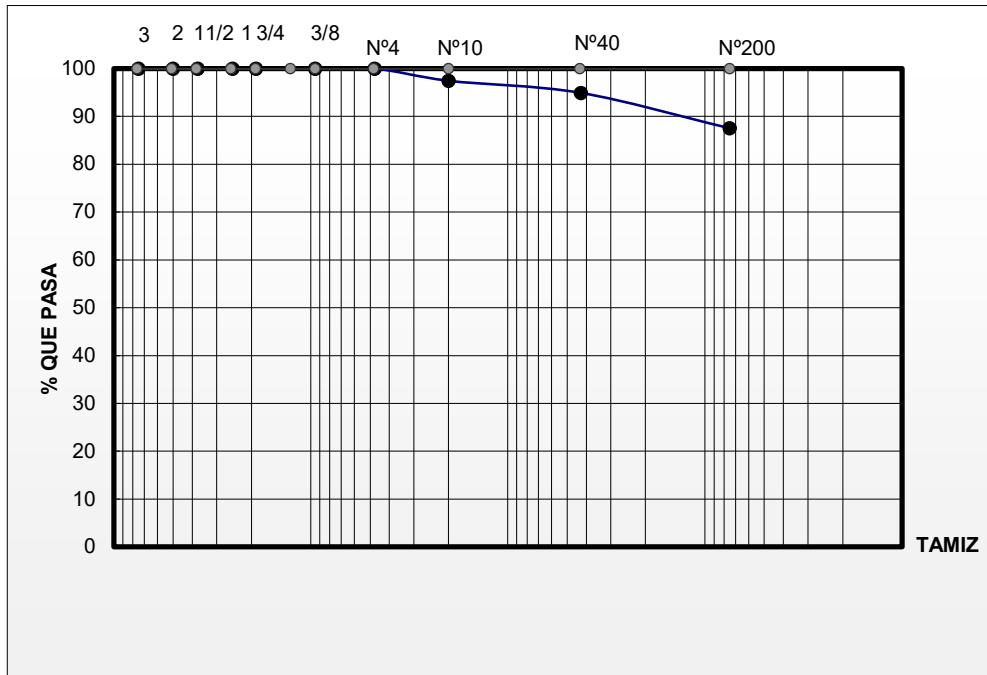
Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 1. Granulometrías de los suelos a estabilizar



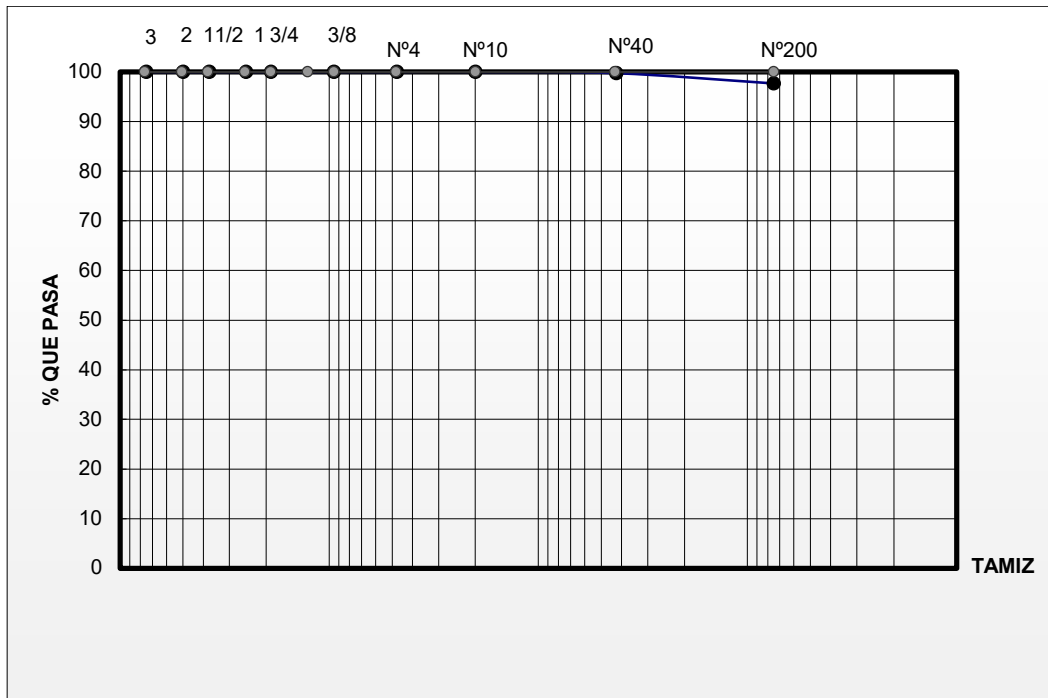
Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 2. Granulometrías de los suelos a estabilizar



Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 3. Granulometrías de los suelos a estabilizar



Fuente: Elaboración Propia

Tabla 6. Resultados de granulometría de los suelos naturales

| Zona de Estudio | Nº1 | Nº2 | Nº3 |
|-----------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Tamices | % Que Pasa del Total | % Que Pasa del Total | % Que Pasa del Total |
| 3" | 100,00 | 100,00 | 100,00 |
| 2" | 100,00 | 100,00 | 100,00 |
| 1 1/2" | 100,00 | 100,00 | 100,00 |
| 1" | 100,00 | 100,00 | 100,00 |
| 3/4" | 100,00 | 100,00 | 100,00 |
| 1/2" | 100,00 | 100,00 | 100,00 |
| 3/8" | 100,00 | 100,00 | 100,00 |
| Nº4 | 100,00 | 100,00 | 100,00 |
| Nº10 | 99,76 | 97,44 | 100,00 |
| Nº40 | 99,03 | 94,90 | 99,77 |
| Nº200 | 55,43 | 87,52 | 97,65 |

Fuente: Elaboración Propia

Análisis de resultados

La granulometría de las tres zonas según la tabla 6 de resultados, pasa más del 50% en tamiz Nº200, la zona Nº1 correspondiente comunidad de Entre Ríos es más un suelo limoso el material de la zona de estudio Nº2 corresponde al barrio Los chapacos es un suelo fino, el material de la zona Nº3 corresponde barrio Laureles sobre la av. Colon es mucho más fino que el material de la zona Nº2.

3.3.2. Límites de Atterberg (ASTM D4318 AASHTO T90-T89)

Los límites de plasticidad se realizaron conforme a la norma y este corresponde a la humedad, o sea el porcentaje de agua respecto al peso de los sólidos en que los finos de los materiales pasan de una consistencia a otra.

- ❖ **Límite Líquido:** Se determina mediante el método de la cuchara de casa grande (NLT-105). El ensayo se basa en la determinación de la cantidad de agua mínima que se puede contener en una pasta formado de maso menos 100 gr de suelo seco que haya pasado el tamiz Nº40. Para ello, se coloca sobre el mencionado artefacto y se acciona el mecanismo de este, contándose el número de golpes necesario para cerrar un surco (realizado previamente con un ranurador normalizado) en una longitud alrededor de 12mm. El ensayo se dará por válido cuando se obtengan

determinaciones entre 15-25;25-30;30-35;35-40 golpes. La humedad correspondiente al límite líquido será la correspondiente a 25 golpes, y se determinara interpolando en una gráfica normalizada las cuatro determinaciones obtenidas experimentalmente.

- ❖ **Límite Plástico (NLT-106):** Se determina en base de la menor humedad de un suelo que permite realizar con el cilindros de 3 mm de diámetro que presenten fisuras sin que se desmoronen, realizándose 4 determinaciones y hallando la media .Este ensayo se realiza con aproximadamente 200 gr. De muestra seca y filtrada a través tamiz N°40, como en el caso anterior.

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

En las Figuras se puede observar parte del desarrollo del ensayo del límite líquido y plástico.

Figura 20. Realización del ensayo de límites de Atterberg



Fuente: Elaboración Propia

Tabla 7. Resultados correspondientes a la plasticidad de las muestras sin estabilizar

| Zona de estudio | N°1 | N°2 | N°3 |
|--------------------------------|-----|-------|-------|
| Limite Liquido (L.L.) % = | | 35,00 | 46,00 |
| Limite Plástico (L.P.)%= | | 23,00 | 28,00 |
| Índice de Plasticidad (I.P.)%= | | 11,00 | 18,00 |
| Índice de Grupo (IG.)= | | 8,00 | 12,00 |

Fuente: Elaboración Propia

3.3.3. Contenido de Humedad y Clasificación

El ensayo de contenido de humedad natural (ASTM D2216) se realizó de acuerdo a lo especificado en el Vol.4C del manual de carreteras.

Tabla 8. Resultados correspondientes al contenido de humedad natural

| Zona de estudio | N°1 | N°2 | N°3 |
|-----------------|------|------|------|
| W % = | 2,59 | 3,55 | 4,33 |

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 9. Clasificación de los suelos según AASHTO y SUCS

| CLASIFICACIÓN DEL SUELO | | Descripción |
|-------------------------|------------|--|
| N°1: | ML. | Arena fina con presencia de limo y arcilla |
| | A-4 (0) | |
| N°2: | CL. | Arcilla inorgánica de baja a mediana compresibilidad |
| | A-6 (8) | |
| N°3: | CL. | Arcilla inorgánica de mediana compresibilidad. |
| | A-7 -6(12) | |

Fuente: Elaboración Propia

3.3.4. Compactación (AASHTO T-99/ ASTM D698)

El ensayo de Proctor se realizó por el método de la norma (AASHTO T-99/ ASTM D698) modificado y permite conocer el grado de humedad de un suelo para alcanzar una densidad máxima aplicando una energía de compactación determinada, para este caso se utilizó por el tipo de material el método C.

El agua, al actuar como lubricante de las partículas de un suelo facilita la compactación de un suelo seco y encontrar la humedad óptima para alcanzar una densidad máxima seca con una misma energía de compactación. La prueba es importante para controlar la calidad de los procesos de compactación que se les dan a las capas de bases y subbases varían entre el 95% y el 100%.

El procedimiento de ensayo consiste en apisonar en 3 capas consecutivas una cantidad aproximadamente de 6 kg de suelo previamente tamizada por el tamiz N°4 y dividida por cuarteo en 4 partes aproximadamente iguales. La muestra se humecta y se introduce en un molde metálico de dimensiones normalizadas (911.1 cm³).

Para llevar a cabo el apisonado se emplea un pistón también normalizado, de forma que su peso y altura de caída no varíen, lo que asegura una energía de compactación constante. La normativa estipula una cantidad de 56 golpes con el pistón por cada capa de suelo. Se realizan alrededor de 4 a 5 determinaciones con diferente grado de humedad construyendo la curva “humedad-densidad seca”.

En las siguientes figuras se puede verificar la realización del ensayo compactación para el proyecto en estudio.

Figura 21. Proceso del ensayo de compactación



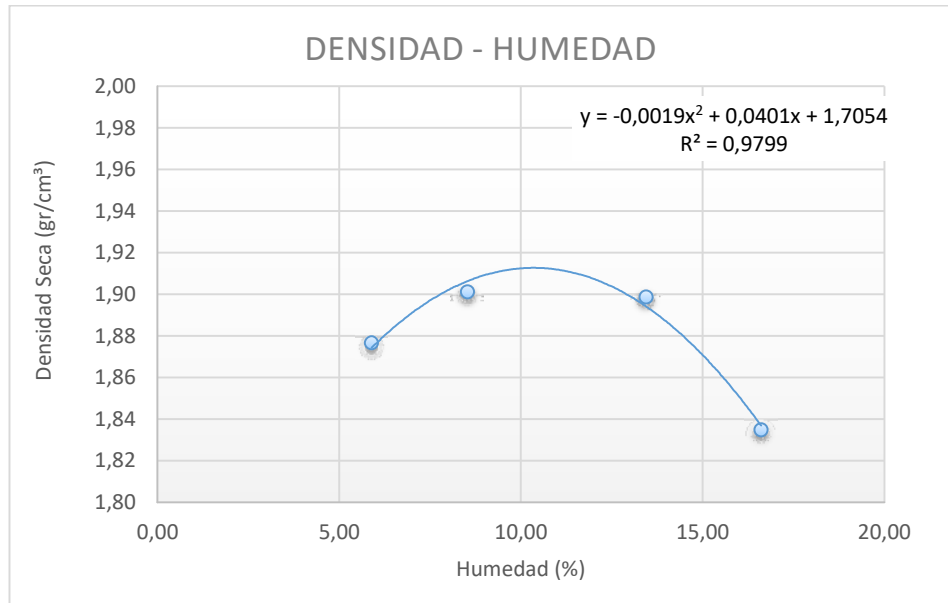
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 10. Resultados del ensayo de compactación sin estabilizar

| Zona de estudio | N.º 1: Entre Ríos | N.º 2: B/ Chapacos | N.º 3: B/Trigal Av. Colon |
|---------------------------------------|------------------------------|-------------------------------|--------------------------------------|
| Densidad máxima (gr/cm ³) | 1,92 | 1,91 | 1,94 |
| Humedad Óptima (%) | 10,55 | 11,53 | 13,31 |

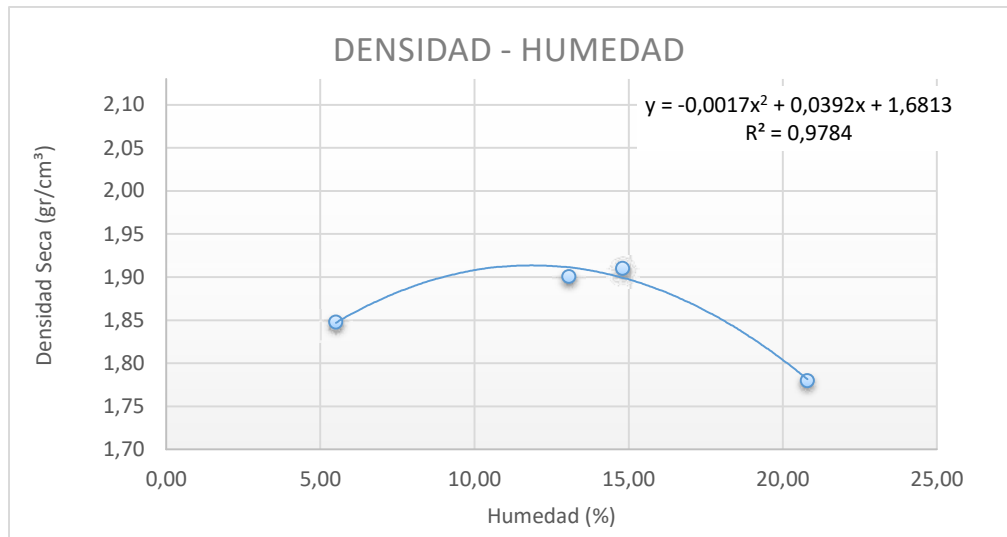
Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 4. Curva de compactación de la zona N°1



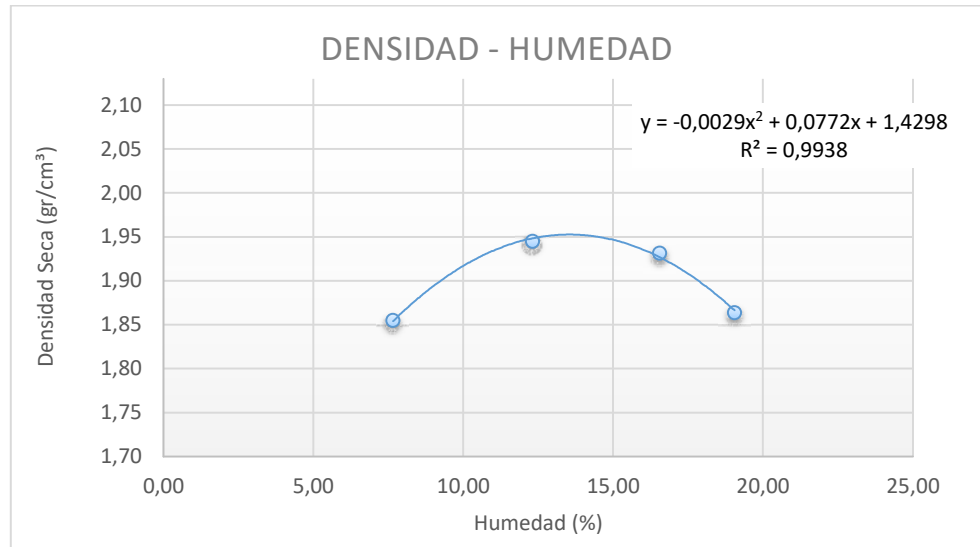
Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 5. Curva de compactación de la zona N°2



Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 6. Curva de compactación de la zona N°3



Fuente: Elaboración Propia

3.3.5. Relación de Soporte de California CBR (ASTM D 1883_ AASHTO T-193)

El ensayo CBR, se realizó de acuerdo a la norma AASHTO T-193, para obtener la resistencia del suelo, y así evaluar la capacidad de soporte del suelo en la capa de subrasante, base y subbase de pavimentos.

Para la obtención de los diferentes CBR se efectuaron tres moldes con distinta energía de compactación; la primera con 12 golpes, la segunda con 25 golpes y la tercera, con 56 golpes por cada ensayo de CBR.

Las muestras elaboradas bajo estos procedimientos, se sometieron a un proceso de inmersión en agua para simular las condiciones de saturación a las cuales podrían estar sometidos los suelos como es la subrasante de una carretera, y en esta forma, obtener los CBR de los suelos bajo las condiciones más críticas ; esto durante un período mínimo de 96 horas donde se colocan pesas sobre las mismas, con el objeto de simular las cargas tanto vehiculares , como de la estructura de pavimento y por otro lado determinar su expansión efectuando 4 lecturas empleando un extensómetro debidamente calibrado.

El ensayo de penetración se basa en la aplicación de una presión a una velocidad normalizada creciente efectuada mediante la prensa a la que va acopiada un pistón de sección anular sobre la muestra de suelo compactado con la humedad óptima.

Luego de realizar el ensayo de penetración se procede a sacar humedades de cada molde del fondo, superficie y 2" de superficie para determinar sus densidades.

A continuación se gráfica el proceso del ensayo de CBR.

Figura 22. Proceso de inmersión y penetración del ensayo de CBR



Fuente: Elaboración Propia

Tabla 11. Resultados del ensayo de CBR sin estabilizar

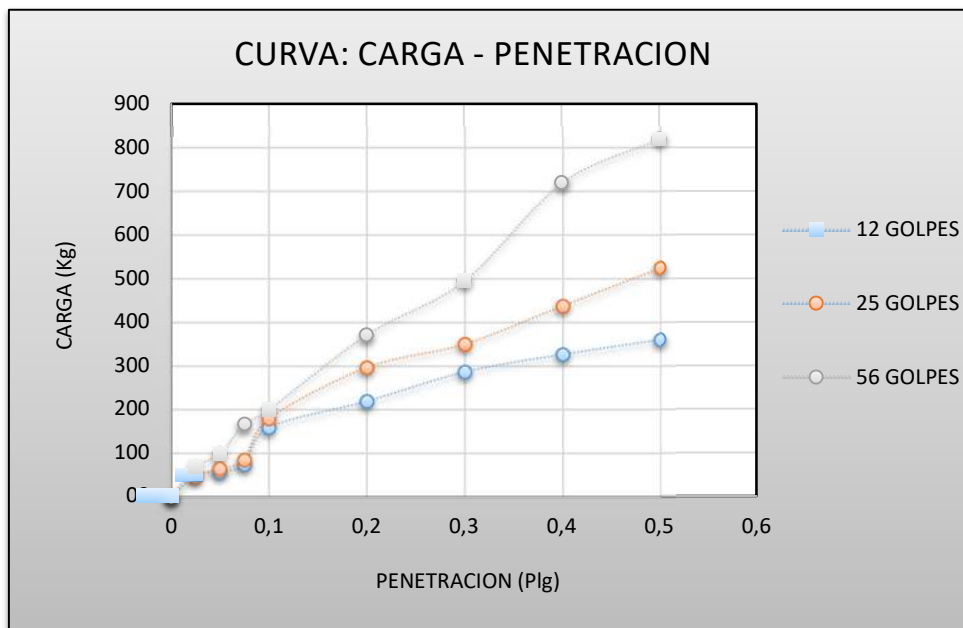
| Zona de estudio | N.º 1: Entre Ríos | N.º 2: B/ Los Chapacos | N.º 3: B/ Laureles Av. Colon |
|-------------------------|----------------------|---------------------------|------------------------------------|
| CBR 100 % de Dmax. | 14,70 | 9,36 | 6,44 |
| CBR 95 % de Dmax. | 14,35 | 8,93 | 6,13 |
| Expansión 56 Golpes (%) | 2,41 | 3,27 | 4,21 |

Fuente: Elaboración Propia

Análisis de resultados

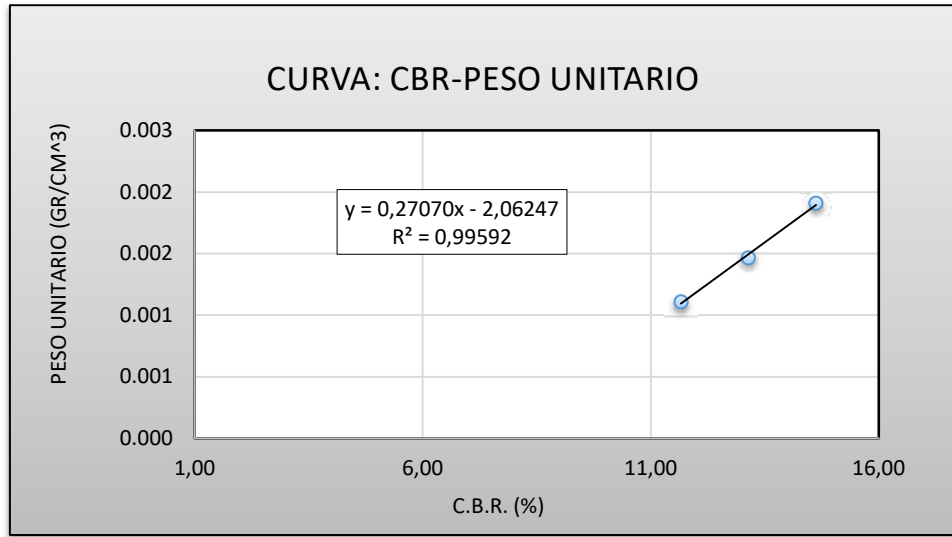
En los resultados que se puede observar en la tabla 11 de acuerdo a la Tabla 4 contamos con CBR regulares lo cual indica que los materiales poseen una baja capacidad de soporte y que los suelos arcillosos son altamente plásticos.

Gráfica 7. Curva de Carga Vs Penetración de la zona N.º 1



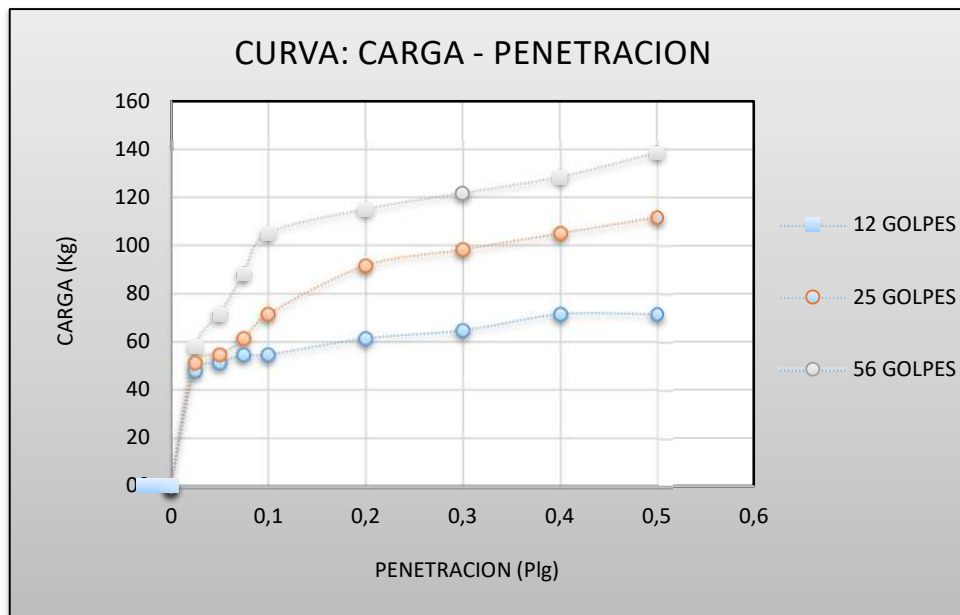
Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 8. Curva CBR-peso unitario de la zona N°1



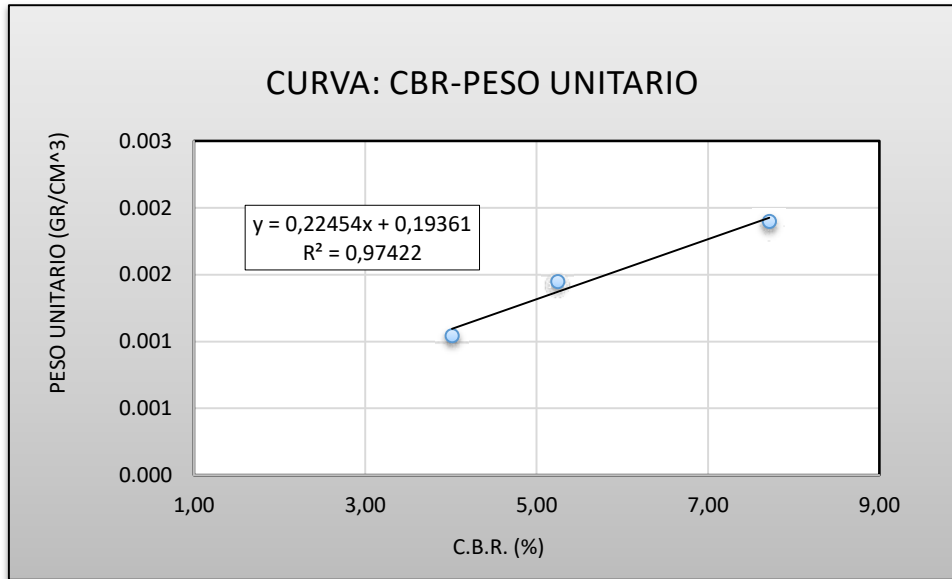
Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 9. Curva de Carga vs Penetración de la zona N°2



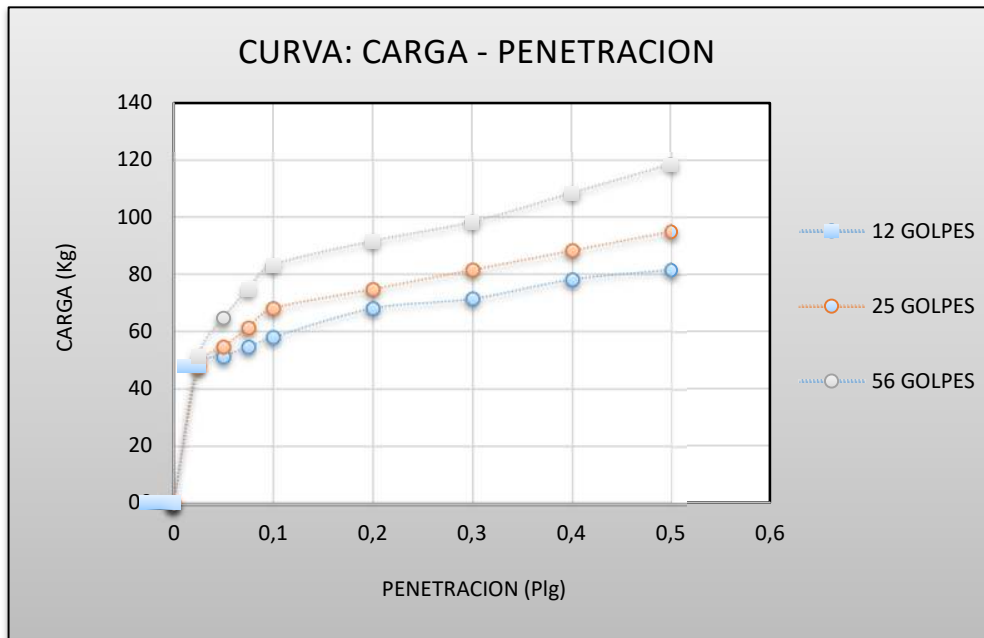
Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 10. Curva CBR-peso unitario de la zona N°2



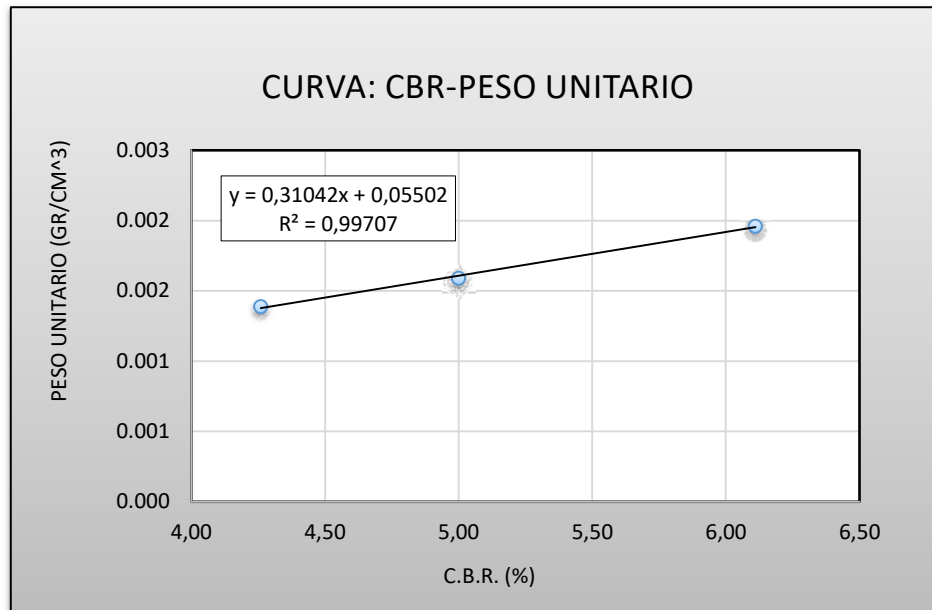
Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 11. Curva de Carga vs Penetración de la zona N°3



Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 12. Curva CBR-peso unitario de la zona N°3



Fuente: Elaboración Propia

3.4. Análisis del comportamiento del CBR con Emulsión asfáltica

3.4.1. Compactación (AASHTO T-99/ ASTM D698)

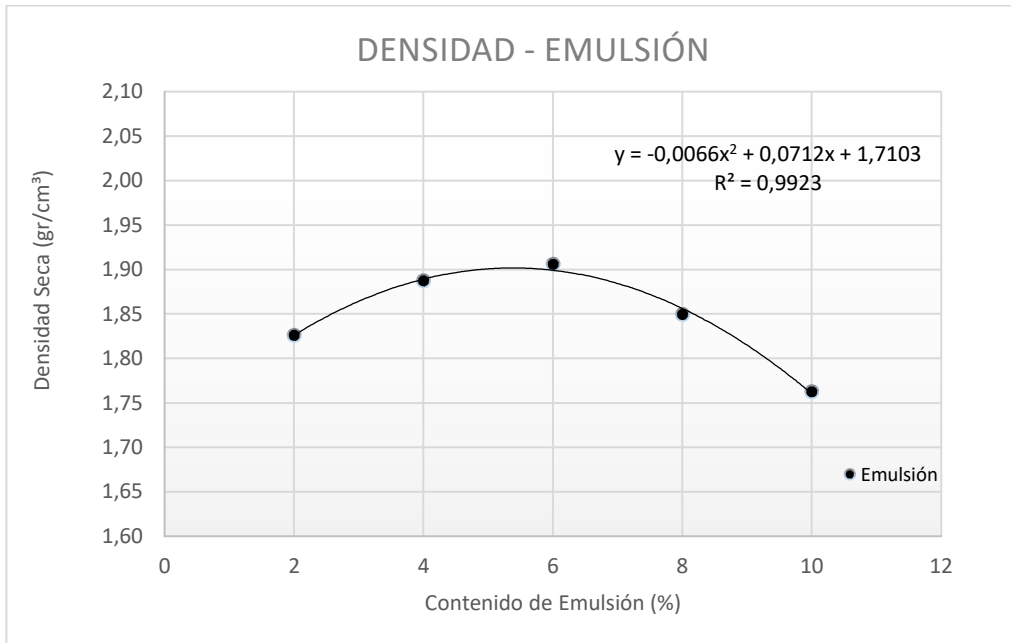
Para la obtención de la emulsión óptima para realizar la estabilización (mejorar el CBR) de los suelos finos se realizó la compactación AASTHTO T-99/ ASTM D698 reemplazando el agua por emulsión asfáltica, a distintos porcentajes con ambas emulsiones asfálticas.

Figura 23. Obtención del % de emulsión óptima mediante compactación



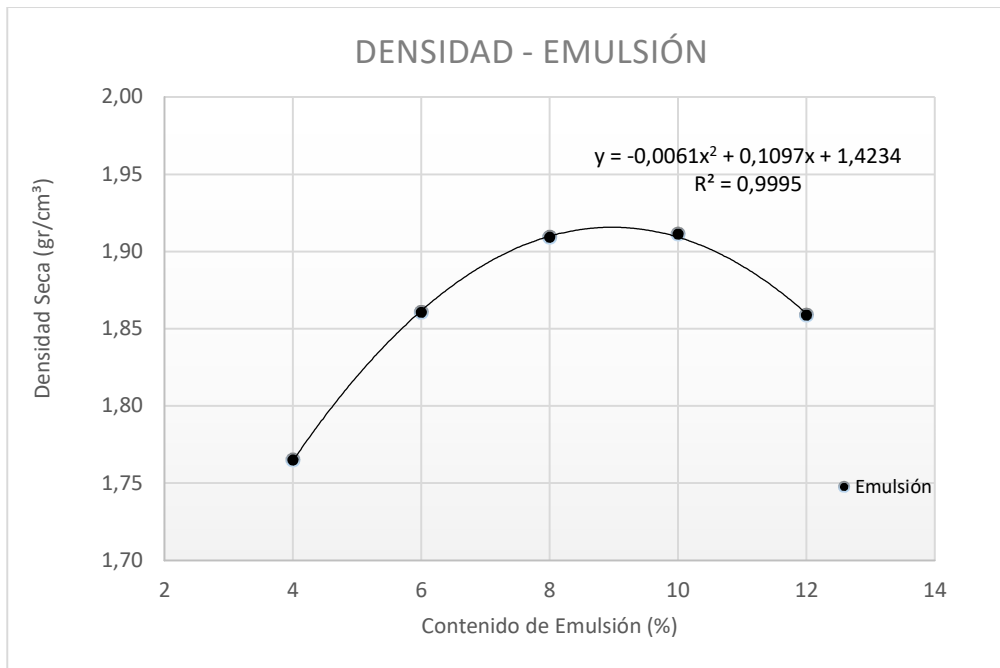
Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 13. Curva Densidad-Emulsión CSS1 de la zona N°1



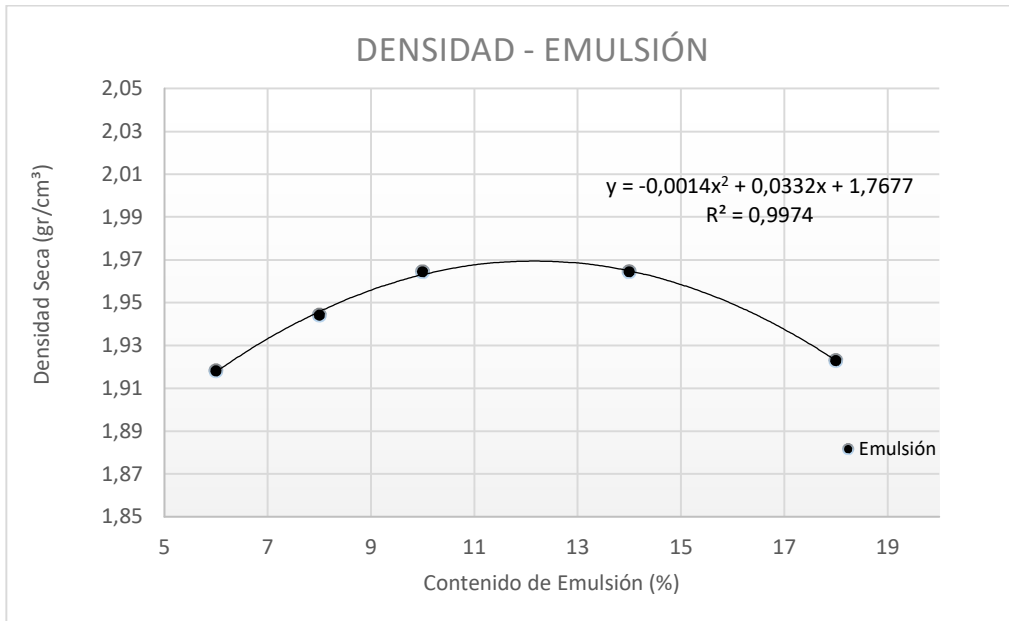
Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 14. Curva Densidad-Emulsión CSS1 de la zona N°2



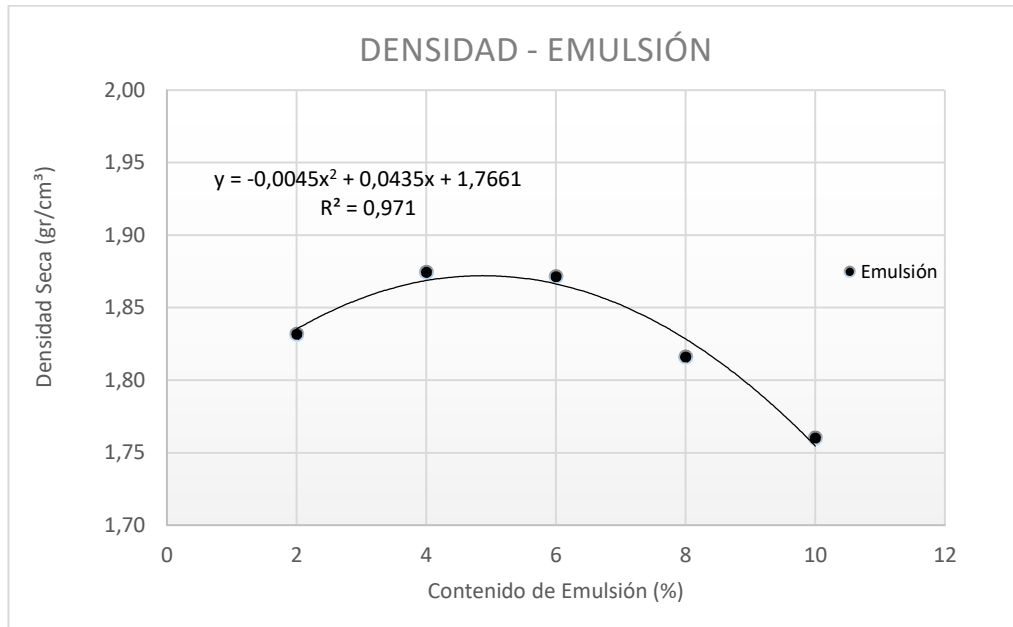
Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 15. Curva Densidad-Emulsión CSS1 de la zona N°3



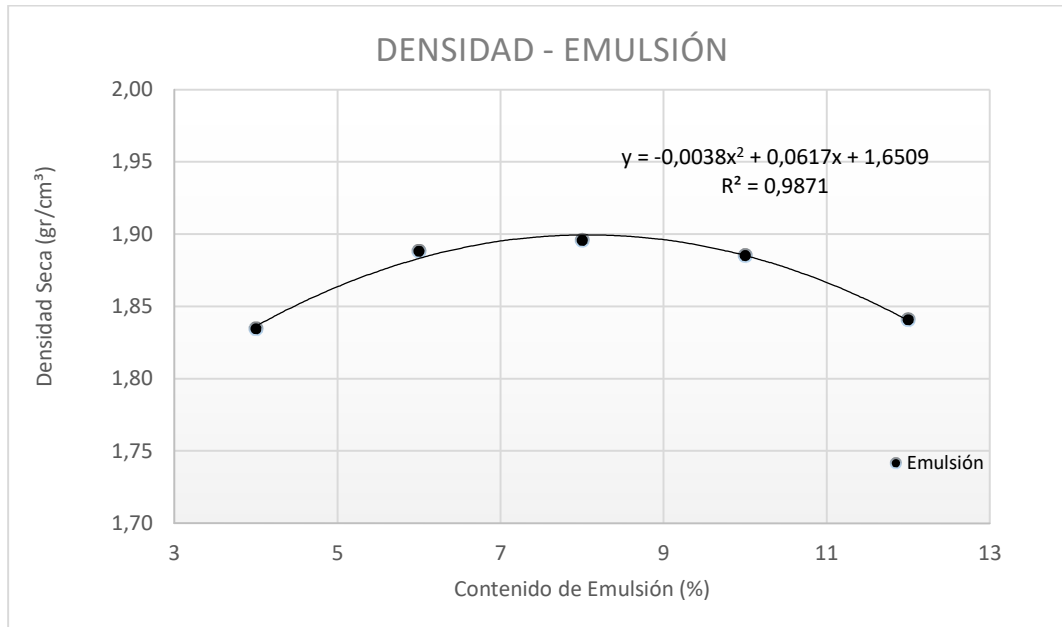
Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 16. Curva Densidad-Emulsión Imprimax de la zona N°1



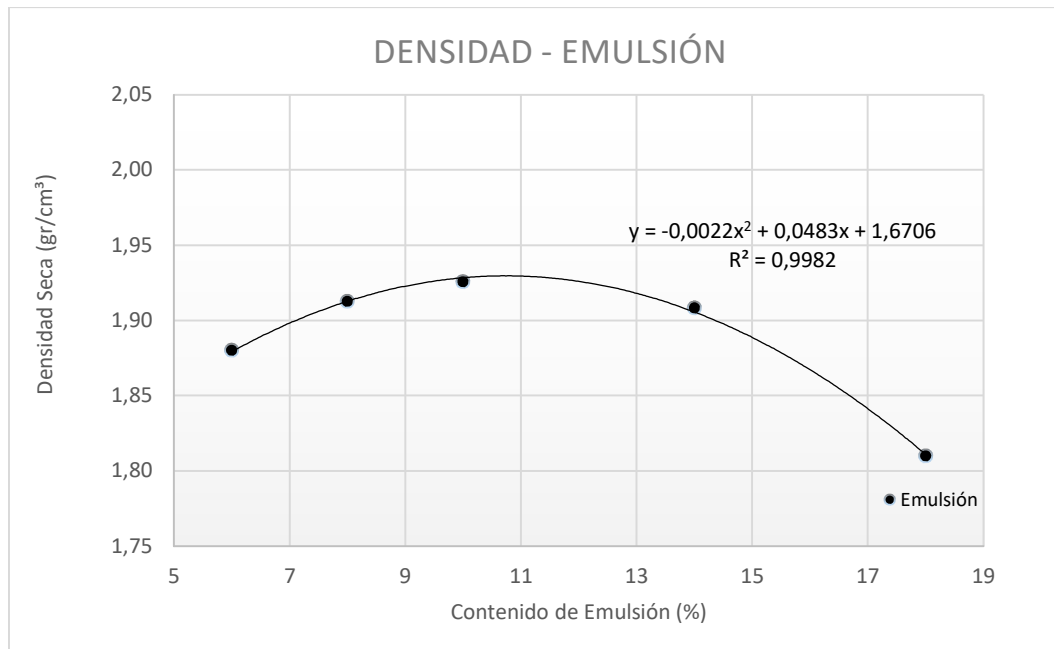
Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 17. Curva Densidad-Emulsión Imprimax de la zona N°2



Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 18. Curva Densidad-Emulsión Imprimax de la zona N°3



Fuente: Elaboración Propia

Tabla 12. Resultados del ensayo de Compactación con emulsiones asfálticas

| Zona de estudio | N.º 1: Entre Ríos | N.º 2: B/ Los Chapacos | N.º 3: B/ Laureles Av. Colón |
|--------------------------|----------------------|---------------------------|------------------------------------|
| Emulsión Óptima CSS-1. % | 5,39 | 8,99 | 11,86 |
| Densidad MAX. % | 1,91 | 1,92 | 1,97 |
| Emulsión Imprimax % | 4,83 | 8,12 | 10,98 |
| Densidad MAX. % | 1,88 | 1,90 | 1,94 |

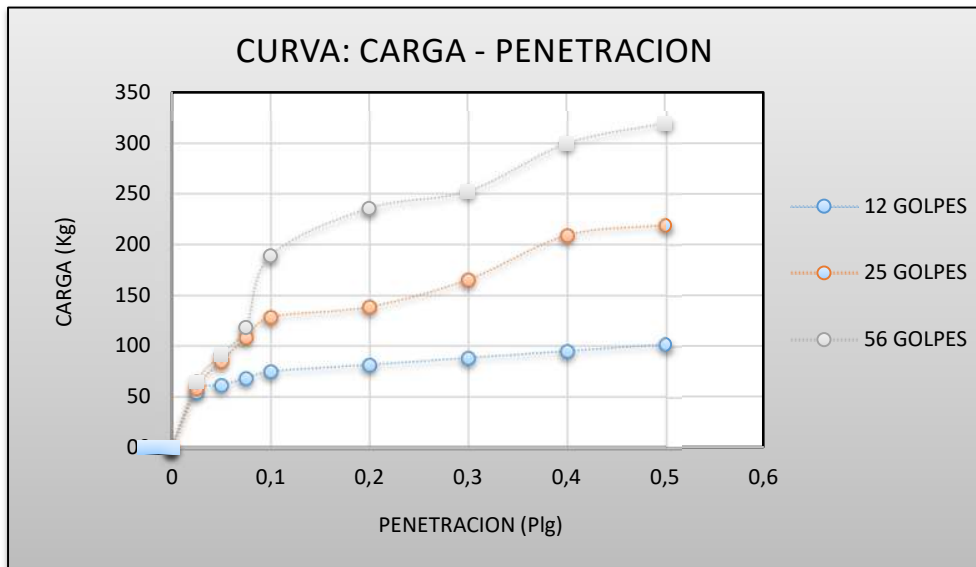
Fuente: Elaboración Propia

Análisis de resultados

Concluyendo los ensayos de compactación según se observa en la tabla 12 obtuvimos los % óptimos de ambas emulsiones para cada tipo de suelo los mismos que se emplearan para estabilizar y/o mejorar los CBR subrasantes de suelos finos en estudio.

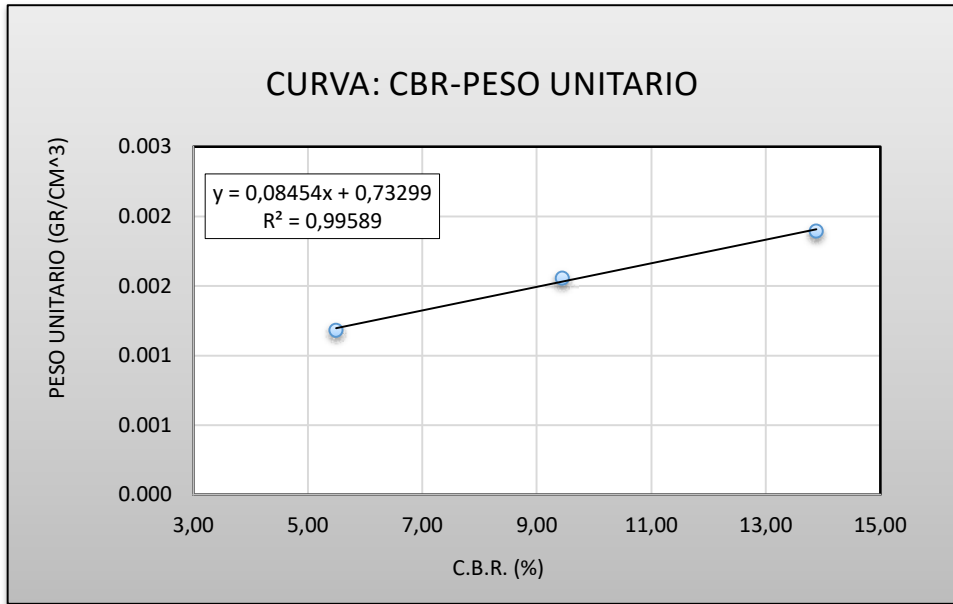
3.4.2. Análisis del comportamiento del CBR con aplicación de % de emulsión óptimo

Gráfica 19. Curva de Carga Vs Penetración de la zona N.º1



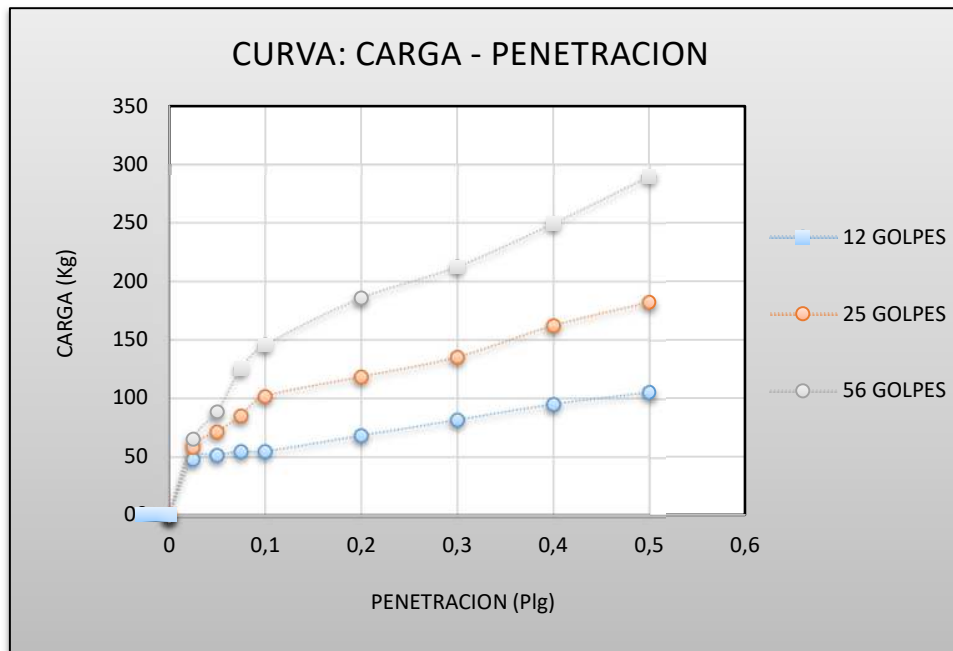
Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 20. Curva CBR-peso unitario de la zona N°1



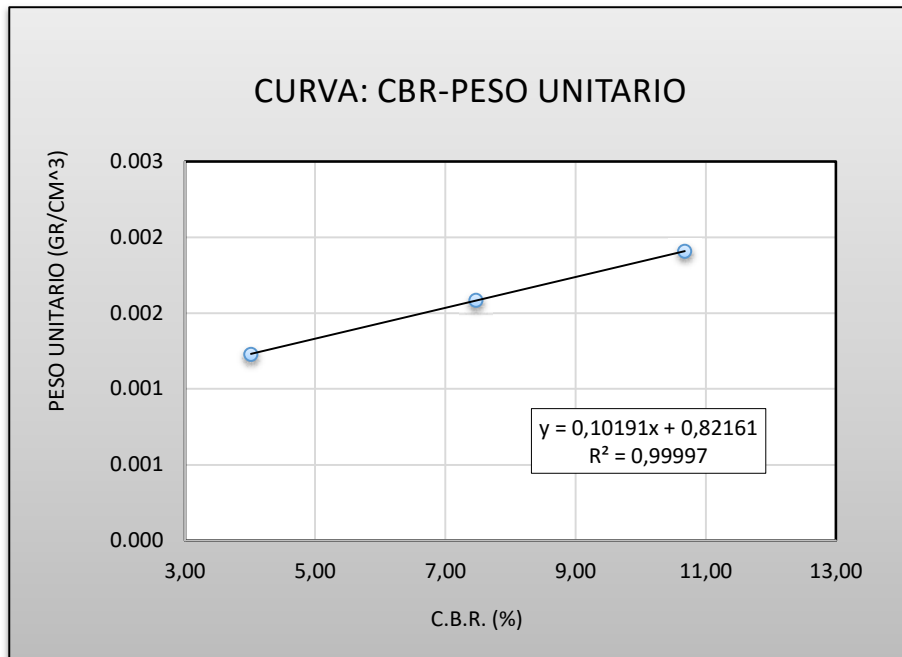
Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 21. Curva de Carga Vs Penetración de la zona N°2



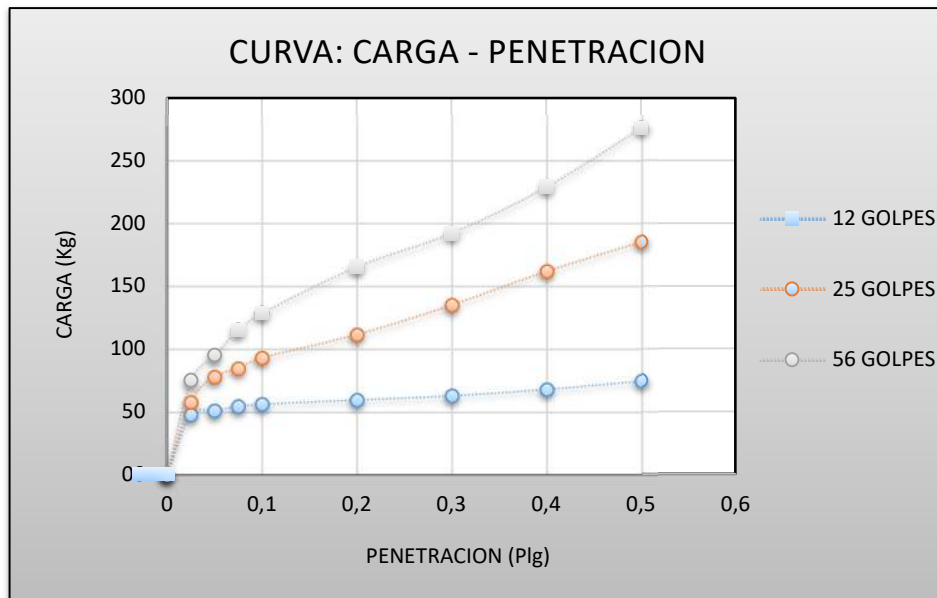
Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 22. Curva CBR-peso unitario de la zona N°2



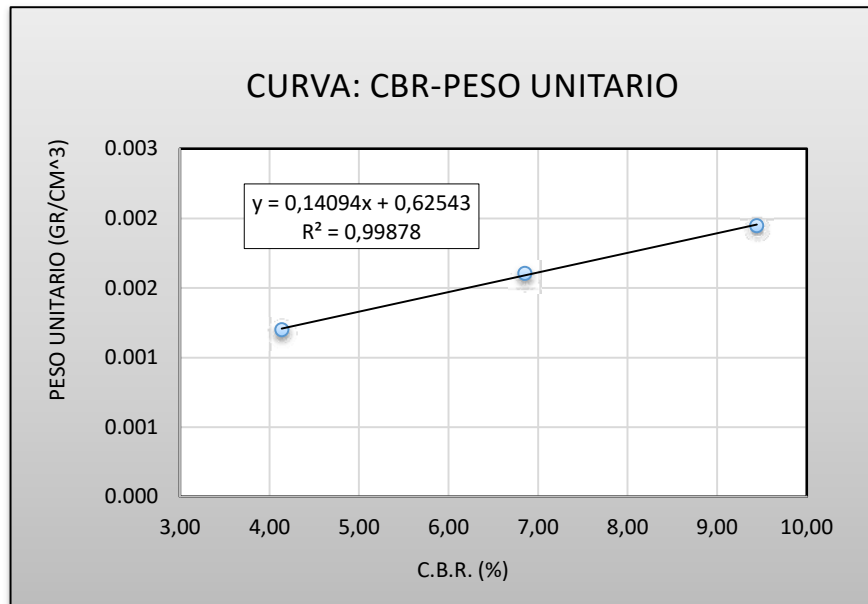
Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 23. Curva de Carga Vs Penetración de la zona N°3



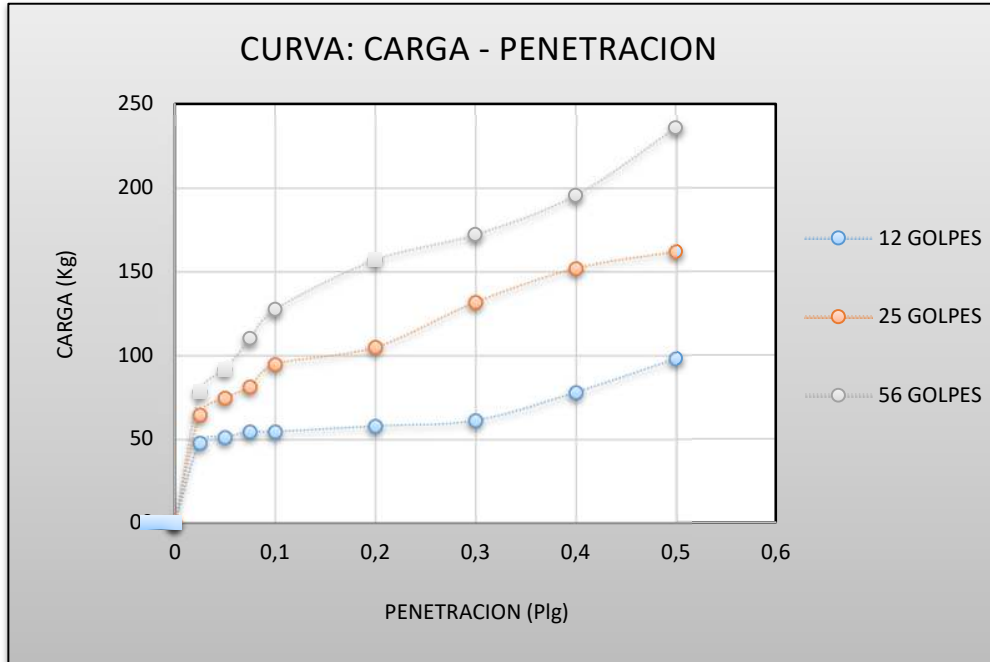
Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 24. Curva CBR-peso unitario de la zona N°3



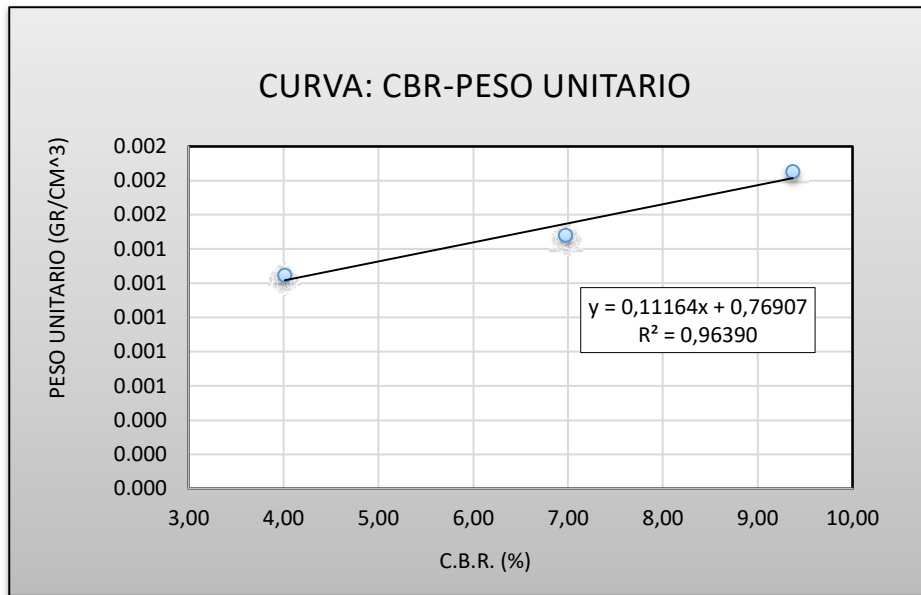
Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 25. Curva de Carga Vs Penetración (IMPRIMAX) de la zona N°1



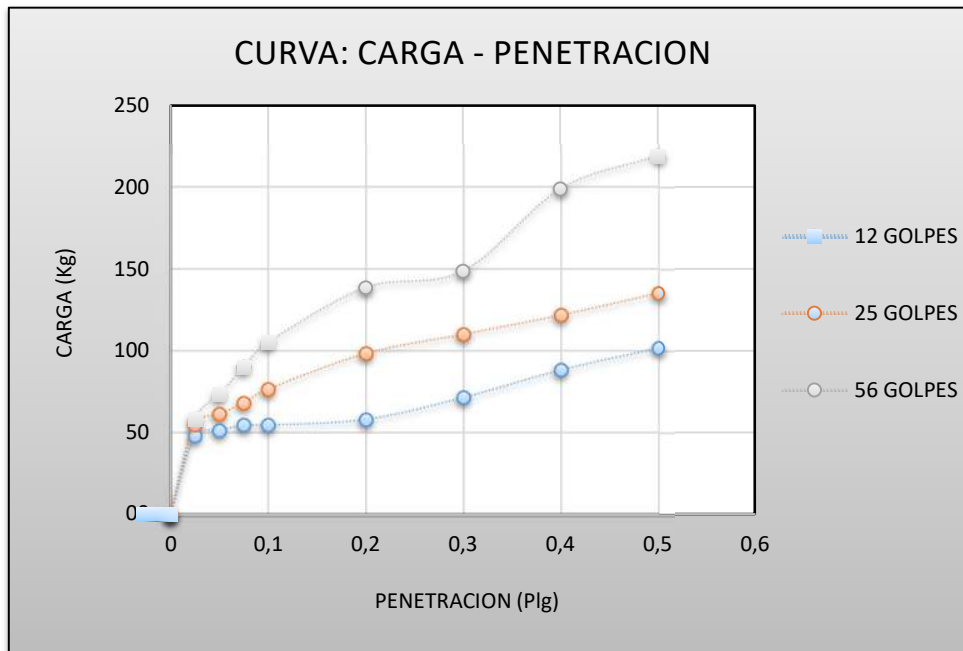
Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 26. Curva CBR-peso unitario de la zona N°1



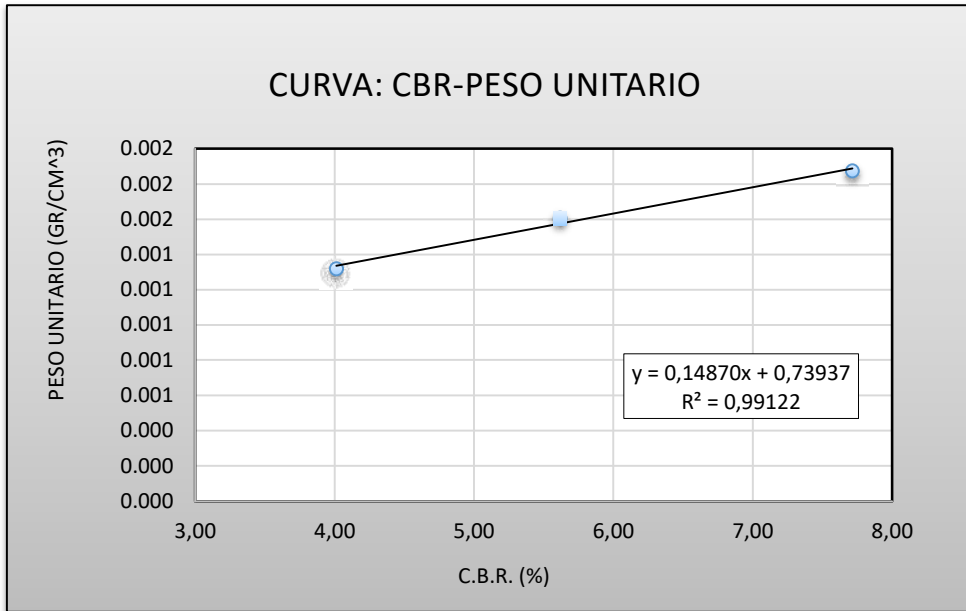
Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 27. Curva de Carga Vs Penetración (IMPRIMAX) de la zona N°2



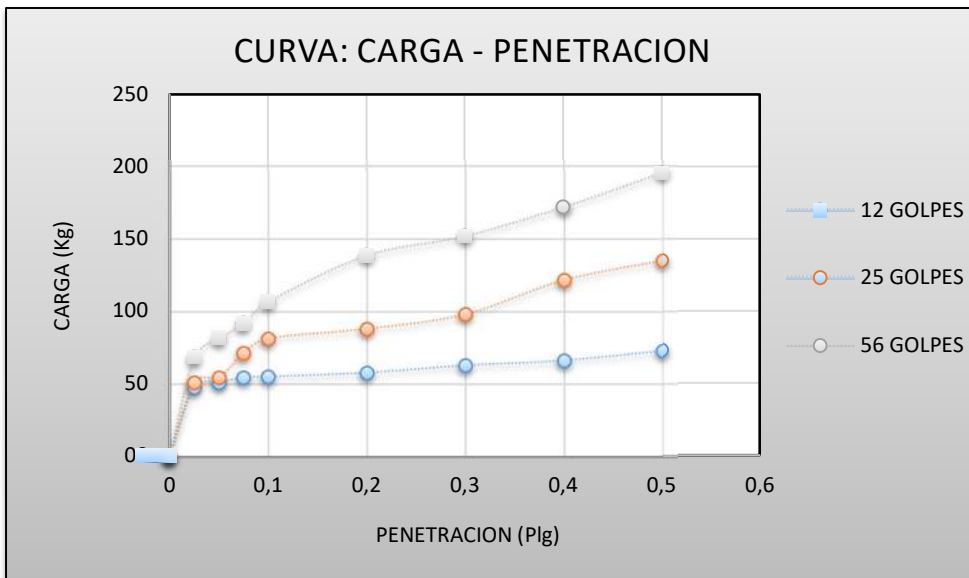
Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 28. Curva CBR-peso unitario de la zona N°2



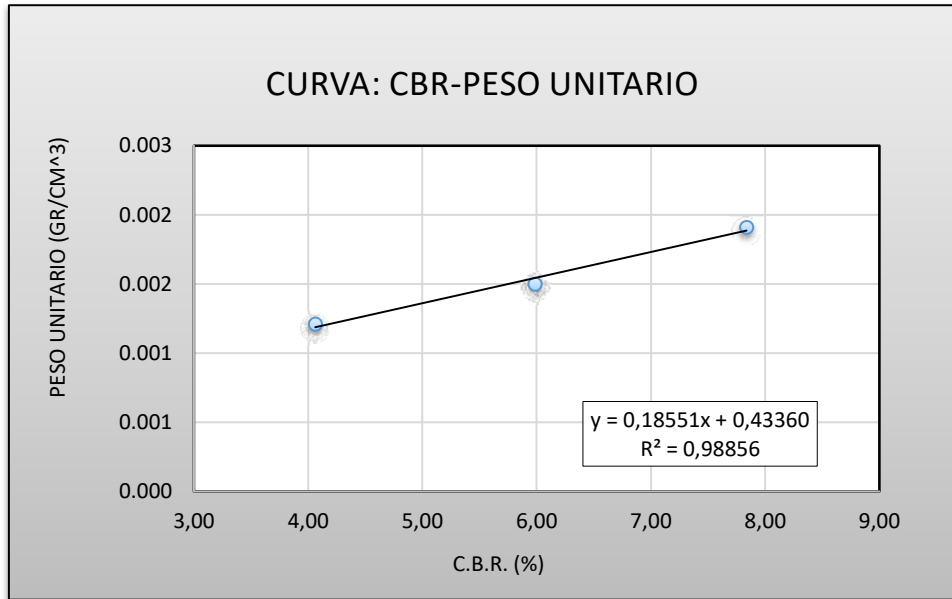
Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 29. Curva de Carga Vs Penetración (IMPRIMAX) de la zona N°3



Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 30. Curva CBR-peso unitario de la zona N°3



Fuente: Elaboración Propia

Tabla 13. Resultados de CBR-Emulsión Asfáltica

| Suelo | CBR | | | | | |
|------------|-------------------|------------------|-------------------|------------------|-----------------------|------------------|
| | Suelo natural | | Con emulsión CSS1 | | Con emulsión IMPRIMAX | |
| | 100% de Dmáx. (%) | 95% de Dmáx. (%) | 100% de Dmáx. (%) | 95% de Dmáx. (%) | 100% de Dmáx. (%) | 95% de Dmáx. (%) |
| 1 | 14,70 | 14,33 | 31,30 | 30,17 | 23,74 | 22,89 |
| | | | 33,03 | 31,93 | 24,38 | 23,51 |
| | | | 34,62 | 33,50 | 25,12 | 24,24 |
| | | | 31,83 | 30,72 | 26,69 | 25,74 |
| | | | 32,46 | 31,37 | 25,23 | 24,35 |
| Promedio = | | | 32,65 | 31,54 | 25,03 | 24,15 |
| 2 | 9,36 | 8,93 | 26,93 | 25,99 | 17,73 | 17,10 |
| | | | 27,73 | 26,81 | 19,15 | 18,45 |
| | | | 25,78 | 24,88 | 18,78 | 18,07 |
| | | | 24,32 | 23,45 | 19,61 | 18,89 |
| | | | 25,28 | 24,40 | 17,52 | 16,87 |
| Promedio = | | | 26,01 | 25,11 | 18,56 | 17,88 |
| 3 | 6,44 | 6,13 | 18,41 | 17,72 | 12,78 | 12,26 |
| | | | 16,89 | 16,23 | 13,60 | 13,05 |
| | | | 19,07 | 18,36 | 12,82 | 12,31 |
| | | | 17,99 | 17,31 | 13,75 | 13,20 |
| | | | 18,27 | 17,61 | 11,29 | 10,83 |
| Promedio = | | | 18,13 | 17,45 | 12,85 | 12,33 |

Fuente: Elaboración Propia

Análisis de resultados

Según los trabajos realizados suelo-emulsión en las 3 zonas de estudios se puede denotar claramente en la tabla 13 un aumento Dmax. Del CBR con ambas emulsiones, sobre todo en la zona 1 de estudio ya que este tipo de suelo es limoso con pequeños porcentajes de suelo granular causando una mejor adherencia de la emulsión, en la zona 2 y zona 3 son suelos de tipo arcilloso notándose una mejora no tan significativa como en la zona 1.

Determinados los resultados de los tres tipos de suelos en estudio con las emulsiones aplicadas en los mismos se denota que los suelos cumplen con las especificaciones de una subrasante mejorada y apta para soportar las cargas de transitabilidad.

3.5. Análisis estadístico de los valores de CBR

- Prueba de hipótesis t para la zona 1

Con la emulsión CSS1

CBR zona 1 natural

Media = 14.70 %

CBR zona 1 con emulsión CSS1

Media = 32.65%

$$H_0 = \bar{X}_n > \bar{X}_e$$

$$H_i = \bar{X}_n \leq \bar{X}_e$$

Grado de libertad

$$g = (n-1)$$

$$g = 4$$

Nivel de significancia

$$\alpha = 0.05 \quad (5\%)$$

$$NC = 95\%$$

Valor crítico

$$t_{(1-\alpha)*(n-1)} \rightarrow \text{Unilateral a la derecha}$$

$$t = 2.13$$

t de prueba

$$Sd = \sqrt{\frac{\sum(X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \rightarrow \text{Desviación estándar}$$

$$Sd = 1.28$$

$$t = \frac{\bar{X}_e - \bar{X}_n}{\frac{Sd}{\sqrt{n}}}$$

$$t = 31.36$$

Se rechaza la hipótesis nula y se verifica que en la zona 1 aumenta su resistencia con la emulsión.

Con la emulsión IMPRIMAX

**CBR zona 1 natural
IMPRIMAX**

CBR zona 1 con emulsión

Media = 14.70 %

Media = 25.03%

$$H_0 = \bar{X}_n > \bar{X}_e$$

$$H_1 = \bar{X}_n \leq \bar{X}_e$$

Grado de libertad

$$g = (n-1)$$

$$g = 4$$

Nivel de significancia

$$\alpha = 0.05 \quad (5\%)$$

$$NC = 95\%$$

Valor crítico

$$t_{(1-\alpha)*(n-1)} \rightarrow \text{Unilateral a la derecha}$$

$$t = 2.13$$

t de prueba

$$Sd = \sqrt{\frac{\sum(X_1 - \bar{X})^2}{n-1}} \rightarrow \text{Desviación estándar}$$

$$Sd = 1.10$$

$$t = \frac{\overline{X_e} - \overline{X_n}}{\frac{Sd}{\sqrt{n}}}$$

$$t = 20.99$$

Se rechaza la hipótesis nula y se verifica que en la zona 1 aumenta su resistencia con la emulsión.

- **Prueba de hipótesis t para la zona 2**

Con la emulsión CSS1

CBR zona 2 natural

CBR zona 2 con emulsión CSS1

Media = 9.36 %

Media = 26.01%

$$H_0 = \overline{X_n} > \overline{X_e}$$

$$H_i = \overline{X_n} \leq \overline{X_e}$$

Grado de libertad

$$g = (n-1)$$

$$g = 4$$

Nivel de significancia

$$\alpha = 0.05 \quad (5\%)$$

$$NC = 95\%$$

Valor crítico

$$t_{(1-\alpha)*(n-1)} \rightarrow \text{Unilateral a la derecha}$$

$$t = 2.13$$

t de prueba

$$Sd = \sqrt{\frac{\sum(X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \rightarrow \text{Desviación estándar}$$

$$Sd = 1.34$$

$$t = \frac{\overline{X_e} - \overline{X_n}}{\frac{Sd}{\sqrt{n}}}$$

$$t = 27.45$$

Se rechaza la hipótesis nula y se verifica que en la zona 1 aumenta su resistencia con la emulsión.

Con la emulsión IMPRIMAX

**CBR zona 2 natural
IMPRIMAX**

Media = 9.36 %

CBR zona 2 con emulsión

Media = 18.56%

$$H_0 = \overline{X_n} > \overline{X_e}$$

$$H_i = \overline{X_n} \leq \overline{X_e}$$

Grado de libertad

$$g = (n-1)$$

$$g = 4$$

Nivel de significancia

$$\alpha = 0.05 \quad (5\%)$$

$$NC = 95\%$$

Valor crítico

$$t_{(1-\alpha)*(n-1)} \rightarrow \text{Unilateral a la derecha}$$

$$t = 2.13$$

t de prueba

$$Sd = \sqrt{\frac{\sum(X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \rightarrow \text{Desviación estándar}$$

Sd = 0.90

$$t = \frac{\overline{X_e} - \overline{X_n}}{\frac{Sd}{\sqrt{n}}}$$

$$t = 22.36$$

Se rechaza la hipótesis nula y se verifica que en la zona 2 aumenta su resistencia con la emulsión.

- Prueba de hipótesis t para la zona 3

Con la emulsión CSS1

**CBR zona 3 natural
CSS1**

CBR zona 3 con emulsión

Media = 6.44 %

Media = 18.13%

$$H_0 = \overline{X_n} > \overline{X_e}$$

$$H_i = \overline{X_n} \leq \overline{X_e}$$

Grado de libertad

$$g = (n-1)$$

$$g = 4$$

Nivel de significancia

$$\alpha = 0.05 \quad (5\%)$$

$$NC = 95\%$$

Valor crítico

$$t_{(1-\alpha)*(n-1)} \rightarrow \text{Unilateral a la derecha}$$

$$t = 2.13$$

t de prueba

$$Sd = \sqrt{\frac{\sum(X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \rightarrow \text{Desviación estándar}$$

$$Sd = 0.80$$

$$t = \frac{\bar{X}_e - \bar{X}_n}{\frac{Sd}{\sqrt{n}}}$$

$$t = 32.17$$

Se rechaza la hipótesis nula y se verifica que en la zona 3 aumenta su resistencia con la emulsión.

Con la emulsión IMPRIMAX

**CBR zona 3 natural
IMPRIMAX**

Media = 6.44 %

CBR zona 3 con emulsión

Media = 12.85%

$$H_0 = \bar{X}_n > \bar{X}_e$$

$$H_i = \bar{X}_n \leq \bar{X}_e$$

Grado de libertad

$$g = (n-1)$$

$$g = 4$$

Nivel de significancia

$$\alpha = 0.05 \quad (5\%)$$

$$NC = 95\%$$

Valor crítico

$$t_{(1-\alpha)*(n-1)} \rightarrow \text{Unilateral a la derecha}$$

$$t = 2.13$$

t de prueba

$$Sd = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \rightarrow \text{Desviación estándar}$$

$$Sd = 0.98$$

$$t = \frac{\bar{X}_e - \bar{X}_n}{\frac{Sd}{\sqrt{n}}}$$

$$t = 14.22$$

Se rechaza la hipótesis nula y se verifica que en la zona 3 aumenta su resistencia con la emulsión.

3.6. Análisis de precios unitarios

El estudio de costos contempla básicamente la elaboración de precios referenciales basados en una investigación previa, los cuales corresponden a esta nueva alternativa de estabilización con métodos de construcción optimizados y adecuados a la maquinaria necesaria para la aplicación de esta nueva alternativa.

3.6.1. Costos directos

Materiales de construcción.

Se considera en la estabilización el rendimiento de uno de las subrasantes extraídas en las 3 zonas mencionadas al principio de este capítulo, y el contenido óptimo de sus emulsiones asfálticas obtenidos tanto CSS-1 como IMPRIMAX

Ahora en la estabilización el precio de la emulsión se obtiene de la cotización facilitada por la empresa QUIMITEC ASFALTOS de la ciudad de Santa Cruz ya que de ahí se usó para la estabilización en laboratorio, pero esto al por Mayor con el fin de abaratar los costos.

Mano de obra.

Comprende el haber básico del trabajador, el pago de beneficios sociales, el pago de impuestos y el costo horario de la mano de obra.

Los haberes o salarios mensuales se consideraron de acuerdo a los establecidos por la CADECO, pero su variación está sujeta a la ley de la libre oferta y demanda. Asimismo, en el detalle de los precios unitarios no se considera al operador del equipo más un ayudante o peón dentro de los costos horarios de operación de la maquinaria, por lo que estos son considerados recién en los gastos de la mano de obra dentro del análisis.

Maquinaria y equipo.

Contempla, la productividad, costos de propiedad, vida útil, amortización e intereses, costos de operación, reparación y repuestos, en fin, esto se resume en lo que son los costos horarios de operación los que, afectados por el rendimiento de la maquinaria, nos dará el costo unitario de la maquinaria.

3.6.2. Costos indirectos

Por una parte, están los gastos generales, que pueden estimarse en función de los costos unitarios y como el 15% de costo directo.

Ahora como en toda obra se debe obtener utilidades las cuales también se pueden estimar a partir de los costos directos y no pueden ser mayores al 10% de éstos, y en muchas veces es menor que el 10%.

Tabla 14. Resultados Análisis de precios unitarios con CSS-1

| ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS | | | | | | |
|---|---|--|-----------------|-----------------------------|--------------------------|---------------|
| | Proyecto: | Estabilización de capas subrasantes finas con emulsiones asfálticas. | | | | |
| | Actividad: | Estabilización de subrasante con emulsión CSS1 | | | | |
| | Unidad: | m³ (altura 0,15 m) | | | | |
| | Cantidad: | 1.00 | | | | |
| A | MATERIALES | Unidad | Cantidad | Precio Unitario (Bs) | Precio Total (Bs) | |
| | 1 | Emulsión asfáltica CSS1 (5,39%) | kg | 10.11 | 5.78 | 58.38 |
| > | D | TOTAL MATERIALES | | | (A) | 58.38 |
| B | MANO DE OBRA | | | | | |
| | 1 | Capataz | hr | 0.014 | 21.25 | 0.29 |
| | 2 | Ayudante | hr | 0.035 | 13.75 | 0.47 |
| | 3 | Chofer volqueta | hr | 0.041 | 16.25 | 0.67 |
| | 4 | Ayudante de maquinaria y equipo | hr | 0.035 | 13.75 | 0.48 |
| | 5 | Operador de equipo pesado 1 | hr | 0.038 | 26.25 | 1.00 |
| | 6 | Operador de equipo pesado 2 | hr | 0.038 | 26.25 | 1.00 |
| | 7 | Operador de equipo pesado 3 | hr | 0.038 | 26.25 | 1.00 |
| | 8 | Operador de equipo pesado 4 | hr | 0.041 | 26.25 | 1.08 |
| > | E | SUBTOTAL MANO DE OBRA | | | (B) | 5.99 |
| | F | Cargas sociales | 57.00% | | (E)= | 3.41 |
| | K | Impuestos al valor agregado (IVA) | 14.94% | | (E+F)= | 1.41 |
| > | G | TOTAL MANO DE OBRA | | | (E+F+K)= | 10.81 |
| C | EQUIPO MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS | | | | | |
| | 1 | Cisterna de agua | hr | 0.093 | 230.00 | 21.39 |
| | 2 | Retroexcavadora | hr | 0.048 | 250.00 | 12.00 |
| | 3 | Motoniveladora | hr | 0.075 | 350.00 | 26.25 |
| | 4 | Compactador rodillo pata de cabra y liso autopropulsado | hr | 0.087 | 420.00 | 36.54 |
| | 5 | Volqueta 12 m³ | hr | 0.042 | 230.00 | 9.66 |
| | H | HERRAMIENTAS MENORES | | 5.00% | (G) | 0.54 |
| > | I | TOTAL HERRAMIENTAS Y EQUIPOS | | | (C+H) | 106.38 |
| > | J | SUB TOTAL | | | (D+G+I) | 175.57 |
| > | L | GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS | | 12.00% | (J) | 21.07 |
| > | M | PARCIAL | | | (J+L) | 196.64 |
| > | N | UTILIDAD | | 10.00% | (M) | 19.66 |
| > | O | PARCIAL PRECIO UNITARIO | | | (M+N) | 216.31 |
| > | P | IMPUESTOS (I.T.) | | 3.09% | (O) | 6.68 |
| > | Q | TOTAL PRECIO UNITARIO | | | (O+P) | 222.99 |
| > | | PRECIO ADOPTADO | | | | 222.99 |
| Son: Doscientos veintidos con 99/100 Bolivianos | | | | | | |

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 15. Resultados Análisis de precios unitarios con IMPRIMAX

| ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS | | | | | | |
|-------------------------------|-------------------|--|---------------|-----------------|-----------------------------|--------------------------|
| | Proyecto: | Estabilización de capas subrasantes finas con emulsiones asfálticas. | | | | |
| | Actividad: | Estabilización de subrasante con emulsión IMPRIMAX | | | | |
| | Unidad: | m³ (altura 0,15 m) | | | | |
| | Cantidad: | 1.00 | | | | |
| A | | MATERIALES | Unidad | Cantidad | Precio Unitario (Bs) | Precio Total (Bs) |
| | 1 | Emulsión asfáltica IMPRIMAX (4,83%) | kg | 8.69 | 5.57 | 48.41 |
| > | D | TOTAL MATERIALES | | | (A) | 48.41 |
| B | | MANO DE OBRA | | | | |
| | 1 | Capataz | hr | 0.014 | 21.25 | 0.29 |
| | 2 | Ayudante | hr | 0.035 | 13.75 | 0.47 |
| | 3 | Chofer volqueta | hr | 0.041 | 16.25 | 0.67 |
| | 4 | Ayudante de maquinaria y equipo | hr | 0.035 | 13.75 | 0.48 |
| | 5 | Operador de equipo pesado 1 | hr | 0.038 | 26.25 | 1.00 |
| | 6 | Operador de equipo pesado 2 | hr | 0.038 | 26.25 | 1.00 |
| | 7 | Operador de equipo pesado 3 | hr | 0.038 | 26.25 | 1.00 |
| | 8 | Operador de equipo pesado 4 | hr | 0.041 | 26.25 | 1.08 |
| > | E | SUBTOTAL MANO DE OBRA | | | (B) | 5.99 |
| | F | Cargas sociales | 57.00% | | (E)= | 3.41 |
| | K | Impuestos al valor agregado (IVA) | 14.94% | | (E+F)= | 1.41 |
| > | G | TOTAL MANO DE OBRA | | | (E+F+K)= | 10.81 |
| C | | EQUIPO MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS | | | | |
| | 1 | Cisterna de agua | hr | 0.093 | 230.00 | 21.39 |
| | 2 | Retroexcavadora | hr | 0.048 | 250.00 | 12.00 |
| | 3 | Motoniveladora | hr | 0.075 | 350.00 | 26.25 |
| | 4 | Compactador rodillo pata de cabra y liso autopropulsado | hr | 0.087 | 420.00 | 36.54 |
| | 5 | Volqueta 12 m³ | hr | 0.042 | 230.00 | 9.66 |
| | H | HERRAMIENTAS MENORES | | 5.00% | (G) | 0.54 |
| > | I | TOTAL HERRAMIENTAS Y EQUIPOS | | | (C+H) | 106.38 |
| > | J | SUB TOTAL | | | (D+G+I) | 165.60 |
| > | L | GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS | | 12.00% | (J) | 19.87 |
| > | M | PARCIAL | | | (J+L) | 185.47 |
| > | N | UTILIDAD | | 10.00% | (M) | 18.55 |
| > | O | PARCIAL PRECIO UNITARIO | | | (M+N) | 204.02 |
| > | P | IMPUESTOS (I.T.) | | 3.09% | (O) | 6.30 |
| > | Q | TOTAL PRECIO UNITARIO | | | (O+P) | 210.32 |
| > | | PRECIO ADOPTADO | | | | 210.32 |

Son: Doscientos diez con 32/100 Bolivianos

Fuente: Elaboración Propia

Análisis de resultados

De acuerdo al análisis de precios unitarios que realizamos con el contenido óptimo de ambas emulsiones asfálticas de unos de los suelos en estudio se determina que tenemos menor costo con la emulsión IMPRIMAX con un precio de 222,99 Bs. Por m³ de suelo estabilizado a diferencia de CSS-1 con un precio de 210,32 Bs. Por m³ de suelo estabilizado.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y

RECOMENDACIONES

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

A la conclusión del presente trabajo, de análisis de propiedades de materiales estabilizados con emulsiones asfálticas para acondicionar ésta como una obra vial y fundamentando los resultados obtenidos de los estudios realizados, es que se puede enunciar las conclusiones más importantes que genera este trabajo.

- Para el desarrollo del estudio dentro de las 3 zonas de las que se extrajo material, se vio la necesidad de utilizar una subrasante de tipo limoso y otras dos de tipo arcilloso, logrando así el análisis individual de sus propiedades características de cada una.
- Con el dato de la humedad óptimo se procedió a realizar los ensayos de CBR, fundamentales para nuestro estudio ya que de este valor dependerá el aporte estructural a las demás capas de una carretera y de igual manera de este dependerá si la estabilización con emulsión asfáltica para mejorar sus propiedades mecánicas mínimas.
- Se determino los porcentajes óptimos de emulsión asfáltica con la realización de la compactación T-99 modificada con diferentes % de emulsiones con lo que se logró construir graficas representativas para obtener los % óptimos para cada suelo.
- Los % de emulsión óptima según el tipo de suelo son, para un suelo A-4 ⁽⁰⁾ 5,39% de emulsión CSS-1, para un suelo A-6 ⁽⁸⁾ 8,99 % de emulsión CSS-1 y para un suelo A-7 ⁻⁶⁽¹²⁾ 11,86% de emulsión CSS-1.
- Los % de emulsión óptima con la segunda muestra son, suelo A-4 ⁽⁰⁾ 4,83% de emulsión IMPRIMAX, para un suelo A-6 ⁽⁸⁾ 8,12% de emulsión IMPRIMAX y para un suelo A-7 ⁻⁶⁽¹²⁾ 10,89% de emulsión IMPRIMAX.

- Los tres materiales cumplieron con las especificaciones mínimas demostrando que la estabilización con emulsiones asfálticas ofrece resultados favorables para el mejoramiento de las subrasantes.
- Se determinó que, con la emulsión CSS-1 se logró alcanzar mejores resultados para la realización de las mejoras de una subrasante
- Los tres materiales lograron alcanzar los objetivos de estabilización empleando ambas emulsiones como aditivo estabilizante en frío.
- De acuerdo a los trabajos realizados se llega a concluir que de las dos emulsiones empleadas tanto IMPRIMAX como CSS-1 ambos de la empresa QUIMITEC de Santa Cruz. Con la que se tuvo mejores resultados y se recomienda trabajar es con la emulsión CSS1 ya que se obtuvo mejores resultados con los tres tipos de suelos estudiados.

4.2. Recomendaciones

Las recomendaciones brindadas son con el fin de realizar una contribución para la solución del problema que representa la construcción y mantenimiento de obras viales de manera optimizada en zonas periurbanas y rurales, proporcionando los fundamentos solicitados para el caso.

De las conclusiones expuestas, nacen algunas recomendaciones que reflejan su importancia, y se resumen en las siguientes:

- Luego de realizadas las estabilizaciones, se observa que las técnicas de estabilización y de mantenimiento que se dan en suelos arcillosos no son las óptimas, esto debido a que es necesario hacer un análisis de la obra vial como todo un sistema operacional, ya que cuando se crea o se apertura una vía, no se lo evalúa su costo a largo plazo tomando en cuenta el crecimiento poblacional, sobre todo la proyección de tráfico y el costo de mantenimiento que implica, de ahí que se da esta sugerencia y de referencia para toda la comunidad involucrada en la materia.

- La estabilización de suelos con agentes químicos debe ser una técnica considerada en cualquier proyecto vial, porque contribuye a la vida útil del mismo y ofrece condiciones de tránsito inmejorables.
- Al momento de elaborar los moldes de CBR se recomienda calcular bien los días para que no exceda del límite de 4 días ya que a mayor saturación la emulsión asfáltica comienza reblandecer y a salirse por la parte inferior de los moldes pudiendo así arrojar valores erróneos durante la prueba de resistencia en la prensa.
- Se recomienda trabajar con materiales granulares ya que la emulsión como material estabilizante tiene mayor adherencia.
- Se recomienda que al extraer los moldes de CBR de las piscinas de saturación se deje escurrir de 36 a 48 horas para una buena lectura en la prensa de CBR ya que la mezcla suelo-emulsión saturados es muy blando.
- Se recomienda que para otros tipos de suelos finos se determinen nuevos % de emulsión asfáltica óptima, ya que los % que se determinó en la investigación son específicamente para los suelos en estudio.
- Recomendamos que para estabilización de suelos finos se trabaje con la emulsión CSS-1 que de acuerdo a los estudios realizados se obtienen mejores resultado comparado con la emulsión IMPRIMAX.

