

CAPÍTULO I
DISEÑO TEÓRICO

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1.- INTRODUCCIÓN

La estabilización de los suelos es un procedimiento con el cual se busca mejorar las condiciones existentes que tiene el suelo en estado natural, esto se realiza mezclando el suelo con otro suelo diferente o con algún aglomerante o aditivo, el cual se describe como un conjunto de procesos mecánicos, físicos y físico-químicos, tendientes a modificar las propiedades de los suelos que interesan para un determinado uso en ingeniería, haciendo que el material “suelo” sea adecuado para la utilización prevista reemplazando a otros materiales no disponibles o más costosos.

La estabilización de los suelos consiste en la ejecución de todas las actividades necesarias, teniendo como objeto procurar por diversos medios la estabilidad de ellos para cualquier condición de tiempo y de servicio, entendiéndose por estabilidad la permanencia en el tiempo de las características obtenidas al momento de la realización, lo cual significa entonces no sólo llegar a un estado del suelo con suficiente resistencia a la acción destructora y deformantes de las cargas, sino también asegurar la permanencia en el tiempo de ese estado. Este último aspecto del proceso tiene fundamental importancia, ya que de su existencia depende la existencia del primero.

En general existen varios procedimientos que se emplean para lograr la mejoría de los suelos, pero uno de los más frecuentes es la técnica de la estabilización por medio mecánico, por medio químico y por medio físico-químico. En este estudio se dará mayor énfasis o mayor importancia a las estabilizaciones de tipo químico el cual es una estabilización de suelo con cemento Portland.

Se define a la estabilización suelo-cemento como un material elaborado a partir de una mezcla de suelos finos y/o granulares, cemento y agua, la cual se compacta y se cura para formar un material endurecido con propiedades mecánicas específicas.

El contenido de cemento en peso suele variar dependiendo del tipo de suelo con el que se esté realizando el procedimiento o en función a la utilidad que se le quiera dar a esta técnica de mejoramiento de los suelos. El suelo-cemento puede fabricarse en planta central, o bien ejecutarse in situ.

El hombre ha usado tanto el cemento como diversos aglomerantes puzolánicos en la estabilización de suelos. En civilizaciones como la Inca o la Azteca los caminos estabilizados fueron clave para el desarrollo de diversas actividades. Ya en el siglo XX se lograron avances en la producción de conglomerantes y en el desarrollo de equipos de construcción y técnicas de ejecución. Con el tiempo, se crearon las condiciones óptimas para la realización de muchos experimentos en mezclas de suelo y cemento que mostraron las posibilidades de aprovechamiento de los suelos existentes, modificados en mayor o menor grado por la mezcla de los mismos con cemento Portland y agua y su posterior compactación.

La aplicación del suelo-cemento empezó a estudiarse metódicamente entre 1910 y 1920. En Inglaterra, en 1917, Brooke Bradley empleó con éxito una mezcla de cemento con suelos en la construcción de carreteras. Sin embargo, a pesar de los excelentes resultados, la técnica no fue usada posteriormente. En los Estados Unidos el uso del suelo cemento se incrementó a partir de la patente de Joseph Hay Amies en 1917, de una mezcla de suelo con cemento llamada Soilamies. El esfuerzo conjunto de la Portland Cement Association (PCA), el Bureau of Public Roads y el Highway Department del estado de Carolina del Sur contribuyó al desarrollo tecnológico de la estabilización de suelos con cemento, realizando diversos tramos experimentales de carreteras entre 1930 y 1940.

Después de la Segunda Guerra Mundial se inician en España y Latinoamérica las primeras experiencias con suelo-cemento aplicado en carreteras, siendo Argentina, Colombia y El Salvador ejemplos de países con más de 50 años de experiencia en la construcción de caminos de este tipo.

En la actualidad existen modernos equipos estabilizadores, recicladores de gran potencia y rendimiento, distribuidores y dosificadores de cemento que facilitan el trabajo en campo y garantizan la calidad de mezclado y colocación. Aún existen retos por superar referente al conocimiento de este material, por lo cual el trabajo de investigación continúa en diversos países.

Existen diversas razones que actualmente determinan un mayor uso del suelo-cemento en la construcción de estructuras de pavimentos. Tanto consultores como entidades encargadas de la administración vial coinciden en que la demanda de un transporte de calidad requiere una mayor durabilidad de los materiales, estructuras de pavimentos y sub-rasantes.

Debido a las múltiples ventajas que tienen los suelos tratados con cemento, diversos países lo aplican de forma casi generalizada.

Por ejemplo, en Colombia, el 95% de los caminos rurales pavimentados tiene base de suelo-cemento y en los últimos 10 años, el 100% de nuevas vías urbanas e interurbanas y pisos industriales tienen bases de suelo-cemento.

Hoy en día en diversos países del mundo se cuenta con una amplia gama de datos a base de estudios realizados dando como resultados especificaciones y manuales que sirven como guías para la realización de la estabilización suelo-cemento, es un método muy utilizado en los países desarrollados de Europa, como también en Estados Unidos y los países Sud Americanos como Argentina, Colombia y desde hace algún tiempo en el Perú los cuales realizan constantes avances e investigaciones llegando a tener una amplia experiencia conociendo las diferentes características, ya que hoy en día cuentan con un gran número de guías en las cuales se puedan basar y les sirva como una información a todos los que estén interesados sobre este tema, ya que en los países donde se utilizan este método existen organizaciones encargadas de realizar las diferentes tareas.

Desafortunadamente en nuestro país no existe mucha información ni mucha experiencia, si bien existe una escasa base de datos, no es un método que se lo utiliza, entre estas

experiencias se puede citar la realizada por el Servicio Nacional de Camino con el uso de la estabilización en vías importantes de La Paz y Oruro. Una de éstas se encuentra resumida en un trabajo presentado en el tercer seminario vial desarrollado en Cochabamba en 1996, en la cual se usó la combinación de un aditivo y suelo A-4 en combinación con un material volcánico denominado "cinerita" también conocida en la región como poke, el cual mezclado con el cemento nos da un suelo estable para bases. De la experiencia del Servicio Nacional de Caminos se obtuvo resultados más satisfactorios de lo esperado. Sin duda alguna que todos los datos obtenidos de este estudio hacen suponer que esta mezcla puede ser técnica y económicamente viable.

En nuestro medio no se cuenta con manuales, datos, experiencia sobre esta técnica de estabilización de suelo-cemento, y debido a esto es un método que no se lo utiliza aunque se cuenta con algunos documentos sobre estas técnicas sin embargo no se los llevó a la práctica.

En esta investigación se desea realizar todas las actividades o pasos necesarios para dar a conocer y ver si ésta es una técnica que se puede utilizar en nuestro medio, basándose en todas las características obtenidas de la estabilización de suelos limo arenosos con cemento, dependiendo de los resultados obtenidos en los diferentes ensayos realizados y haciendo una comparación del suelo en estado natural con la mezcla de los suelos limo arenoso con cemento, ver todas las características finales que se obtiene para sacar las conclusiones dependiendo de los resultados obtenidos.

La investigación dará toda la parte teórica indicando cómo se realiza los pasos en las distintas etapas del método en estudio en base a los cuales se realizará los distintos ensayos de laboratorio en la que se darán las conclusiones en base a los resultados obtenidos, y ver si esto es o no aplicable en el campo de la ingeniería más propiamente en carreteras, quedando como un antecedente.

Este trabajo será un aporte académico, ya que la Universidad, en especial la carrera se beneficiará con todo el trabajo realizado quedando como un apoyo a todos los compañeros

o todos los que tengan interés o alguna inquietud sobre este tema o que quieran profundizar sobre lo que se obtendrá en la investigación.

1.2. DISEÑO TEÓRICO

1.2.1. Planteamiento del problema

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

Con la evaluación de la sub-rasante natural se podrá identificar las propiedades de los suelos de mala calidad, con los cuales se realizará un mejoramiento mediante la combinación de un conglomerante (cemento) para que dicho suelo mejore su resistencia.

1.2.2. Problema

¿Cómo es posible mejorar la capacidad portante de una sub rasante natural aplicado a un tramo tipo prueba?

1.3. JUSTIFICACIÓN

Importantes razones justifican la realización del presente trabajo.

Una de las razones importantes para realizar este trabajo es porque en nuestro medio existen algunos lugares que presentan carencias de suelos, o que los suelos existentes no cumplen con las características mínimas para poder utilizarlos.

Con la realización de una estabilización sea ésta de cualquier tipo, lo que se busca es que sea aplicable a materiales que existen en el lugar de la obra, sin que se tenga que recurrir a bancos de préstamos, además se debe tener en cuenta que las canteras existentes son cada día menos y que se debe empezar a buscar alternativas ante esta situación.

La experiencia en otros países con esta técnica de estabilización suelo cemento ha tenido éxito en el orden técnico y económico, ya que con esta mezcla debidamente estudiada y dosificada el valor soporte de los suelos aumenta considerablemente.

Las ventajas ecológicas de la estabilización con cemento merecen una mención, pues cuando se aprovechan los materiales disponibles en el sitio de la obra se reducen las explotaciones y las alteraciones al paisaje haciendo mínimo el impacto ambiental un punto muy importante hoy en día para la realización de cualquier obra.

1.4. OBJETIVOS DEL PROYECTO DE APLICACIÓN

1.4.1. Objetivo general

Evaluar el mejoramiento del suelo natural estabilizada con cemento en un tramo tipo prueba aplicando dos métodos en la construcción.

1.4.2. Objetivos específicos

- Determinar las propiedades físico mecánicas del suelo natural.
- Determinar el porcentaje óptimo de cemento en su estabilización para el tipo de suelo.
- Realizar ensayos de control del tramo realizado.
- Comparar precios unitarios de los métodos aplicados.

1.5. HÍPOTESIS

Si la muestra del suelo natural es sometida a un estudio de estabilización con cemento hidráulico, entonces podré mejorar la capacidad portante y determinar el porcentaje óptimo de cemento hidráulico aplicado al tramo tipo prueba, con dos métodos mezclado In Situ y en planta.

1.6. DEFINICIÓN DE VARIABLES INDEPENDIENTE Y DEPENDIENTE

1.6.1. Variable independiente

Capa de suelo natural del tramo tipo

1.6.2. Variable dependiente

Porcentaje (%) de cemento para la óptima dosificación.

1.7. ALCANCE DEL ESTUDIO

Esta investigación pretende establecer con claridad la estabilización suelo-cemento en una subrasante natural para obtener una mezcla homogénea que contenga los % óptimos de cemento para mejorar las propiedades físico mecánicas del suelo y así mejorar su capacidad portante. Para iniciar nuestra investigación será necesario establecer el estado de conocimiento que se tiene sobre el tema, para ello realizaremos una investigación bibliográfica especializada sobre los trabajos realizados sobre el tema ya sea a nivel investigativo como en la ejecución en obra tanto en otros países como en el nuestro, de esta manera tendremos las bases sólidas para iniciar nuestra investigación de acuerdo a los objetivos planteados.

Para desarrollar la investigación es necesario un marco teórico básico que oriente la investigación, por ello los primeros capítulos estarán destinados a establecer un buen marco teórico sobre el tema.

De este modo, se puede optimizar el uso de una técnica muy ventajosa para la estabilización de las subrasantes naturales con las mezclas con suelo-cemento.

En la investigación propiamente dicha se inicia caracterizando a los materiales que intervienen, es decir los suelos naturales, en esta caracterización de los materiales básicos en sus propiedades más importantes de manera que nos sirvan para evaluar en qué estado están antes de entrar a la estabilización. Para la estabilización suelo-cemento se buscará el porcentaje óptimo de cemento para la estabilización de la subrasante natural, una vez

obtenido dicho porcentaje óptimo de cemento se realizará un tramo tipo prueba aplicando dos métodos constructivos que son el mezclado In Situ y el mezclado en planta.

Los ensayos en que se apoya el grueso de la investigación intentan ser sencillos, rápidos y suficientemente expeditivos, como para ser utilizados en laboratorios de rutina.

Finalizado el presente estudio sacaremos conclusiones y se dará algunas recomendaciones que ayuden a la utilización de Suelo-Cemento para su aplicación.

CAPÍTULO II
MARCO TEÓRICO

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. INTRODUCCIÓN

La estabilización y mejoramiento de suelos y materiales granulares es un conjunto de técnicas que buscan incrementar el desempeño mecánico y la durabilidad de los materiales, y que son usadas en múltiples actividades en la ingeniería de pavimentos.

Entre las aplicaciones que se destacan encontramos: la construcción de plataformas de trabajo, mejoramiento de sub-rasantes, mejoramiento de materiales de base, sub- base y afirmados, la utilización de material de reciclaje proveniente de la rehabilitación de vías para la conformación de capas de estructura de pavimento.

Actualmente existe una gran variedad de productos y sus respectivos procesos ofrecen tratamiento químico y/o físico a los materiales. El uso de ellos en el caso de estructuras de pavimentos, depende de factores propios de los materiales a estabilizar, del producto ofrecido, del proceso a implementar, de la función de la capa estabilizada en la estructura de pavimento y del uso que se pretende de acuerdo al tránsito.

Cuando las capas estabilizadas tienen un buen desempeño se pueden obtener beneficios tanto técnicos como económicos por reducción de tiempos en los procesos constructivos, reutilización de materiales, disminución del impacto ambiental, disminución de costos de mantenimiento y formulación de nuevas alternativas de construcción y rehabilitación de estructuras de pavimentos.

2.2. ESTABILIZACIÓN DE SUELOS

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

Aceptar el material tal como se encuentre, pero tomando en cuenta de manera real su calidad en el diseño adecuado.

Eliminar el material insatisfactorio o prescindir de utilizarlo, substituyendo por otro de características adecuadas.

Modificar las propiedades del material existente por medio de diversos métodos para hacerlo capaz de cumplir mejores requerimientos de acuerdo a la exigencias o al proyecto.

La última alternativa da lugar a las técnicas de estabilización de suelos. Se denomina Estabilización de Suelos 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 la resistencia mecánica y permanencia de tales propiedades en el tiempo de vida útil del proyecto.

En realidad son muchos los procedimientos que puedan seguirse para lograr esa mejoría de las propiedades de los suelos, con vistas a hacerlos apropiados para algún fin específico, lo que constituye la estabilización.

La siguiente lista de procedimientos no refleja en realidad toda la gama de los existentes, pero reúne a los más trabajados.

Estabilización de tipo mecánica

Estabilización de tipo química

Estabilización de tipo físico- químico

La gran variabilidad de los suelos y sus composiciones hacen que cada método resulte sólo aplicable a un número limitado de ellos; en muchas ocasiones, esa variabilidad se muestra a lo largo de algunos metros, en tanto que en otras a lo largo de algunos kilómetros, pero en cualquier caso es frecuente que para aplicar algún método económicamente hayan de involucrarse varios tipos de suelos, a veces con variaciones de alguna significación, haciendo de renunciar correspondientemente al empleo del procedimiento óptimo en cada clase.

Las propiedades de los suelos que más frecuentemente se estudian en estabilización son:

Estabilidad volumétrica

Resistencia

Permeabilidad

Compresibilidad

Durabilidad

Frecuentemente será posible utilizar tratamientos que mejoren simultáneamente varias de esas propiedades, pero también debe estarse preparado a encontrar evoluciones contradictorias en la lista, de manera que la mejora de una propiedad signifique el deterioro de una u otras. La estabilización no sólo es una medida correctiva, si no también preventiva.

2.2.1. Aplicación de las estabilizaciones

De la información dada hasta el momento destaca la solidez de la aplicación que pueden tener la estabilización de suelos en la construcción de las vías de comunicación terrestre, algunos sistemas de estabilización van imponiéndose en forma general, dejando a un lado los de estabilización mecánica que se a impuesto en varias partes, los métodos de estabilización química con cemento, cal y asfalto se llevan el primer lugar en estabilizaciones, especialmente en asuntos ligados con la tecnología de los pavimentos.

La aplicación de las estabilizaciones en carreteras se orienta al mejoramiento de las propiedades de los suelos de fundación, así como de las capas sub-bases y bases, siendo otra aplicación a los suelos de taludes pertenecientes a la formación de terraplenes evitando la degradación permanente de ellos.

2.2.1.1. Aplicación de estabilización en el campo de la Hidráulica (Hormigón compactado con rodillo)

El hormigón compactado con rodillo (HCR, o RCC en inglés) es un hormigón de consistencia seca -asiento cero- que permite ser colocado y compactado con la maquinaria usado en el movimiento de tierras. La técnica de construcción de presas por extendido y compactación de sucesivas capas de suelo cemento se inicia a principios de la década de los setenta como respuesta al problema de una más rápida y económica construcción de presas de fábrica que las hiciera más competitivas en coste con las presas de materiales sueltos.

Actualmente el hormigón Compactado con Rodillo (HCR) es una técnica que se está empleando alrededor del mundo para la construcción principalmente de pequeñas presas y la reparación de éstas. La rapidez de la puesta en obra, el relativamente bajo contenido de cemento y la utilización de aditivos minerales (cenizas volátiles, filler calizo, residuos mineros, etc.), explican el motivo por el cual este material es económicamente interesante para la industria de la construcción. En el desarrollo de esta tecnología y del diseño de las mezclas HCR han surgido dos filosofías, la filosofía de Suelos o Geotécnica y la de Concreto. En esta Investigación se ha utilizado la filosofía Geotécnica, que considera que el CCR puede ser tratado como un suelo procesado desde la fase de diseño hasta su colocación y la realización de los ensayos de campo del material, haciendo uso de equipos y procedimientos familiares a la Mecánica de Suelos.

FIGURA.2.1. Hormigón con rodillo compactado



Fuente: Manual de estabilización de suelo

2.2.1.2. Aplicación de estabilización en el campo de estructuras de fundación (Cimentación)

Las cimentaciones tienen como misión transmitir al terreno las cargas que soporta la estructura del edificio. De modo general se puede decir que existen dos tipos de cimentación según que principalmente vayan a soportar esfuerzos de compresión pura o que soporten, además, tensiones de tracción. Esta consideración afecta al material que va a constituir la cimentación.

El pozo de cimentación (en francés caisson) es un tipo de cimentación semiprofunda, utilizada en suelos blandos, donde no son adecuadas las cimentaciones superficiales.

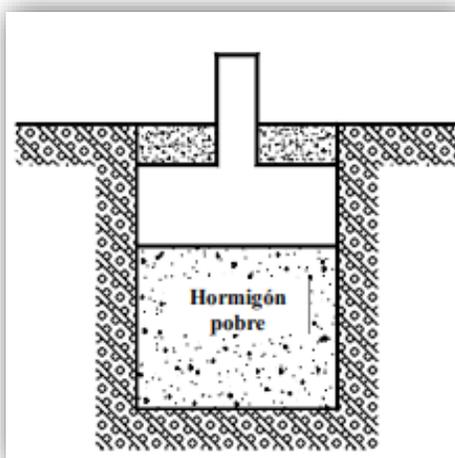
Los caissons tienen gran similitud con los pilotes, la diferencia está en que los caissons son de mayor diámetro y casi siempre van construidos in situ.

La cimentación en pozo constituye una solución intermedia entre cimentaciones profundas y superficiales.

Se aplica cuando la resistencia del suelo requerida se alcanza a profundidades medias pero sin que se justifique la necesidad de cimentar con pilotes.

Para su ejecución se excava un pozo hasta la cota resistente y, a partir de aquí, existen dos posibilidades. La primera consiste en rellenar el pozo con hormigón pobre o con una mezcla de suelo cemento hasta cota conveniente y, sobre esta columna, se apoya la zapata.

Figura.2.2. Cimentación en pozo



Fuente: Manual de estabilización de suelo

2.2.2. Tipos de estabilización

Los diferentes sistemas de estabilización que se pueden emplear en los suelos apuntan a poder utilizar los materiales que están en la obra evitando así gastos de desalojo y que podrían ser utilizados en el mejoramiento del terreno y para lograr esto es necesario en lo posible:

El material básico que se debe emplear, es el suelo, en el estado natural en que se encuentra a lo largo del camino, incorporándole otros materiales, o acarreándolo de los depósitos o bancos cercanos.

2.3. SUELO

Básicamente la definición de la palabra suelo desde el punto de vista de la ingeniería es muy amplia.

Puede definirse como todo material inorgánico que cubre toda la parte rocosa de la tierra. Todos los suelos, son prácticamente, producto de la desintegración de las rocas. Esta desintegración o intemperismo, ha sido realizado por las fuerzas químicas y mecánicas que han actuado sobre las formaciones de roca madre durante innumerables periodos.

Uno de los aspectos más importantes respecto a los suelos y a los depósitos de tierra, es su falta normal de homogeneidad.

Debido al proceso más o menos azaroso de formación, los suelos varían grandemente en su composición física y química en las diferentes localidades sobre la superficie de la tierra.

Los depósitos de suelos varían también en forma característica con la profundidad.

Cualquier suelo puede estabilizarse con cemento a excepción de los suelos muy plásticos, orgánicos o con altos contenidos de sales que puedan afectar el desempeño del cemento.

Existen diversos criterios en varios países, que limitan y especifican las características que debe tener un suelo para considerarse aceptable en la elaboración de una mezcla de suelo-cemento. Si se comparan dichos criterios entre sí, existen diferencias respecto a ciertos requerimientos; sin embargo, todos coinciden en limitar aspectos relativos a la granulometría del suelo, proceso constructivo y cumplimiento de requerimientos del diseño de mezcla y de la función que tenga.

El objetivo de limitar características del suelo, principalmente el índice de plasticidad y los requerimientos granulométricos, es obtener una mezcla económica en términos de la cantidad de cemento y de buen comportamiento estructural.

Los suelos estabilizados con cemento, no deben considerarse como materiales inertes.

La adición de agua y cemento al suelo hace que reaccione químicamente, produciéndose cambios a través del tiempo y modificando sus propiedades físicas a corto, medio y largo plazo. Otras consideraciones que deben tomarse en cuenta para la selección del suelo a utilizar en mezclas de suelo-cemento, son los aspectos constructivos y de cumplimiento de los requisitos estructurales, ya que algunos suelos presentan mayor facilidad de mezclado y de compactación que otros.

2.3.1. Cualidades de los suelos

La granulometría del material por estabilizar deberá ser tal que no permita la presencia de sobre tamaños y/o partículas que impidan la óptima compactación de la capa en la estructura de pavimento, de igual manera deberá ajustarse al uso granulométrico, este permitirá obtener la máxima densidad posible estimada a través del ensayo de laboratorio.

2.4. MATERIALES PARA EL SUELO-CEMENTO

2.4.1. Cemento

El cemento es un conglomerante hidráulico, que amasado con agua fragua y endurece tanto expuesto al aire como sumergido. El cemento Portland está constituido por cuatro componentes principales: silicato tricálcico, silicato dicálcico, aluminato tricálcico y ferro aluminato tetracálcico, las materias primas que se usa en la fabricación del cemento

Portland incluyen caliza, hierro, sílice, alúmina, yeso y óxido de magnesio. En la fabricación del cemento se puede usar una amplia variedad de materiales naturales e industriales como fuentes de materia prima.

El cemento a usarse será del tipo común Portland, el cual es un material que reacciona químicamente con el agua debido a un proceso llamado hidratación, para formar una masa pétreo. Fue patentado en 1824 por un albañil inglés llamado Joseph Aspdin. Llamó a su producto cemento Portland porque el concreto se parecía a la caliza natural de la isla de Portland.

Los requerimientos del cemento varían en función de las propiedades deseadas en la mezcla y del tipo de suelo a utilizar, mientras que el contenido de cemento a emplear depende de si el suelo va a ser modificado o estabilizado.

Se han usado con éxito cementos hidráulicos con adiciones (blended cements) de acuerdo con la norma ASTM C 595 o bien los cementos hidráulicos por desempeño tipo HE o GU según la norma ASTM C 1157. Muchos autores opinan que la tendencia al agrietamiento en general, aumenta con el contenido de cemento y con el uso de suelos finos y plásticos, disminuyendo la resistencia del conjunto. Para estos suelos es viable emplear para su estabilización cal o mezclas de cal y cemento. En principio, cualquier cemento puede usarse en la estabilización de suelos, siempre y cuando se analice previamente en un diseño de mezcla. Debe tenerse cuidado con suelos ricos en sulfatos, puesto que los estudios han mostrado que contenidos de sulfatos mayores de 0.2% se traducen en una reducción de la resistencia a compresión.

2.4.2. Suelo

En teoría cualquier suelo puede estabilizarse con cemento a excepción de suelos con bastante contenido de sales como de sustancias orgánicas, sin embargo en el campo de aplicación práctica, los suelos que se pueden utilizar se encuentran limitados por la granulometría adecuada de las partículas.

En general la experiencia ha demostrado que para que un suelo pueda ser endurecido correctamente, mediante la adición de cantidades razonables de cemento debe tener la granulometría siguiente.

Que el límite superior del tamaño máximo de las partículas sea de una tercera parte del espesor de la capa compactada, lo que representa unos 8 centímetros máximo en la distribución granulométrica, el límite máximo de las partículas finas que pasan la malla 200 debe ser cercano al 50, con un límite no mayor al 50% e índice plástico menor de 25%. O sea que conviene evitar los suelos altamente compresibles y los muy plásticos.

La PCA propone no más de 45% se ha retenido en la malla N°4 y tamaño máximo del agregado de 3" y acepta suelo mal graduados. Por otra parte, la PCA, considera que no resultan adecuados suelos cohesivos cuyo límite líquido es mayor a 45% y su límite plástico mayor a 20%, los suelos son bastante contenido de arcillas tiene serios inconvenientes ya que producen agrietamiento final y los tratamientos de humedecimiento y secado comúnmente necesarios son muy costosos y difíciles.

2.4.3. Agua

El agua deberá estar libre de materia en suspensión; siempre que sea posible deberá usarse agua potable y deberá cumplir con lo dispuesto en normas.

El agua, tanto para el amasado como para el curado de la mezcla, debe ser limpia y deberán rechazarse las que no cumplan una de las siguientes condiciones:

Exponente de hidrógeno pH.....	≥ 5.
Sustancias disueltas	≤ 15 gr/lit
Sulfatos expresados en SO ₄	≤ 1 gr/lit
Ion cloro Cl ⁻	≤ 6 gr/lit
Hidratos de carbono.....	0
Sustancias orgánicas solubles en éter.....	≤ 15 gr/lit

La temperatura del agua para la preparación será superior a los 5° C

Resulta más perjudicial para el hormigón utilizar aguas no adecuadas en su curado que en su amasado.

2.4.4. Aditivos y adiciones

La mayor parte de las informaciones sobre uso de aditivos en mezclas de suelo-cemento, están orientadas al uso de retardadores de fraguado, utilizado en la mayoría de los casos cuando la mezcla es elaborada en planta y transportada al sitio de la obra en condiciones climáticas desfavorables o a distancias considerables.

Las adiciones, como por ejemplo puzolanas y cenizas volantes según ASTM C 618, han sido usadas en mayor cantidad que los aditivos químicos.

Este tipo de adiciones puede incrementar la resistencia a largo plazo de las mezclas, optimizar la dosificación de cemento y mejorar en algunos casos la trabajabilidad de las mezclas.

2.5. SUELO-CEMENTO

El suelo cemento es el material resultante de la mezcla íntima de un suelo, cemento, agua y eventuales adiciones, realizadas en central o sobre la misma construcción de la carretera y convenientemente compactada y curada, a la que se le exigen unas determinadas condiciones de resistencia mecánica. De esta forma, el material suelto se convierte en otro rígido mucho más resistente. Agregando, cemento portland y posibles ingredientes, incluyendo puzolanas, y agua para formar un material endurecido con específicas propiedades ingenieriles. El suelo cemento difiere del hormigón de cemento portland en varios aspectos. Una significativa diferencia es la forma como las partículas de agregados o de suelo se mantienen unidas. En el hormigón de cemento portland hay suficiente pasta para cubrir la superficie de los agregados y llenar los vacíos que quedan entre ellos. En el suelo cemento la pasta es insuficiente para recubrir los agregados y llenar los vacíos que quedan entre ellos, resultando una matriz que une módulos de material no cementado.

Otra diferencia es el tipo y granulometría aceptable para cada material.

Las especificaciones para hormigón requieren una determinada mezcla de agregados gruesos y finos, generalmente con no más de 2% pasando el tamiz N° 200.

Casi todos los tipos de suelos inorgánicos son adecuados para suelo cemento.

El contenido de finos (material que pasa el tamiz N° 200) típicamente varía entre un 5 y 35%.

Materiales como escoria, cenizas, conchilla y extraídos de viejas superficies bituminosas han sido igualmente incorporadas con éxito a las mezclas de suelo cemento. Los típicos suelos granulares se prefieren a los arcillosos por su fácil pulverización y por requerir menos cemento para lograr la necesaria resistencia y durabilidad.

El suelo cemento tiene su aplicación más importante como sub-base y base de pavimentos de hormigón, bituminosos, en superficies de estacionamiento, caminos rurales y vecinales.

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 a mejorar tenga un porcentaje máximo de materia orgánica del 34%.

Existen diferentes formas o métodos para estabilizar con cemento Portland, unas llamadas estabilizaciones del tipo flexible, en el cual el porcentaje de cemento varía del 1 al 4%, con esto sólo 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 un probable fracturamiento de la carpeta, ya que ambos trabajan en conjunto y para conocer el porcentaje óptimo por emplear se efectúan pruebas de laboratorio con diferentes contenidos de cemento.

Las propiedades del suelo cemento dependen de:

- Tipo de suelo
- Proporciones de cemento y agua
- Proceso de ejecución
- Curado y edad de la mezcla compactada
- Utilización que se le quiera dar

El suelo cemento tiene características que difieren de los otros tipos de estabilizaciones, entre ellas podemos citar:

a) COLOR Y TEXTURA

En general se observan que existen cambios pocos visibles en el color y la textura, en relación con las originarias del suelo natural. Debido a los contenidos pequeños de cemento como de agua en el mezclado.

b) ESTRUCTURA

En los suelos granulares la estructura es similar a las de los suelos sin tratar, exceptuando que se producen nuevos vínculos entre los granos llegando a constituirse como un pegamento en los puntos de contacto entre grano y grano.

En los suelos finos se producen reacciones químicas que alteran substancialmente la estructura original de las partículas.

Algunos autores dan su criterio a cerca de los suelos granulares y finos mezclados con cemento. En los suelos granulares limpios, ocurre adherencia rígida en todos sus granos, obteniendo un material de comportamiento rígido y frágil. En cambio en los suelos finos, con un porcentaje normal de cemento se logrará una adherencia solamente en una parte del suelo.

El estudio de la mezcla y obtención de la forma de trabajo se realizará mediante ensayos de laboratorio.

La fórmula de trabajo deberá señalar:

La dosificación de cemento y en su caso la de aditivos

El contenido de agua.

En su caso la humedad del suelo en el momento de su mezcla con el cemento y en el momento de su compactación.

El valor mínimo de la densidad a obtener, que no será inferior al 98% de la máxima alcanzada en el ensayo Proctor modificado.

2.5.1. Tipos de suelo-cemento

Hay diferentes tipos de mezclas de suelo y cemento:

2.5.1.1. Suelo mejorado o modificado con cemento

Se usa en sub-rasantes o explanadas y se define como una mezcla de suelo y una cantidad pequeña de cemento, generalmente inferior al 4% en peso, añadida con el fin de mejorar algunas propiedades de los suelos.

Al contrario que el suelo cemento, la mezcla resultante sigue teniendo la estructura de un material suelto, al menos a corto plazo. La mejora o modificación con cemento se usa generalmente con suelos de grano fino, plásticos y a veces con humedades naturales excesivas con dificultades de compactación, expansividad y baja capacidad de soporte. El conglomerante modifica sus características a corto y largo plazo de forma moderada, pasando a ser suelos utilizables.

Por su limitada o nula resistencia mecánica se recomienda su uso en sub-rasantes de pavimentos de tráfico ligeros y medios. Para el caso de tráfico pesado y de alto volumen, se sugiere colocar una sub-rasante de mayor capacidad de soporte sobre el suelo modificado con cemento.

2.5.1.2. Suelo estabilizado con cemento

El suelo modificado con cemento es una mezcla no endurecida o semi-endurecida de suelo y cemento. Cuando se agregan cantidades relativamente pequeñas de cemento Portland a un suelo granular o a un areno limoso, las propiedades físicas y químicas cambian. El cemento reduce la plasticidad del suelo su capacidad de retención de agua e incrementa su capacidad portante. El grado de mejoramiento depende de la cantidad de cemento usada y del tipo de suelo. En el suelo modificado con cemento, solamente se usa la cantidad de este último necesario para modificar las propiedades físicas del suelo en el grado deseado. Los valores de resistencia a compresión simple sugeridos por el ACI en capas de base de suelo-cemento plástico varían entre 3 y 8,5 MPa.

Los suelos modificados con cementos pueden utilizarse para bases, sub-bases, sub-rasante tratada, terraplenes y como material de relleno.

2.5.1.3. Suelo cemento plástico

Consiste en una mezcla de suelo fino, cemento y agua o aditivos suficientes para conseguir una consistencia fluida. Este material se engloba dentro de los denominados Materiales de Resistencia Controlada. Una de las aplicaciones de este material es en la construcción de bases de pavimentos, en cuyo caso se usan mezclas plásticas y no fluidas, diseñadas de tal forma que se puedan colocar y enrasar fácilmente teniendo además la menor contracción posible.

2.6. MÉTODOS COMUNES DE CONSTRUCCIÓN

Existen básicamente 2 métodos por medio de los cuales se puede pulverizar, mezclar y colocar el suelo-cemento:

In Situ

En Central o Planta

En general, por economía y rapidez se acostumbra a usar principalmente el método de mezclado In Situ, el método de premezclado permite un mayor control sobre el producto y es recomendable cuando se tienen préstamos no muy lejanos.

2.6.1. In situ

En el proceso básico de mezclado in situ, las cantidades adecuadas de los elementos de suelo que van a formar la base o la capa de rodamiento se mezclan directamente sobre la superficie de la sub rasante o la sub base. Esto puede llevarse a cabo volteando el material alternadamente de un lado de la carretera al otro.

También se pueden utilizar máquinas giratorias para mezclar a alta velocidad y obtener así una mezcla más uniforme. Después de que se ha hecho una mezcla adecuada con los elementos, se debe tender ésta en una capa uniforme para su compactación, si la humedad de la compactación es menor que la óptima, deberá agregarse agua y mezclar con el suelo para formar una masa uniforme. Luego de agregar el agua se tiende el suelo formando una capa uniforme y se compacta.

El espesor de la capa es muy variable y es común el extendido en capas delgadas (4'' de espesor) con una motoniveladora y de inmediato iniciar la compactación, cada capa deberá compactarse antes de colocar la siguiente. Si se usan compactadores vibratorios o de rodillos, el material puede colocarse en capas más gruesas hasta un espesor de 8'' aproximadamente.

2.6.2. Mezclado en planta

Muchas compañías que construyen grandes distancias de caminos de suelos estabilizados, han encontrado conveniente el uso de plantas centrales de mezclado para la producción de mezclas de suelos estabilizados.

Usualmente, las mezclas producidas de esta manera tienen un costo un poco mayor que las que se producen con los métodos de mezclado in situ, pero hay ciertas ventajas a partir del uso de esta técnica. Las ventajas que tiene el método de la central comprende mayor uniformidad en la mezcla, mayor facilidad para el control de las proporciones, mejor suministro del agua en la mezcla y menos retraso debido al mal tiempo.

La conformación de la planta varía con el tipo de agregados de la mezcla y el equipo disponible. En la mayoría de las plantas, los agregados que provienen de un banco, de una trituradora o de una mezcla de gruesos y finos, son manejados por una banda transportadora hasta unos silos de almacenamiento. A partir de ese lugar, el material se transporta a un molino mezclador o a otro equipo similar. En los lugares donde se agrega arcilla a los áridos gruesos, es necesaria una estructura adicional y separada para pulverizar y alimentar con este material la mezcladora.

2.7. TÉCNICAS DE CONSTRUCCIÓN EN CAPAS ESTABILIZADAS CON CEMENTO

La construcción de una capa de suelo cemento para carreteras comprende dos operaciones generales: la preparación de la sub rasante y el proceso de construcción independientemente de los equipos y métodos utilizados, el objetivo final es el de obtener una, mezcla compactada lo más perfecta posible del suelo pulverizado con las convenientes cantidades de cemento y agua.

Las prácticas más usuales para la construcción de capas de suelo cemento se pueden agrupar en dos tipos, las que realizan la mezcla del suelo con el cemento en la vía y las que lo hacen en plantas centrales similares a las utilizadas para la fabricación de concreto.

2.7.1. Preparación

Antes de dar comienzo a la construcción propiamente dicha se debe determinar, la cantidad de cemento requerida para el caso específico teniendo en cuenta las características del suelo con el que se va a trabajar utilizando un proceso de diseño adecuado.

La construcción comienza con la escarificación del suelo del tramo de suelo cemento que se construirá en el día, para este escarificado se utilizará un arado de tres o cuatro rejas, o una niveladora provista de dientes para el escarificado.

La escarificación progresará desde los bordes hacia el centro de la calzada, verificando su profundidad al iniciar la operación que corresponderá al espesor que se asigna al pavimento de suelo cemento. Una vez terminada esta operación se iniciará la pulverización del suelo con pulverizadoras rotativas o rastras de discos.

Una vez terminada la pulverización del suelo éste será conformado, mediante la moto niveladora, en el ancho y espesor suelto que correspondan a la calzada a construir.

Figura.2.3. Homogeneización del suelo para realizar la estabilización



Fuente: Manual de estabilización de suelos con cemento o cal

2.7.2. Proceso específico de la mezcla In situ

El proceso de mezcla en vía es la forma más rápida y económica de fabricar suelo cemento con materiales finos o granulares. Cuando se está considerando la posibilidad de utilizar este sistema constructivo se debe tener en cuenta la maquinaria disponible, para ello para el mezclado se puede ejecutar con maquinaria agrícola, motoniveladora o mezcladoras rotatorias.

La utilización de mezcladoras rotativas permite mejorar el rendimiento durante la construcción, lo que facilita la recuperación de la inversión realizada. Los equipos agrícolas y la moto niveladoras pueden utilizarse para el proceso de mezclado cuando la

calidad del suelo cemento no es un asunto crítico, ya que es difícil lograr una mezcla homogénea y alcanzar la resistencia especificada para la mezcla.

Dentro del proceso de mezclado en vía se pueden incluir las plantas mezcladoras móviles, que aunque realizan el mezclado a medida que se desplaza por la vía, cuentan con un mecanismo similar al de una planta mezcladora para producir el suelo cemento. Este tipo de maquinaria es adecuado para grandes obras debido a su alto nivel de productividad.

Al margen del tipo de equipo utilizado, los procesos en el campo son los mismos: escarificación, pulverización, y humedecimiento previo; manejo y distribución del cemento y mezclado del suelo con cemento, a continuación se explican cada uno de los pasos.

2.7.2.1. Escarificación, pulverización y humedecimiento previo

Las primeras operaciones constructivas dentro del proceso de la mezcla en vía son: escarificación, pulverización y humedecimiento del suelo. Según las condiciones específicas del material, tales como la granulometría y humedad, se pueden obviar algunos de estos pasos.

La escarificación busca desprender la capa del suelo con la cual se va a trabajar y reducir un poco el tamaño en las partículas. En algunos casos puede prescindirse de este proceso dependiendo del tipo de suelo y del equipo de mezclado.

Cuando el suelo es deleznable, se requieren poca o ninguna escarificación y pulverización, mientras que algunos suelos limosos y arcillosos pueden necesitar un proceso energético especialmente si están muy secos o muy húmedos.

Figura.2.4. Escarificación previa al vaciado del cemento



Fuente: Manual de estabilización de suelos con cemento o cal.

Los elementos que facilitan la pulverización son la humedad y el equipo adecuado. El empleo de un equipo adecuado contribuye a facilitar el trabajo de pulverización, siendo los más usados, mezcladoras rotativas, arados de discos y rodillos.

2.7.2.2. Colocación del material de préstamo

La mayoría de las capas de suelo cemento se construyen utilizando exclusivamente los suelos de la vía, sin embargo cuando se especifican suelos de préstamo, el material se debe extender en una sub rasante bien perfilada y compactada. La distribución se puede hacer por peso o por volumen, de acuerdo con las especificaciones del diseño, aunque es preferible que sea por peso.

2.7.2.3. Manejo y distribución del cemento

El manejo del cemento es uno de los pasos críticos de la construcción ya que al contacto con el agua el cemento reacciona inmediatamente. Con el objeto de mejorar la eficiencia y cumplir con los límites de tiempo que fijan las especificaciones, el trabajo del día debe dividirse en varias etapas, en lugar de tener una o dos secciones largas. Este procedimiento

se refleja en una producción diaria máxima y se evita que la lluvia afecte una gran longitud de la vía.

El cemento se puede espaciar en las cantidades necesarias mediante distribuidores mecánicos, cuando se provee a granel, o por medios manuales, cuando se utilizan sacos. El cemento a granel se emplea en la mayoría de los trabajos de gran tamaño, mientras que el cemento ensacado se utiliza en obras pequeñas. El cemento no debe distribuirse en charcos de lluvia o sobre suelos extremadamente húmedos. Para distribuir el cemento pueden usarse rastras de diente o clavos, un trozo de cadena cuyos extremos vayan unidos a la parte trasera de una mezcladora rotativa, o rastrillos manuales la capa de cemento debe ser lo más uniforme posible para facilitar el mezclado.

Figura.2.5. Riego de cemento para una estabilización In situ



Fuente: Manual de estabilización de suelos con cemento o cal

2.7.2.4. Mezclado del suelo y el cemento

Para la operación de mezclado de suelo y cemento se pueden utilizar básicamente dos tipos de equipos: mezcladoras rotativas o pulvimescladoras o motoniveladora.

La operación de mezclado es más fácil si el contenido de humedad está dos o tres puntos por debajo del porcentaje óptimo. No obstante, los suelos arenosos pueden mezclarse aunque estén por encima del porcentaje óptimo. El agua debe regarse uniformemente durante el proceso de humedecimiento previo. Al mezclar el agua con el suelo se reducen

las pérdidas por evaporación. Una vez que se ha distribuido el cemento se procede al mezclado.

El objetivo de esta etapa es repartir el cemento en la masa de suelo, sólo se requiere un mezclado suficiente para prevenir la formación de grumos. En este momento de la construcción no es necesario mezclar en forma total e íntima.

Figura.2.6. Equipo de mezclado

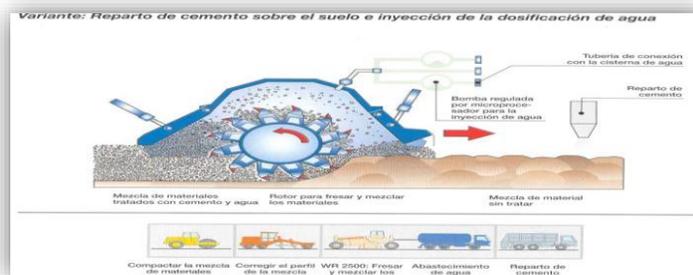


Fuente: Manual de estabilización de suelos con cemento o cal.

A continuación se incrementa la humedad con nuevos riegos, hasta llegar a la humedad óptima de compactación. El agua se mezcla después de cada riego, que se efectúa mediante un camión de distribución por presión o por medio de una barra distribuidora montada al frente del equipo de mezclado.

Figura.2.7. Proceso de fraccionamiento y mezclado en equipos de alto rendimiento.

Dosificación de agua y cemento



Fuente: Manual de estabilización de suelos con cemento o cal

Después del último riego se continúa el mezclado hasta que el suelo, cemento y agua queden íntimamente mezclados en la totalidad del espesor y el ancho de la calzada. El material queda en condiciones de ser compactado.

2.7.3. Procesos específicos de la mezcla en central o planta

La utilización de las plantas mezcladoras de concreto para producir suelo cemento es factible desde el punto de vista técnico.

Este tipo de mezclado permite vigilar más de cerca la calidad de los materiales e independiza las mezclas de las condiciones climáticas ya que ésta se realiza en un lugar protegido.

La adquisición de una planta debe ser justificada desde el punto de vista económico, debido al costo que se incurre por el transporte del material hasta la planta y después al lugar de colocación. Este caso hace que su utilización se limite, en la mayoría de los casos.

Lo principal de la mezcla en planta es que se puede dosificar el material de manera exacta, asegurando así su calidad.

Una vez que el material ha sido mezclado debe ser transportado al lugar de construcción. Para el transporte se pueden utilizar volquetes, teniendo cuidado de cubrir la caja del volquete con plástico para evitar al máximo la evaporación.

2.7.4. Extendido

Una vez colocado el material se cuenta con dos alternativas para su extendido: con máquinas acabadoras de asfalto, aunque éstas limitan el espesor a colocar, o con moto niveladora, en cuyo caso se debe tener en cuenta la densidad de la capa extendida y debe ser lo más uniformemente posible. La compactación se debe llevar acabo inmediatamente.

2.7.5. Compactación

Una vez que el suelo cemento ha alcanzado la humedad óptima y ha sido total e íntimamente mezclado, debe compactarse de inmediato. La humedad óptima y la máxima densidad se determinan por el método Proctor Modificado. A veces es necesario reponer el agua perdida por la evaporación durante la compactación.

Figura.2.8. Proceso de compactación del suelo estabilizado



Fuente: Manual de estabilización de suelos con cemento o cal

Existen numerosos equipos de compactación. Los más usados para el suelo cemento son los rodillos pata de cabra y los rodillos lisos. Los rodillos pata de cabra utilizados para compactar la mezcla de suelo cemento tienen sobrepeso para aumentar la presión unitaria transmitida, sin llegar a sobre tensionar el suelo cemento. Con estos equipos se compactan de manera satisfactoria, capas de hasta 20 cm. de espesor.

Cuando se utiliza este tipo de rodillos para la compactación inicial, el material debe estar suelto para que las patas puedan llegar hasta el fondo de la capa e ir compactando gradualmente. Cuando las patas no pueden penetrar lo suficiente se afloja la mezcla. Este procedimiento se utiliza para obtener mayores densidades.

Para compactar suelos arenosos con poco o ningún ligante, como las arenas limpias y las gravas con poca o ninguna plasticidad, se emplean rodillos neumáticos, estos rodillos se usan con cargas altas. Las arenas cohesivas pueden compactarse también con grandes tractores equipados con orugas planas

La compactación termina con un segundo rodillo neumático liviano con el fin de sellar las fisuras. Algunas veces durante las operaciones de compactación y el acabado aparecen zonas flojas puestas en evidencia por el equipo de construcción. Esto se debe a una o varias de las siguientes causas: el suelo cemento contiene humedad muy superior a la óptima; la sub rasante está húmeda o inestable, o el rodillo es muy pesado para el suelo. Si el suelo cemento está demasiado húmedo, se debe airear con arado, una mezcladora rotativa o una motoniveladora. Después de que sea secado hasta aproximadamente el contenido óptimo de humedad, se puede compactar.

Para obtener los mejores resultados en la compactación se debe comenzar inmediatamente después de la elaboración de la mezcla de suelo, cemento y agua. En esta forma se obtiene de manera rápida las densidades necesarias, hay menos evaporación del agua y el rendimiento aumenta.

2.7.6. Acabado

Existen varios métodos aplicables para la terminación del suelo cemento. El procedimiento adecuado depende del equipo, condiciones de la obra, características del suelo. Para producir una superficie de alta calidad, independiente del método utilizado, se deben cumplir las exigencias de la compactación, humedad cercana a la óptima y remoción de cualquier plano superficial de compactación.

Los planos superficiales de compactación son aquellos marcados por las ruedas del equipo, la cuchilla de la motoniveladora o las del rodillo patas de cabra, sobre las cuales no se adhieren adecuadamente las capas superiores, por lo tanto pueden desprenderse, aflojarse o fracturarse.

Las huellas superficiales y las marcas de la cuchilla de la motoniveladora que deja en el perfilado final deben removerse con una rastra de clavos. La superficie de trabajo debe mantenerse húmeda durante las operaciones de acabado. El rodillo liso se pasa para que borre las huellas dejado por el rodillo neumático inicial.

Además este equipo presenta ventajas especiales cuando se presentan partículas pétreas en la superficie. A continuación del cilindro es conveniente pasar una rastra de cepillos para rellenar con material ligante los intersticios dejados por la grava insertada en la superficie por la acción del cilindro.

2.7.7. Curado

El suelo cemento compactado y terminado tiene suficiente humedad para la hidratación adecuada del cemento. Con el fin de retener esa humedad, inmediatamente después del acabado se coloca sobre el suelo cemento cubierta que permita la hidratación del cemento.

En los últimos años se han usado productos bituminosos para el curado de suelo cemento. Los más usados son los asfaltos rebajados y las emulsiones asfálticas, pero existan otros materiales tales como las películas elásticas, el papel impermeable, la paja o las tierras humedecidas, cuyo empleo es enteramente satisfactorio.

2.8. ELEMENTOS DEL PAQUETE ESTRUCTURAL DE UNA CARRETERA

2.8.1. Capa sub-rasante

Llamada también capa soporte, terreno de fundación o cimientto del firme, es la capa resultante luego de realizado el movimiento de tierras que se constituye en la parte de la corteza terrestre que le va a servir de soporte o apoyo a la estructura del pavimento, por lo que debe tener una resistencia y una regularidad geométrica adecuadas, puesto que es determinante en el espesor que tendrá el paquete estructural y por ende en el consumo de materiales y en el costo final de la obra.

Puede ser sub-rasante natural (en el caso de los cortes), o constituirse en el sitio, artificial (para el caso de los terraplenes). Las funciones principales a las que están destinadas las sub-rasantes son:

Soportar las cargas que transmiten las otras capas, el tráfico y los agentes externos además de darles sustentación.

Evitar que el terraplén contamine al pavimento y que sea absorbido por las terracerías llamadas también como se dijo explanadas u obras de tierra.

Al ser la cimentación del pavimento, entre mejor calidad tenga esta capa, el espesor del pavimento será menor y se disminuirán por consiguiente los costos.

2.8.2. Capa sub-rasante mejorada

Este trabajo consiste en la ejecución de una capa de suelo cuya conformación requiere de material sin procesar dentro de los límites de las secciones de diseño. Es una capa que tiene carácter de opcional, se coloca cuando las características de la sub-rasante son malas y por tanto conviene mejorar su material constituyente, de manera que los espesores de las capas superiores disminuyan. Las funciones que cumple son las mismas que están destinadas a la sub-rasante.

En la práctica existen diversas formas de mejorar el material de la capa sub-rasante, la más usual en nuestro medio es la estabilización física que se la realiza con una mezcla de suelos, utilizando la sub-rasante existente y mezclándola con un material que aumente su valor cortante y sus características físico-mecánicas. Los otros tipos de estabilizaciones que se pueden realizar no sólo para la sub-rasante mejorada, sino para las demás capas constituyentes del paquete estructural de los pavimentos flexibles, son:

a) Métodos Físicos:

Mezclas de suelos.

Consolidación previa (suelos finos).

Confinamiento (suelos granulares).

b) Métodos Químicos:

Sal (suelos finos (arcillas y limos). Impermeabilizan y disminuyen los polvos.

Cloruro de calcio (suelos finos (arcillas y limos). Impermeabilizan y disminuyen los polvos.

Cal (suelos finos). Es una solución económica para suelos arcillosos. Disminuye la plasticidad.

Cemento (suelos con fracción granular (arenas o gravas finas)). Aumenta la resistencia.

Asfalto (suelos granulares (material triturado)). La emulsión, es muy usada.

Escorias de fundición (carpetas asfálticas). Dan mayor resistencia, impermeabilizan y prolongan la vida útil de las carpetas.

Polímeros (carpetas asfálticas). Dan mayor resistencia, impermeabilizan y prolongan la vida útil de las carpetas.

Hule de neumáticos (carpetas asfálticas). Dan mayor resistencia, impermeabilizan y prolongan la vida útil de las carpetas.

Otros (Dynasolo, aceite quemado, cenizas, etc.). Se las utilizan de acuerdo al requerimiento del proyecto.

c) Métodos Mecánicos:

Compactación.

2.8.3. Área de conformación de las capas de agregados

Son las capas intermedias de la estructura de los pavimentos flexibles, es decir son las capas sub-base y base que se colocan entre la capa de rodadura y la sub-rasante.

Figura.2.9. Conformación de las Capas de Agregados



Fuente: Manual de estabilización de suelos con cemento o cal

Estas capas se construyen con agregados pétreos adecuadamente seleccionados o en su caso con materiales estabilizados que tienen la finalidad de traspasar las cargas de la capa de rodadura a la sub-rasante (infraestructura). Los materiales utilizados pueden ser mezclados con agregados finos, agregados mezclados con ligantes y/o estabilizados (cemento, asfalto, cal, etc.).

Dado que los esfuerzos decrecen con la profundidad, la ubicación de estos materiales dentro de la estructura del pavimento (superestructura), está dada por las propiedades mecánicas de cada una de ellas. Por lo general se recomienda en sub-bases un espesor mínimo de 10 cm., mientras que en bases, en vías con un tráfico menor a 1000 vehículos pesados, se recomienda un espesor mínimo de 12 cm. y si el tráfico es mayor un espesor mínimo de 15 cm.

2.8.4. Capa sub-base

Es la capa destinada principalmente a soportar, transmitir y distribuir con uniformidad las cargas aplicadas a la capa de rodadura. Se utiliza también como una capa drenante y controladora de la ascensión capilar del agua, protegiendo así la estructura del pavimento. Está localizada entre la sub-rasante y la base en pavimentos flexibles, sirviendo como material de transición y ocasionalmente, sobre todo en pavimentos rígidos, se puede prescindir de ella. Las funciones que cumple son:

Absorber los cambios de volumen que se puedan producir en los materiales de la sub-rasante, además de captar aguas que vengan por capilaridad, corrientes subterráneas y demás.

Transmitir la carga de las capas superiores a la sub-rasante.

Dar soporte a las capas estructurales superiores.

Contribuir con el espesor y disipando esfuerzos.

Al ser un material no triturado, contribuye en la economía de la estructura.

Prevenir la intrusión de finos provenientes de la sub-rasante en la base, para lo cual se debe especificar materiales de graduación relativamente densa.

La sub-base cumple una cuestión de economía en la estructura misma del pavimento ya que ahorra dinero al poder transformar un cierto espesor de capa base a un espesor equivalente de material de sub-base. Las sub-bases al igual que las bases pueden ser:

Sub- bases granulares tanto trituradas como no trituradas.

Sub-bases estabilizadas tanto con material bituminoso, cemento, cal u otros.

2.8.5. Capa base

La capa base es la capa estructural del pavimento, que está destinada a sustentar la estructura del mismo. Es la capa que recibe la mayor parte de los esfuerzos producidos por los vehículos. Regularmente esta capa además de la compactación, requiere otro tipo de mejoramiento como puede ser una estabilización, esto para poder resistir las cargas del tráfico y transmitir las en forma adecuada a las capas inferiores. Las funciones que debe cumplir la capa base son las siguientes:

Transmitir las cargas de la capa de rodadura a las capas inferiores de la estructura.

Dar soporte a la capa de rodadura.

Aumentar la resistencia estructural del conjunto del pavimento.

Al igual que la sub-base, también tiene función drenante (la base tiene menor cantidad de finos).

Servir de capa de rodadura provisional, mientras se construye la capa de rodadura.

Se recomienda no compactar los materiales en bases que tengan una humedad igual o mayor a su límite plástico. Para esta capa se requiere que las características de resistencia, sean lo más altas posibles por lo que las exigencias en la calidad de los materiales son mayores. Si no se consigue que el material cumpla con las especificaciones, lo recomendable es recurrir a su estabilización, de ahí que se tienen bases granulares y bases estabilizadas.

- a) Base Granular: Está constituida generalmente por piedra triturada de buena calidad y mezclada con material de relleno o bien por una combinación de piedra o grava con arena y suelo en su estado natural. Todos estos materiales deben ser clasificados para formar una capa base que cumpla con las exigencias.
- b) Base Estabilizada: Es la capa a la cual se le practica algún tipo de estabilización, por lo general una estabilización química. Está formada por la combinación de piedra o gravas trituradas con material de relleno o con materiales o productos estabilizadores, que pueden ser: materiales bituminosos, cemento, cal u otros. Esta capa es preparada y construida aplicando las mismas técnicas de estabilización aplicables para la sub-rasante que se mencionadas con anterioridad, esto para mejorar sus condiciones de estabilidad como también de resistencia.

2.8.6. Área de conformación de la capa de rodadura

La capa de rodadura o carpeta asfáltica es la capa superior de un pavimento flexible, que está situada sobre las capas de sustentación como ser la capa base granular o la capa base estabilizada. Las funciones que debe cumplir la capa de rodadura una vez emplazada son las siguientes:

Ofrecer regularidad superficial, mediante una puesta en obra adecuada, si bien es una cualidad que depende fundamentalmente de la conseguida en las capas inferiores del pavimento.

Dar comodidad en la circulación en lo relativo al ruido de rodadura, visibilidad nocturna, visibilidad en momentos de lluvia, etc.

Brindar seguridad en la rodadura del vehículo, para que proporcionen una buena adherencia a los neumáticos en cualquier situación. Esto se consigue dotando a las mezclas de una macro-textura (efecto de la dosificación y tamaño máximo del árido) y micro-textura (efecto del coeficiente de pulimento acelerado del árido).

Dar impermeabilidad, para impedir la penetración del agua superficial en las capas inferiores del pavimento y en la explanada. Esto se consigue dosificando los materiales de tal manera que los huecos en mezcla sean mínimos o disponiendo bajo la rodadura de un material impermeable.

Es también de interés el aspecto estético, conseguido mediante superficies homogéneas y ricas en ligante ya que las carpetas asfálticas constituyen una parte importante de la imagen que ofrece una determinada administración de carreteras.

Figura.2.10. Conformación de la Capa de Rodadura



Fuente: www.dspace.espol.edu.ec

CAPÍTULO III

ANÁLISIS DE LOS MATERIALES

CAPÍTULO III

ANÁLISIS DE LOS MATERIALES

3.1. INTRODUCCIÓN

En principio la realización de este capítulo se debe a todos los ensayos que englobaron, la caracterización y pruebas de evaluación de los materiales, para poder establecer si las características de las mezclas cumplen con los requerimientos para el fin que se les quiere dar, y de esa manera poder encontrar el contenido óptimo de cemento requerido para cada de tipo de suelo ensayado.

El material utilizado pertenece a material existente en la “Calle Raúl Pacheco del barrio Aeropuerto en la ciudad de Tarija”.

Para ello el procedimiento de laboratorio se realizó en dos partes:

Primera: Orientada a realizar la caracterización y evaluar las características de los diferentes materiales que intervienen en la mezcla, el tipo de suelo, cemento y agua de forma separada, estos ensayos permitieron encontrar el rango de dosificación para los suelos. En esta parte de laboratorio se ensayó con tres muestras.

Segunda: Destinada a ensayar las mezclas con cemento, para las cuales se realizarán pruebas de compactación, C.B.R, esto para cada muestra de suelo una vez mezclado.

Con esto encontramos el contenido óptimo de cemento en función de las características y resultados obtenidos de las pruebas de evaluación.

3.2. EXPLORACIÓN Y MUESTREO

Los criterios básicos para seleccionar una muestra de suelo se fundamentan de acuerdo a la aplicación que van a desempeñar los mismos en un determinado trabajo.

Estos criterios se apoyan directamente en el origen y formación de los suelos, cuyos datos nos proporcionarán una idea global de los suelos, su aplicación y las bases para una adecuada selección.

El suelo representa todo tipo de material terroso, desde un relleno de desperdicio hasta areniscas parcialmente cementadas o lutitas suaves. De esta definición se excluyen las rocas (sanas, ígneas o metamórficas) y los depósitos sedimentados altamente cementados, que no se ablandan o desintegren rápidamente por acción de la intemperie.

Los agentes generadores de los suelos apuntan directamente al aire y las aguas, estos mecanismos de ataque deben incluirse en la desintegración mecánica y la descomposición química que sufren los suelos.

En este trabajo de investigación nos interesa dirigirnos a los suelos o materiales finos de acuerdo a la complejidad y variedad con que los suelos se presentan en la naturaleza, es de suma importancia que previamente se los clasifique; en donde la mayoría de los métodos de clasificación se basan en la caracterización del suelo por su distribución granulométrica.

Basándonos en los conocimientos previos anteriormente expuestos, podemos realizar una selección de las muestras que se requiere para la realización del trabajo.

Es muy importante que se conozcan muy bien los pasos a seguir para poder seleccionar las muestras, ya que toda especificación tiene rangos máximos y mínimos con los cuales se escogerá adecuadamente una muestra.

La muestra se la extrajo cumpliendo las especificaciones y siguiendo los pasos indicados en las guías de laboratorio para la extracción de muestras.

Por ser un trabajo de investigación y a la vez aplicación, se extrajo muestras cada 50 metros en un total de 3 muestras del tramo total de 100 m que se nos indicó evaluar.

3.2.1. Ubicación de la zona

EL área de estudio se encuentra en el departamento de Tarija –Bolivia, Provincia Cercado, en la calle Raúl Pacheco Barrio Aeropuerto con una longitud de 100 m.

La importancia de este estudio es para el desarrollo de la región buscando establecer una alternativa solución de problemas típicos encontrados en éste y otros barrios y así buscando la utilización de los suelos existentes en las zonas sin que se tenga que recurrir a bancos de préstamos que en algunos casos están muy distantes al lugar de la obra.

Figura.3.1. Ubicación geográfica del departamento de Tarija en el Estado Plurinacional de Bolivia



Fuente: www.boliviaturismo.com

Figura.3.2. Ubicación de la provincia Cercado en el Dpto. de Tarija



Fuente: www.mirabolivia.com

Figura.3.3. Ubicación del área de estudio



Fuente: Google earth

3.3. CARACTERIZACIÓN DE LOS SUELOS

Como ya mencionamos en capítulos anteriores, el suelo es un sistema muy complejo, por lo cual sus características varían constantemente por la acción de varios factores del medio en que se desenvuelven éstos. Según los ensayos escogidos para la caracterización de los suelos se destacan el análisis granulométrico.

Los materiales como se dijo anteriormente fueron trasladados del mismo lugar a los cuales se los define como muestra-1, muestra-2 y muestra -3. La muestra-1 (M-1) se trata de un suelo areno limoso, es el suelo para el cual se va realizar la investigación. La muestra-2 (M-2) se trata de un suelo areno limoso arena. La muestra-3 (M-3) el cual es un suelo también areno limoso.

Una de las características granulométricas importantes que debe señalarse, es que en su desarrollo se ha utilizado una serie de tamices, con la finalidad de obtener una granulometría integral.

Los tres tipos de suelos utilizados son suelos en su mayoría de grano fino y se caracterizan por ser suelos no cohesivos, variando esto de un suelo a otra razón por la cual se debe realizar el ensayo de granulometría de la forma más adecuada.

Los ensayos que han sido necesario realizar para la obtención de las características mecánicas y físicas son los siguientes.

Granulometría

Límites de Atterberg

Compactación Proctor Modificado

Valor Relativo de Soporte

Los primeros tres ensayos han determinado el tipo de suelo tratado según la clasificación AASHTO y determinar así el posible porcentaje de cemento, lo que nos sirvió para poder comenzar las pruebas de laboratorio de las mezclas.

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 (Ver Figura 3.4. Después que el suelo está seco se pesa y se procede al tamizado por la malla N° 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 último 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 el pesaje del material retenido en cada malla. (Ver Figura 3.5).

Figura.3.4. Lavando el suelo por la malla N°200



Fuente: Elaboración Propia

Figura.3.5. Tamizando y lo que quedó retenido en cada malla



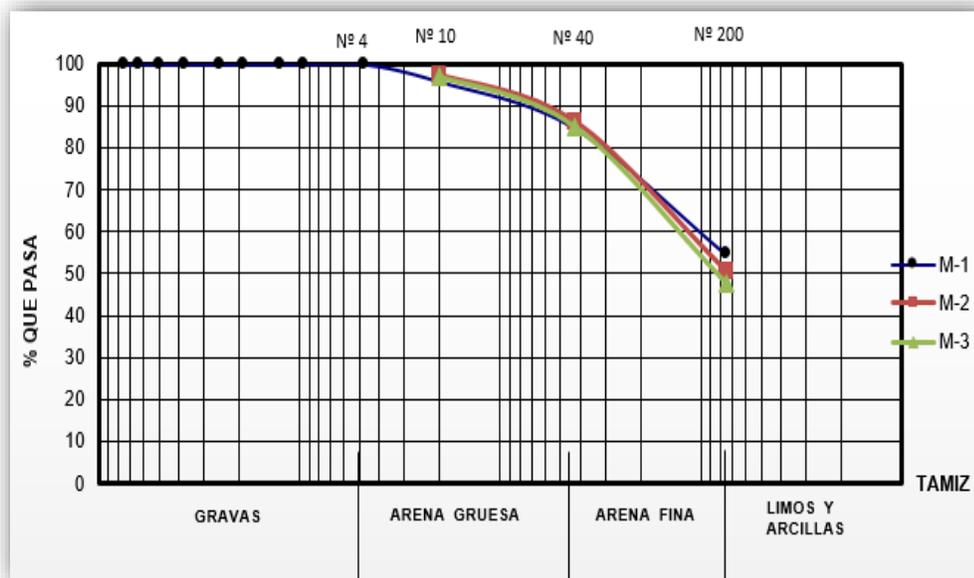
Fuente: Elaboración Propia

Tabla.3.1. Resultados de granulometría de los suelos naturales

Zona de Estudio	M-1	M-2	M-3
Tamices	% Que Pasa	% Que Pasa	% Que Pasa
	del Total	del Total	del Total
3"	100	100	100
2"	100	100	100
1 1/2"	100	100	100
1"	100	100	100
3/4"	100	100	100
1/2"	100	100	100
3/8"	100	100	100
Nº4	100	100	100
Nº10	95,83	97,35	96,77
Nº40	84,77	86,35	84,9
Nº200	54,63	50,68	47,55

Fuente: Elaboración Propia

Gráfica.3.1. Granulometrías de los suelos a estabilizar



Fuente: Elaboración Propia

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

Los límites de plasticidad se realizaron conforme a la norma y éste 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 formada de más o menos 100 gr de suelo seco que haya pasado el tamiz N°40. Para ello, se coloca sobre el mencionado artefacto y se acciona el mecanismo de éste, 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 determinará 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 cilindro 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 límites se denomina “índice de plasticidad” (IP), y da una idea del grado de plasticidad que presenta el suelo; un suelo muy plástico tendrá un alto índice de plasticidad.

Figura.3.6. Realización del ensayo de límites de Atterberg



Fuente: Elaboración Propia

En el ensayo realizado a las muestras M-1, M-2, M-3, se llegó al resultado de que dicho suelo no tiene límites.

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.3.2. Resultados de contenido de humedad de los suelos naturales

Zona de estudio	M-1	M-2	M-3
W % =	2,899	2,011	2,745

Fuente: Elaboración Propia

Tabla.3.3. Clasificación de los suelos según AASHTO

CLASIFICACION DEL SUELO		DESCRIPCIÓN
M-1	ML	Limos inorgánicos y arenas de finas
	A-4	
M-2	ML	Limos inorgánicos y arenas de finas
	A-4	
M-3	ML	Limos inorgánicos y arenas de finas
	A-4	

Fuente: Elaboración Propia

3.3.4. Ensayo de compactación (AASHTO T-180/ ASTM 698-91)

El ensayo de proctor se realizó por el método de la norma (AASHTO T-180/ ASTM 689.91) 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 (B) de compactación para representar de manera adecuada las condiciones de compactaciones con maquinaria pesada.

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 le dan a la subrasante es del 95%.

El procedimiento de ensayo consiste en apisonar en 5 capas consecutivas una cantidad aproximadamente de 3.5 kg de suelo previamente tamizada por el tamiz N°4 y dividida por cuarteo en 5 partes aproximadamente iguales. La muestra se humecta y se introduce en un molde metálico de dimensiones normalizadas (941.6 cm^3).

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 25 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 muestra la realización del ensayo compactación para el proyecto en estudio.

Figura.3.7. Realización del ensayo de compactación



Fuente: Elaboración Propia

Figura.3.8. Realización del ensayo de compactación



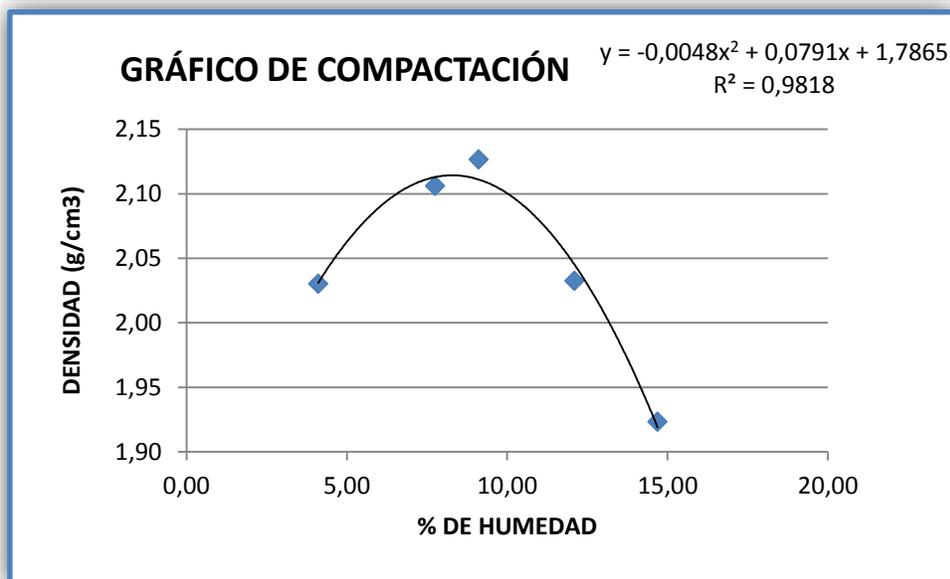
Fuente: Elaboración Propia

Tabla.3.4. Resultados de contenido de humedad de los suelos naturales

Zona de estudio	M-1	M-2	M-3
Densidad máxima (gr/cm ³)	2,11	2,11	2,12
Humedad Óptima (%)	8,24	8,79	8,61

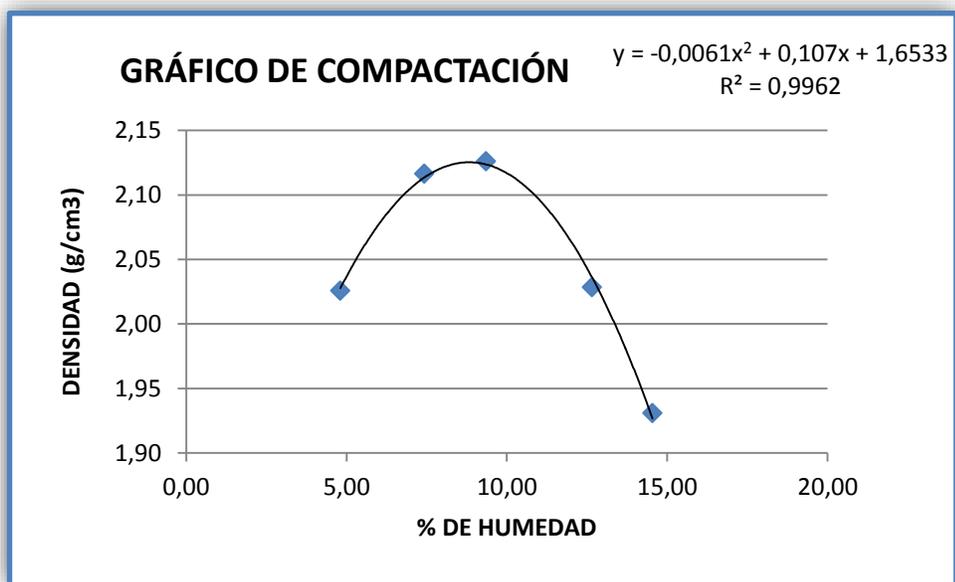
Fuente: Elaboración Propia

Gráfica.3.2. Curva de compactación M-1



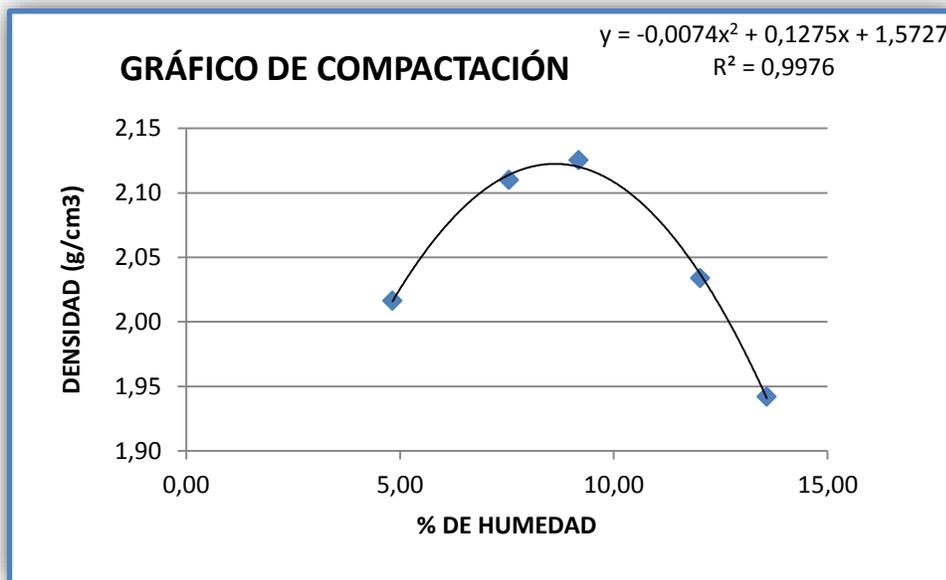
Fuente: Elaboración Propia

Gráfica.3.3. Curva de compactación M-2



Fuente: Elaboración Propia

Gráfica.3.4. Curva de compactación M-3



Fuente: Elaboración Propia

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

El ensayo C.B.R, 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.

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 C.B.R 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 grafica el proceso del ensayo de CBR.

Figura.3.9. Proceso de inmersión y penetración del ensayo de CBR



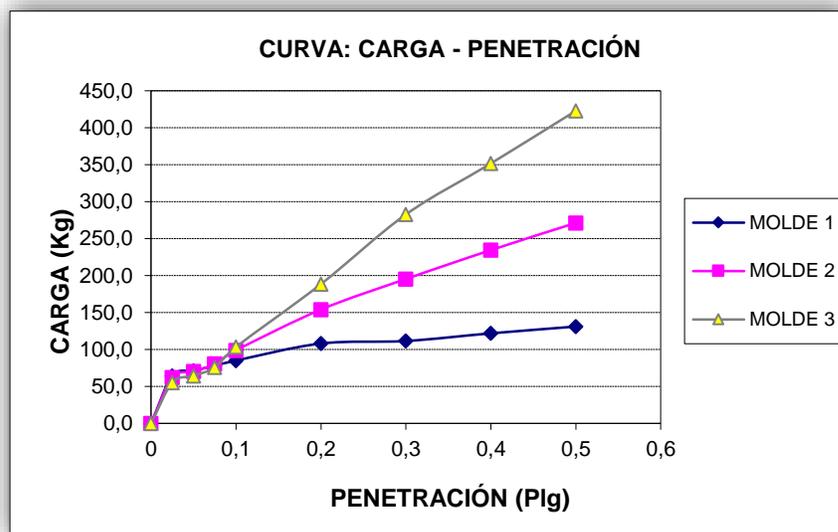
Fuente: Elaboración Propia

Tabla.3.5. Resultados del ensayo de CBR sin estabilizar

Zona de estudio	M-1	M-2	M-3
CBR 95 % de Dmax	13	11	12
Expansión (%)	4,78	4,41	4,41

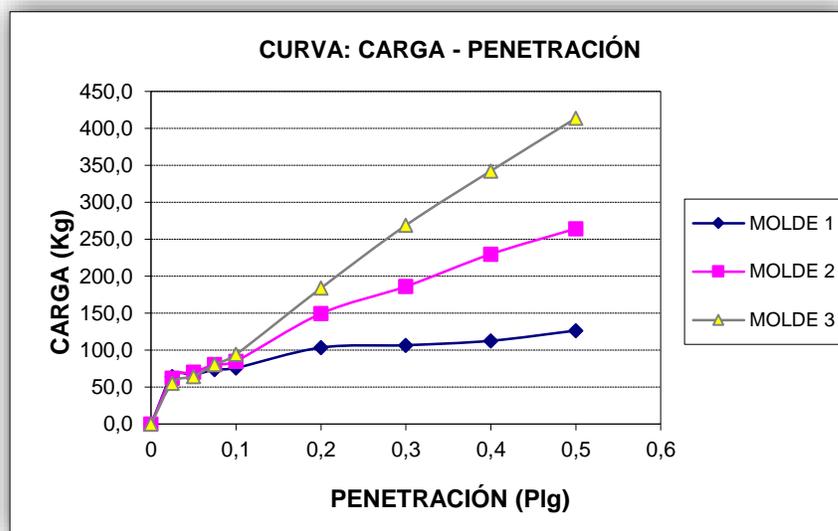
Fuente: Elaboración Propia

Gráfica.3.5. Curva de Carga Vs Penetración de la muestra M-1



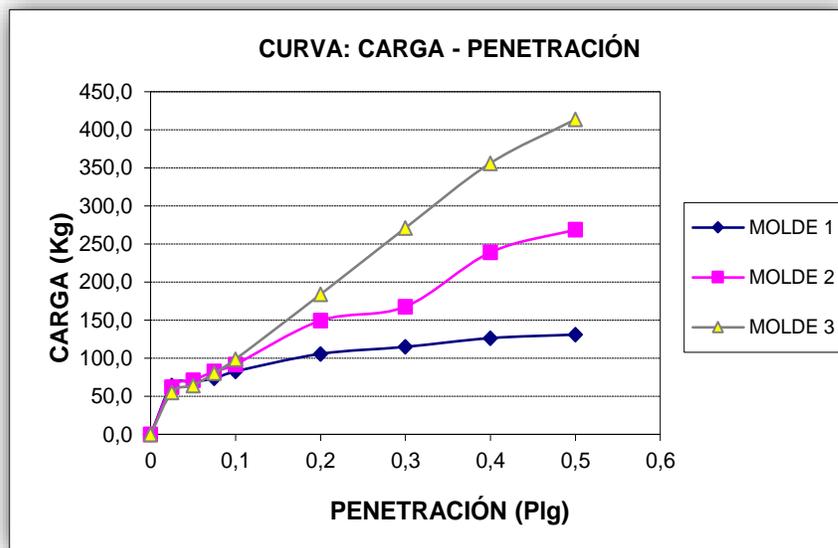
Fuente: Elaboración Propia

Gráfica.3.6. Curva de Carga Vs Penetración de la muestra M-2



Fuente: Elaboración Propia

Gráfica.3.7. Curva de Carga Vs Penetración de la muestra M-3



Fuente: Elaboración Propia

3.4. CARACTERIZACIÓN DEL CEMENTO

Para la realización del trabajo se utilizó el cemento Camba esto debido a que es del medio y cumple con las especificaciones.

Las características más importantes del cemento son: peso específico, finura de molido, fraguado y endurecido, resistencia.

3.4.1. Peso específico

El peso específico expresa la relación entre la muestra de cemento y el volumen absoluto.

$$PE = m / V_{\text{absoluto.}}$$

Donde:

m = Muestra del cemento.

V_{absoluto} = Volumen de la materia sólida.

El peso específico del cemento debe estar entre 3.10 a 3.15 gr./cm³. El valor del peso específico no indica la calidad de un tipo de cemento, sino que su valor es usado para el diseño de la mezcla. Con el valor del peso específico se pueden encontrar otras características del concreto.

El peso específico real varía muy poco de unos cementos a otros, oscilando entre 3 y 3,15 gr./cm³. La limitación establecida por algunas normas (igual o superior a 3 gr./cm³) se cumple prácticamente siempre.

3.4.2. Finura de molido

Es una característica íntimamente ligada al valor hidráulico del cemento, ya que influye decisivamente en la velocidad de las reacciones químicas que tienen lugar durante el fraguado y primer endurecimiento. Al entrar en contacto con el agua, los granos de cemento se hidratan solo en la profundidad de 0.01 mm, por lo que, si dichos granos fuesen muy gruesos, su rendimiento sería muy pequeño, al quedar en su interior un núcleo prácticamente inerte.

Si el cemento posee finura excesiva, su retracción y calor de fraguado son muy altos (lo que en general resulta muy perjudicial); el conglomerante resulta ser más susceptible a la meteorización (envejecimiento) tras un almacenamiento prolongado, y disminuye sus resistencias a las aguas agresivas. Pero siendo así que las resistencias mecánicas aumentan con la finura, se llega a una situación de compromiso: el cemento Pórtland debe estar finamente molido pero no en exceso.

Para la determinación de la finura del molido existen varios métodos de ensayo, siendo uno de los más conocidos y prácticos, el método mecánico de tamizado, donde se debe tamizar cierta cantidad de cemento por el tamiz N° 200 de la serie americana, para luego expresar la finura del cemento como porcentaje en peso, del residuo que no pasa el tamiz N° 200.

3.5. SUELO-CEMENTO.

3.5.1. Criterio de análisis

El suelo cemento es un material de comportamiento similar a la construcción de los pavimentos semirrígidos.

Se desea mostrar en pruebas de laboratorio el desarrollo de esta técnica para poder ofrecer una comparación entre las cualidades naturales de un material y las de el mismo pero estabilizado, tomando en cuenta que estos materiales no son utilizados en la construcción de pavimentos en su estado natural.

Se ha visto por conveniente el no realizar pruebas índice y granulométricas por considerarlas de baja importancia y que no afectan de manera directa en los resultados obtenidos.

A continuación se enuncian las pruebas realizadas en laboratorio.

Compactación Proctor Modificado (AASHTO T-180/ ASTM 698-91)

C. B. R (ASTM D 1883_ AASHTO T-193).

3.5.2. Descripción de las pruebas de laboratorio

3.5.2.1. Ensayo de compactación (AASHTO T-180/ ASTM 698-91)

El ensayo de proctor se realizó por el método de la norma (AASHTO T-180/ ASTM 698.91) 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 (B) de compactación para representar de manera adecuada las condiciones de compactaciones con maquinaria pesada.

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 le dan a la subrasante es del 95%.

El procedimiento de ensayo consiste en apisonar en 5 capas consecutivas una cantidad aproximadamente de 3.5 kg de suelo previamente tamizada por el tamiz N°4 y dividida por cuarteo en 5 partes aproximadamente iguales. La muestra se humecta y se introduce en un molde metálico de dimensiones normalizadas (941.6 cm^3).

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 25 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” para el ensayo se utilizó los siguientes porcentajes de cemento (1.5%, 3%, 4.5% y 6%).

En las siguientes Figuras se muestra la realización del ensayo compactación para el proyecto en estudio.

Figura. 3.10. Realización del ensayo de compactación suelo-cemento



Fuente: Elaboración Propia

Figura.3.11. Realización del ensayo de compactación suelo-cemento

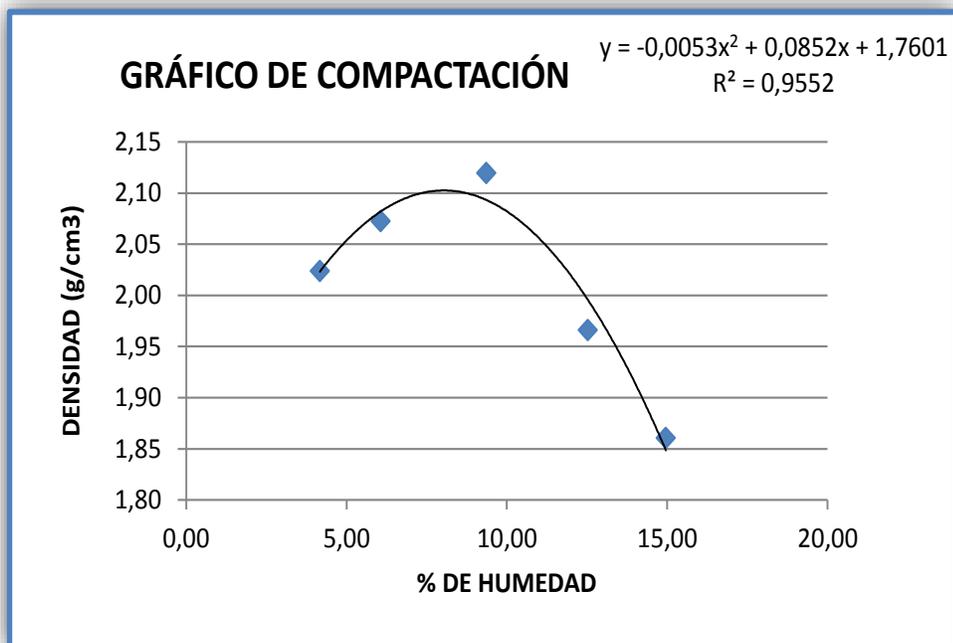
Fuente: Elaboración Propia

Tabla.3.6. Resultados de contenido de humedad suelo-cemento

Zona de estudio M-1	1,50%	3%	4,5%	6%
Densidad máxima (gr/cm ³)	2,10	2,08	2,07	2,06
Humedad Óptima (%)	8,04	8,77	8,50	8,54
Zona de estudio M-2	1,50%	3%	4,5%	6%
Densidad máxima (gr/cm ³)	2,11	2,10	2,09	2,07
Humedad Óptima (%)	8,00	8,73	8,63	8,41
Zona de estudio M-3	1,50%	3%	4,5%	6%
Densidad máxima (gr/cm ³)	2,12	2,11	2,09	2,08
Humedad Óptima (%)	8,94	8,56	8,74	8,38

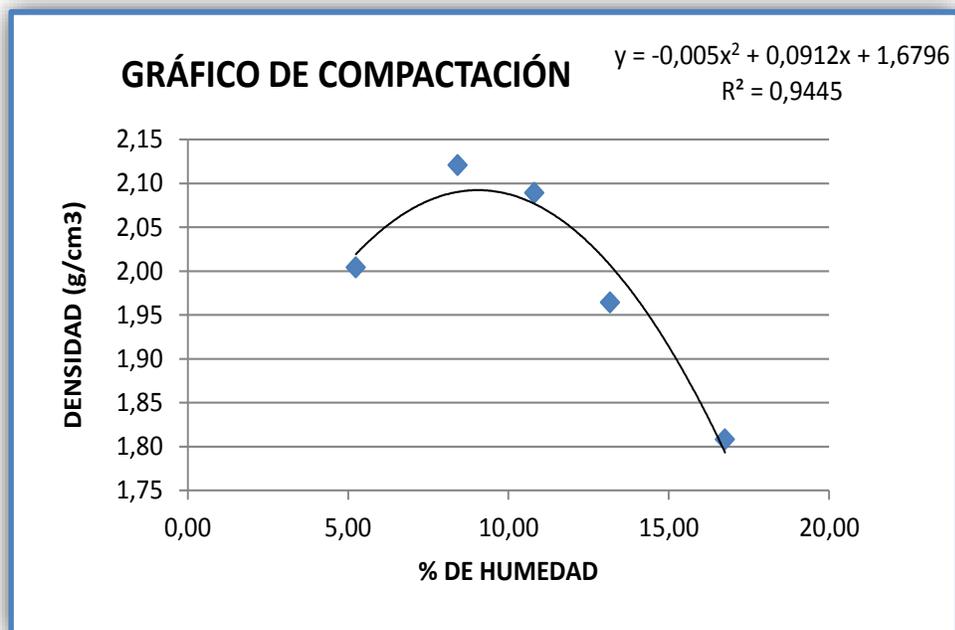
Fuente: Elaboración Propia

Gráfica.3.8. Curva de compactación M-1 al 1.5%



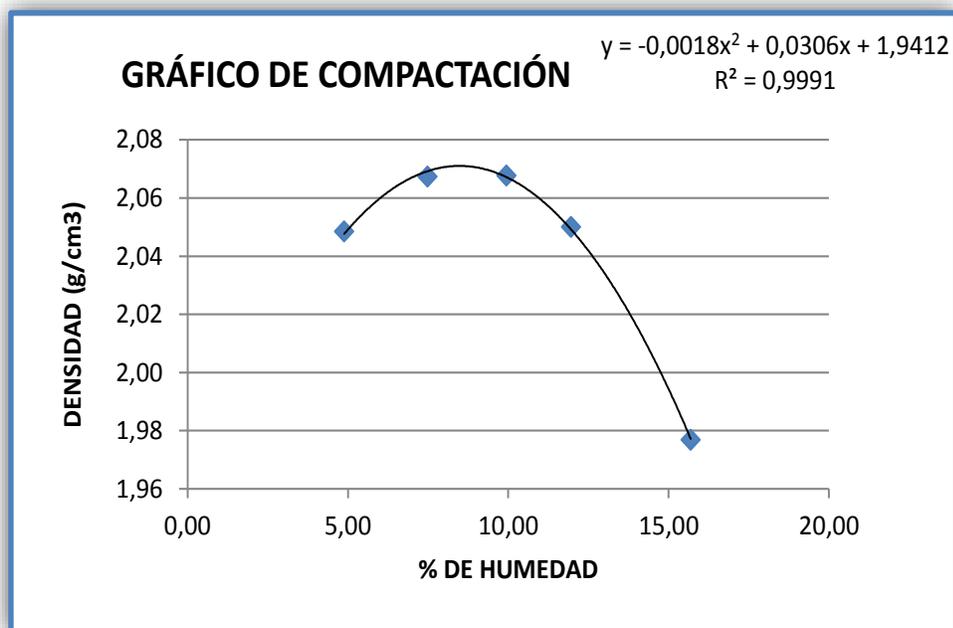
Fuente: Elaboración Propia

Gráfica.3.9. Curva de compactación M-1 al 3%



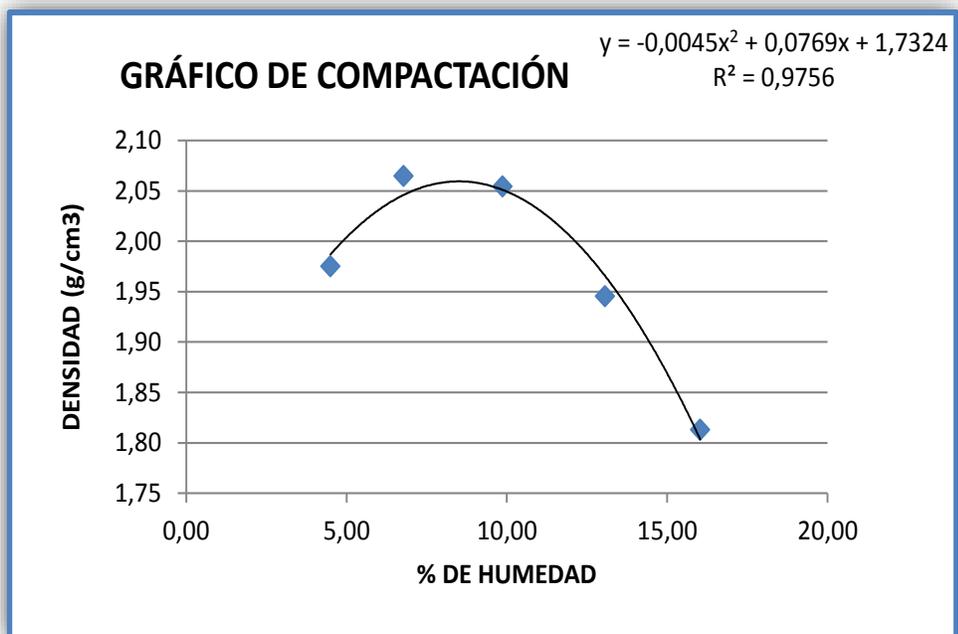
Fuente: Elaboración Propia

Gráfica.3.10. Curva de compactación M-1 al 4.5%



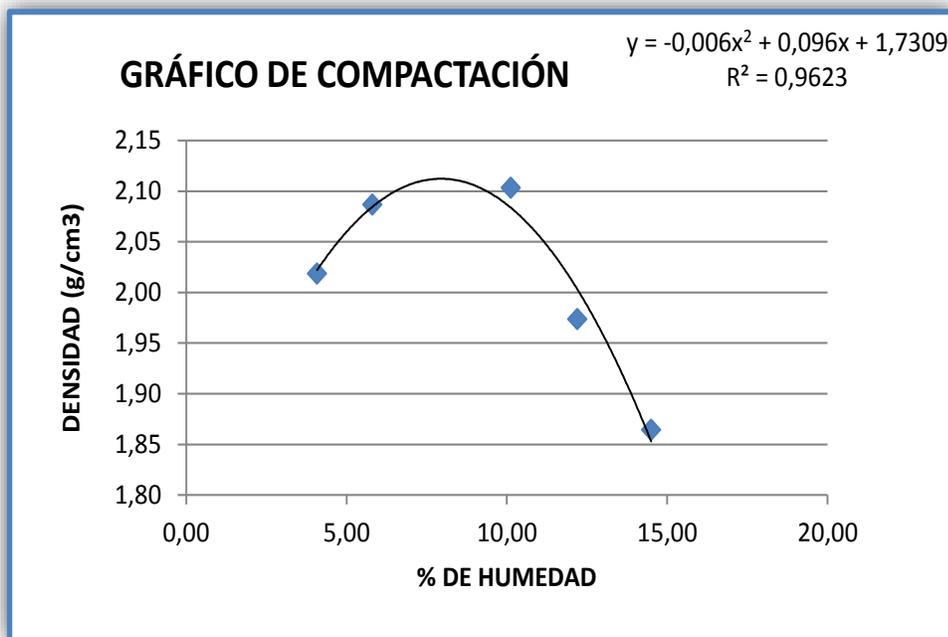
Fuente: Elaboración Propia

Gráfica.3.11. Curva de compactación M-1 al 6%



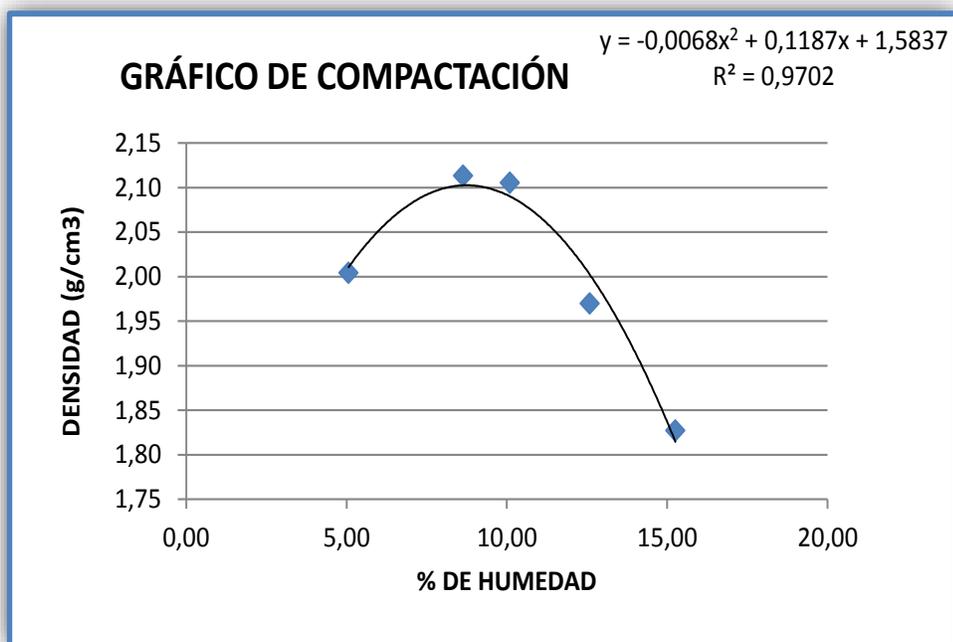
Fuente: Elaboración Propia

Gráfica.3.12. Curva de compactación M-2 al 1.5%



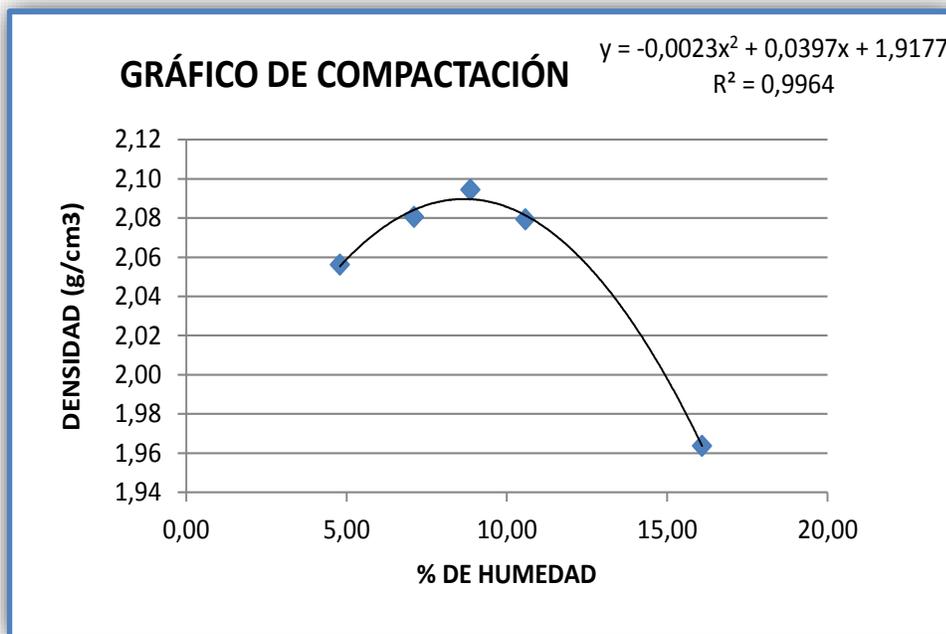
Fuente: Elaboración Propia

Gráfica.3.13. Curva de compactación M-2 al 3%



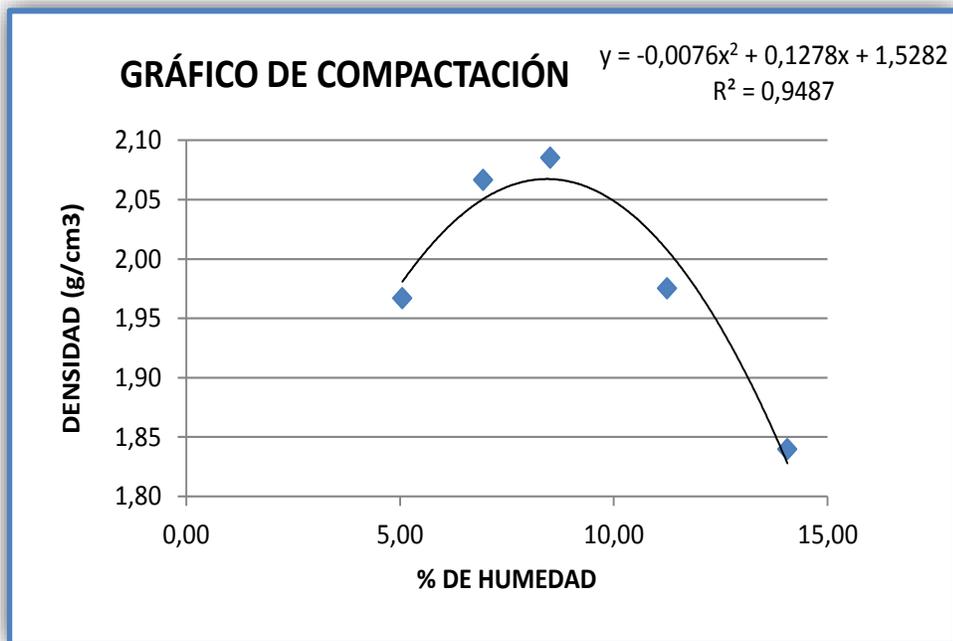
Fuente: Elaboración Propia

Gráfica.3.14. Curva de compactación M-2 al 4.5%

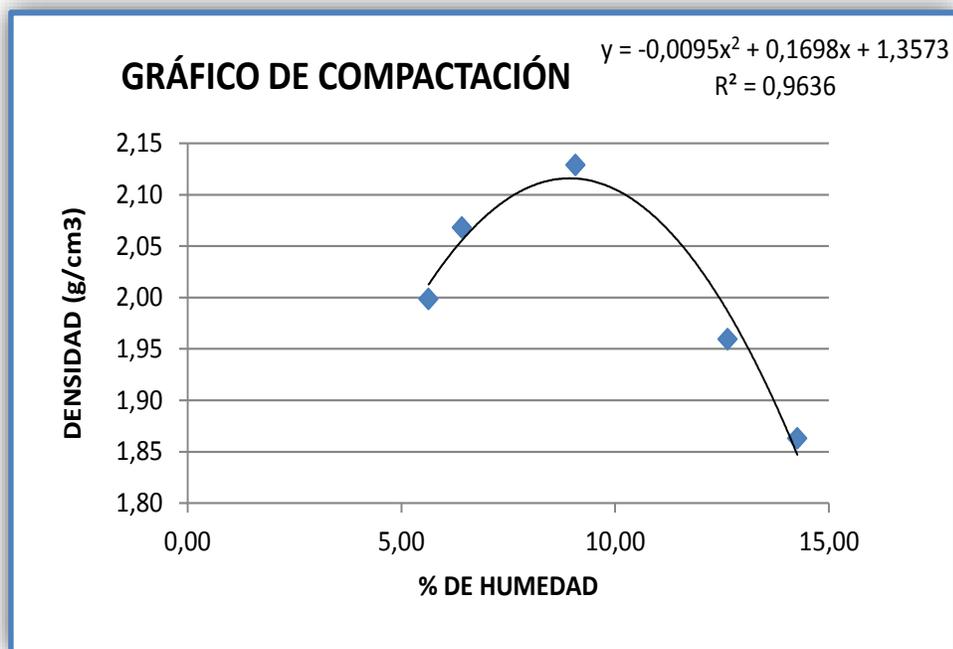


Fuente: Elaboración Propia

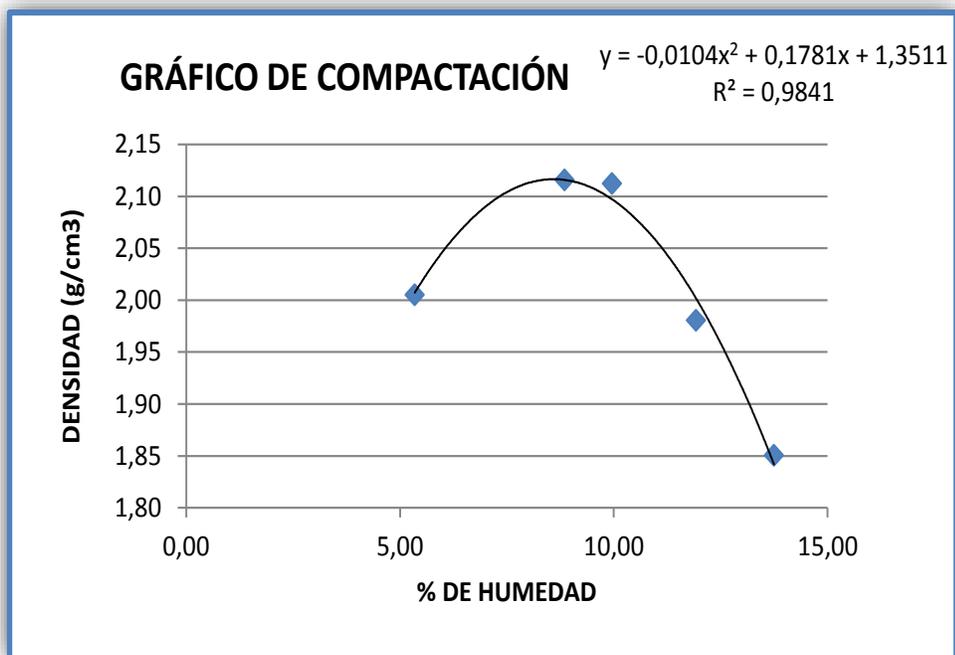
Gráfica.3.15. Curva de compactación M-2 al 6%



Fuente: Elaboración Propia

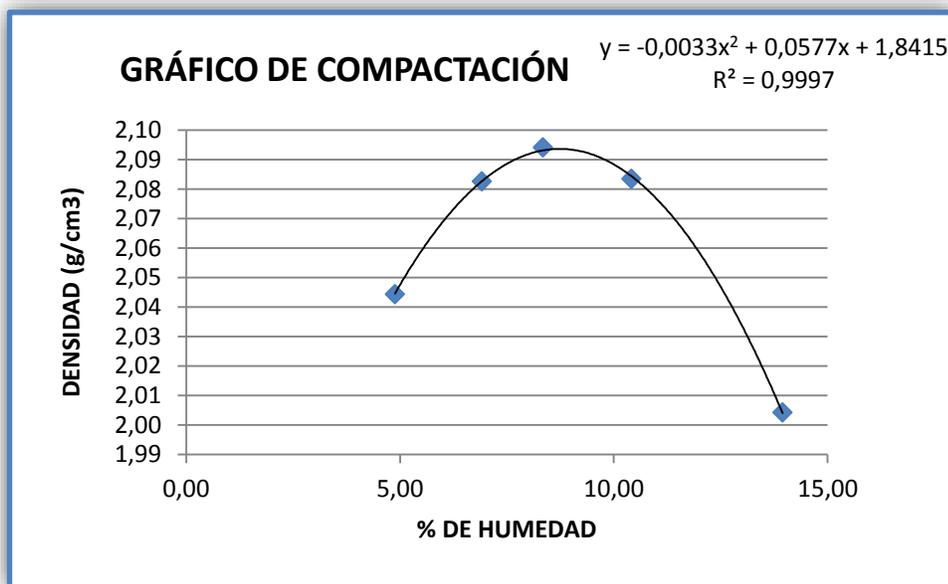
Gráfica.3.16. Curva de compactación M-3 al 1.5%

Fuente: Elaboración Propia

Gráfica.3.17. Curva de compactación M-3 al 3%

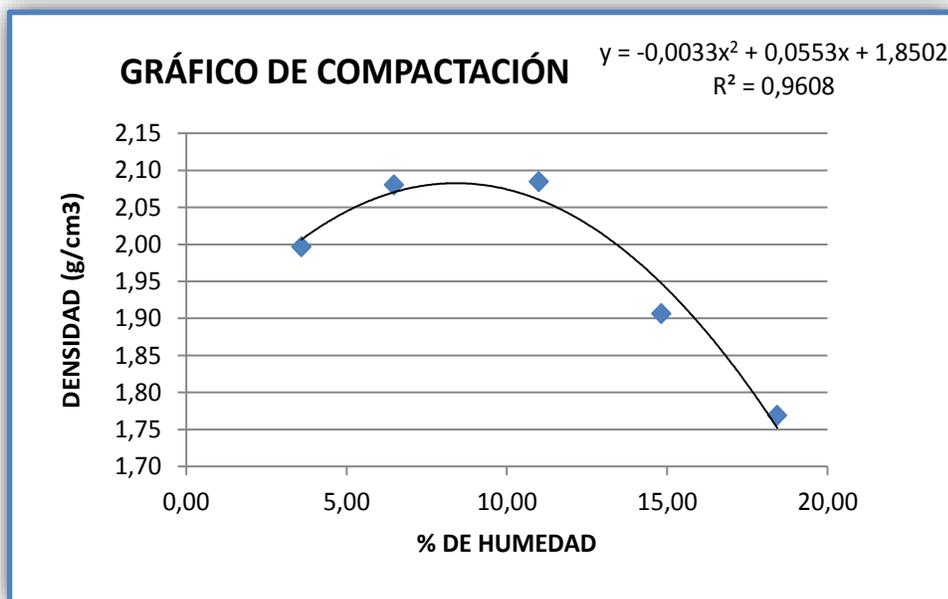
Fuente: Elaboración Propia

Gráfica.3.18. Curva de compactación M-3 al 4.5%



Fuente: Elaboración Propia

Gráfica.3.19. Curva de compactación M-3 al 6%



Fuente: Elaboración Propia

3.5.2.2. Relación de soporte de California CBR (ASTM D 1883_ AASHTO T-193)

El ensayo C.B.R, 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.

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 C.B.R 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. Tres moldes para cada porcentaje de cemento al (1.5%,3%,4.5% y 6%).

Figura.3.12. Proceso de inmersión y penetración del ensayo de CBR suelo cemento



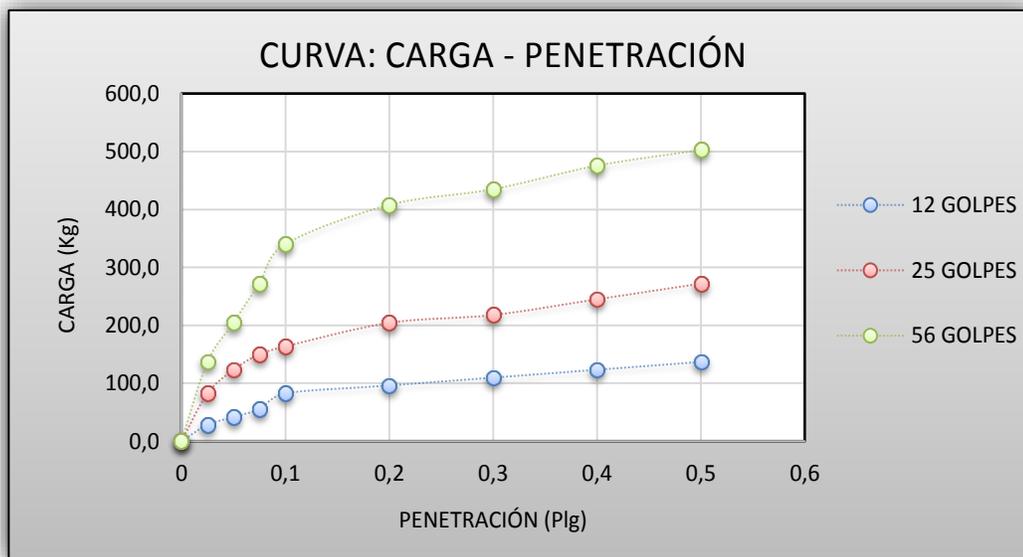
Fuente: Elaboración Propia

Tabla.3.7. Resultados del ensayo de CBR suelo cemento

Zona de estudio M-1	1,50%	3%	4,5%	6%
CBR 95 % de Dmax	28,07	39,19	52,49	69,92
Expansión (%)	1,61	1,53	1,25	0,97
Zona de estudio M-2	1,50%	3%	4,5%	6%
CBR 95 % de Dmax	23,54	39,30	49,81	57,39
Expansión (%)	1,25	1,11	1,11	0,83
Zona de estudio M-3	1,50%	3%	4,5%	6%
CBR 95 % de Dmax	26,99	37,10	51,46	68,60
Expansión (%)	1,53	1,39	1,38	0,83

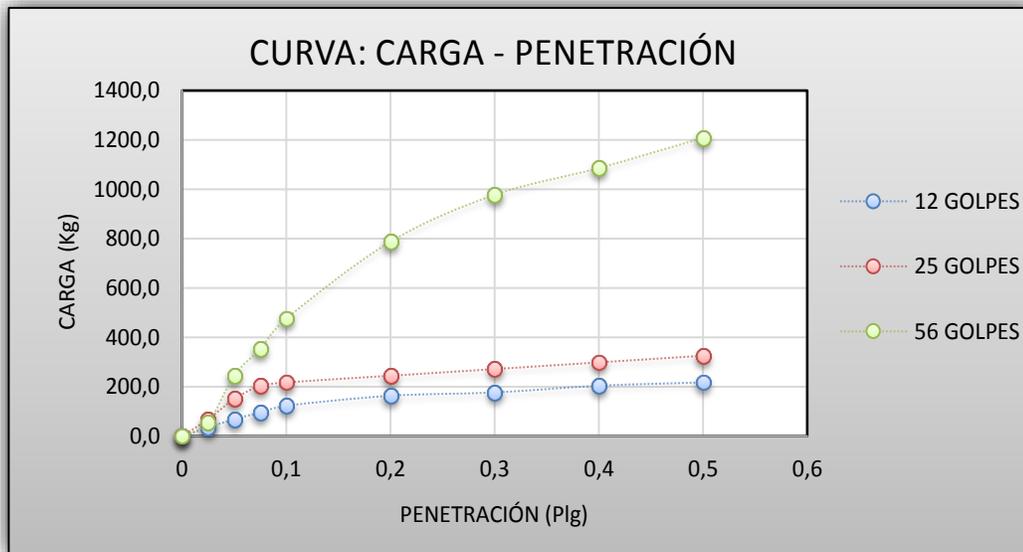
Fuente: Elaboración Propia

Gráfica.3.20. Curva de Carga Vs Penetración de la muestra M-1 al 1.5%



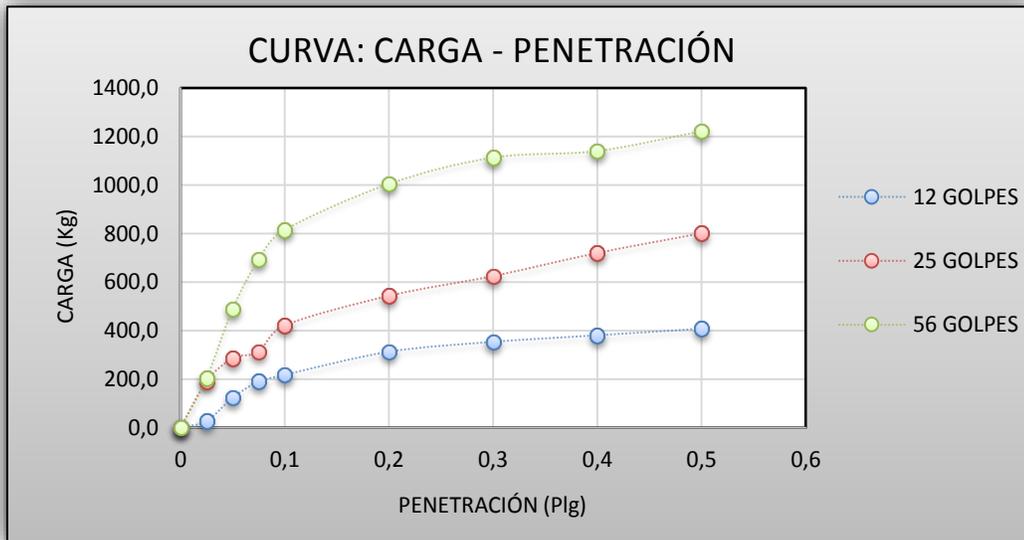
Fuente: Elaboración Propia

Gráfica.3.21. Curva de Carga Vs Penetración de la muestra M-1 al 3%



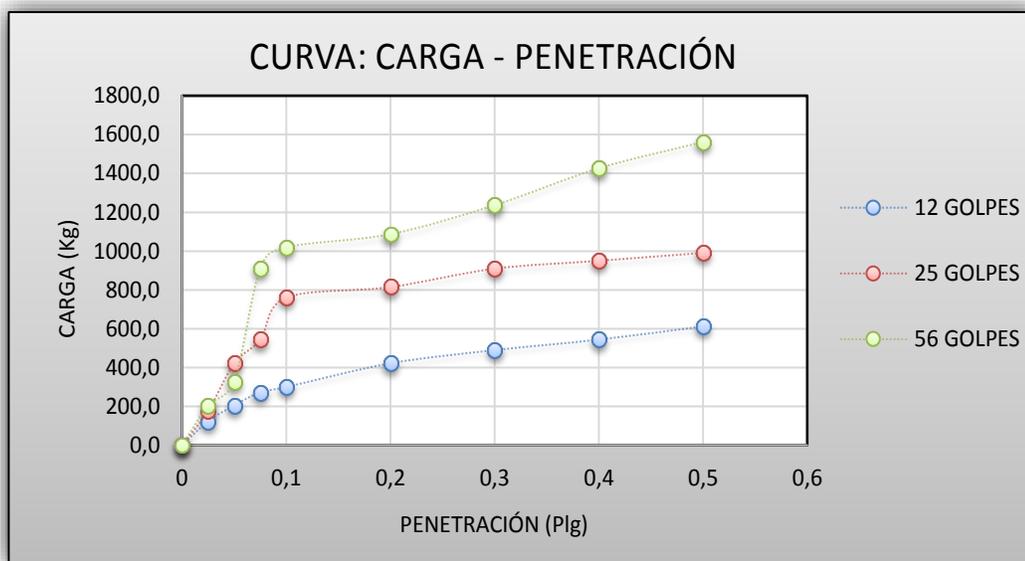
Fuente: Elaboración Propia

Gráfica.3.22. Curva de Carga Vs Penetración de la muestra M-1 al 4.5%



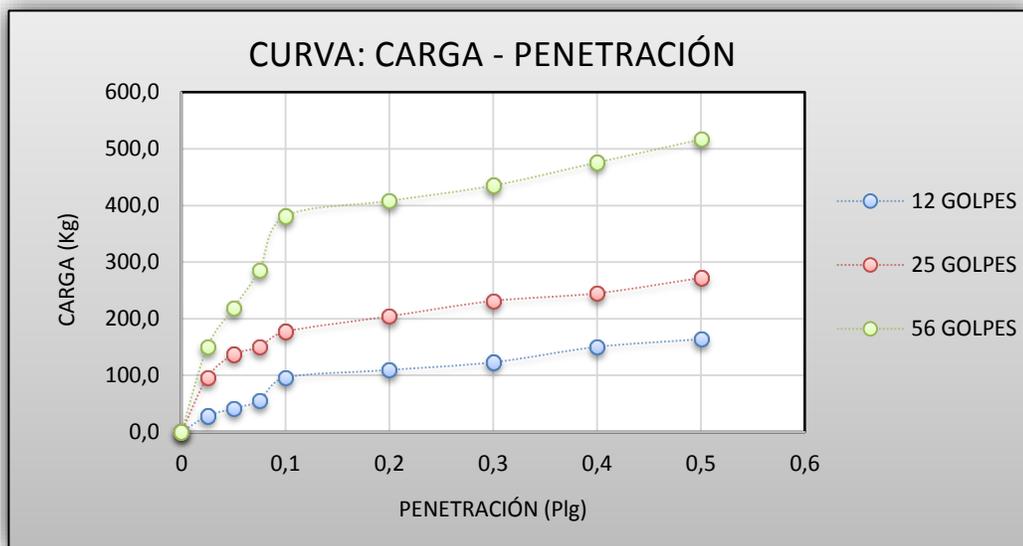
Fuente: Elaboración Propia

Gráfica.3.23. Curva de Carga Vs Penetración de la muestra M-1 al 6%



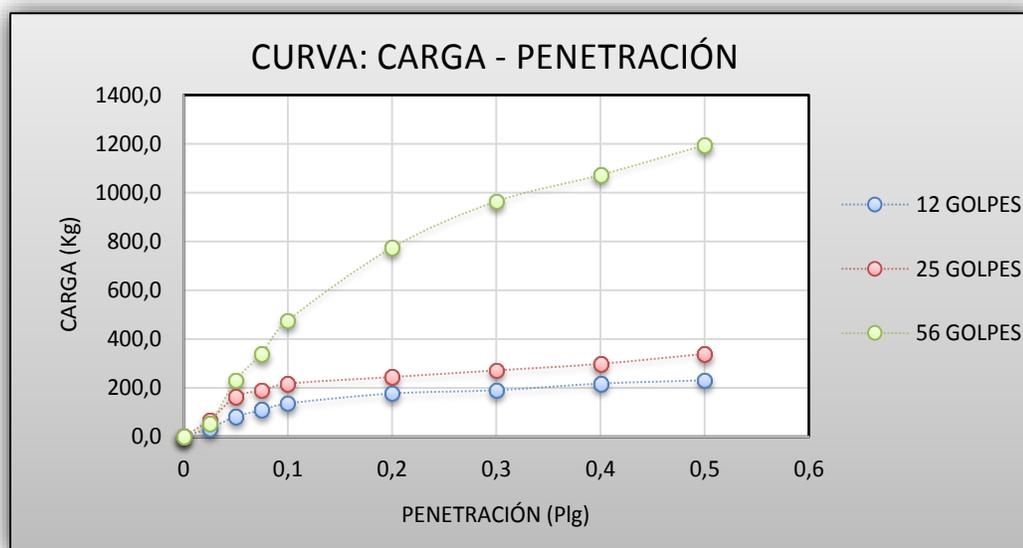
Fuente: Elaboración Propia

Gráfica.3.24. Curva de Carga Vs Penetración de la muestra M-2 al 1.5%



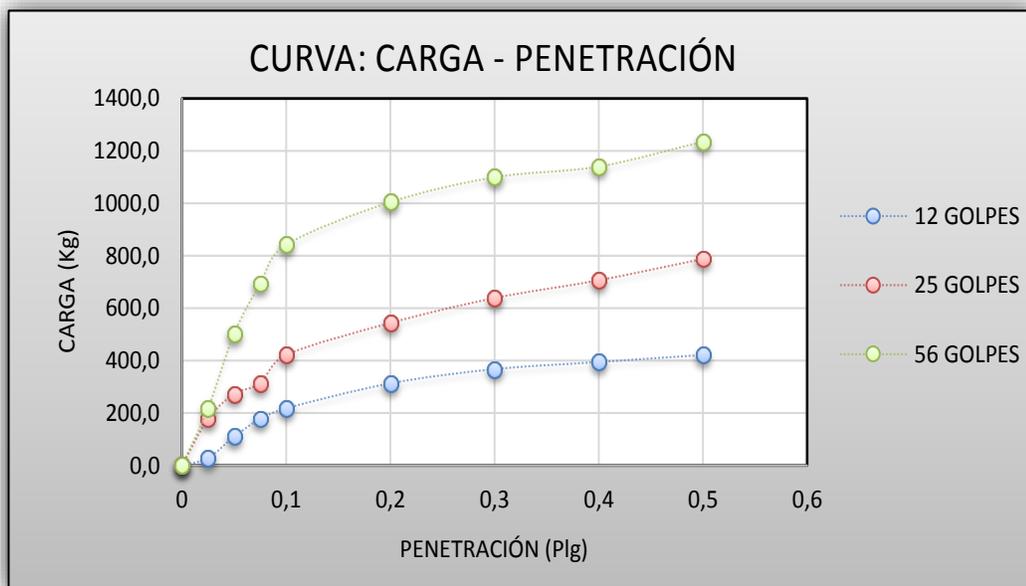
Fuente: Elaboración Propia

Gráfica.3.25. Curva de Carga Vs Penetración de la muestra M-2 al 3%



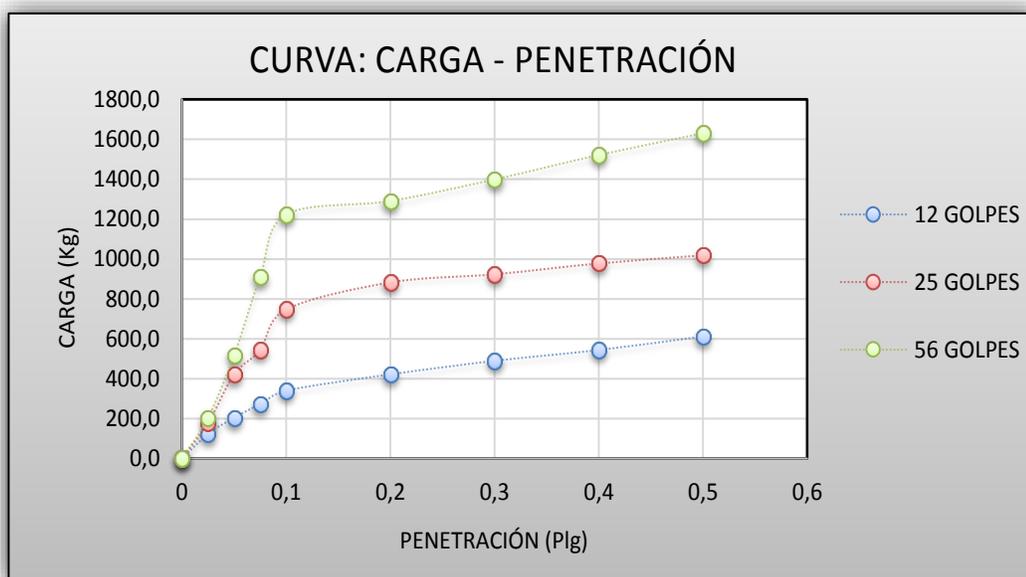
Fuente: Elaboración Propia

Gráfica.3.26. Curva de Carga Vs Penetración de la muestra M-2 al 4.5%



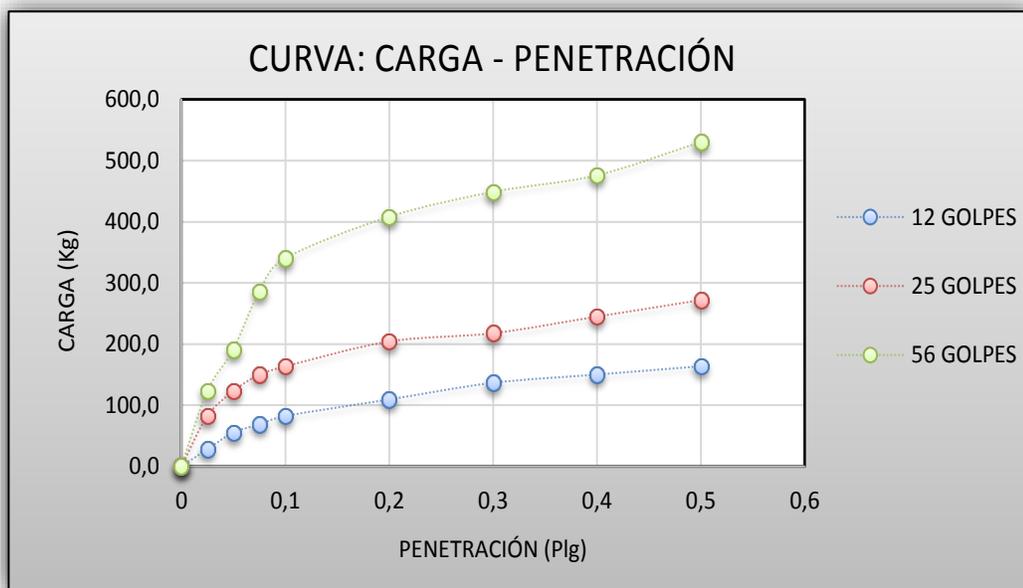
Fuente: Elaboración Propia

Gráfica.3.27. Curva de Carga Vs Penetración de la muestra M-2 al 6%



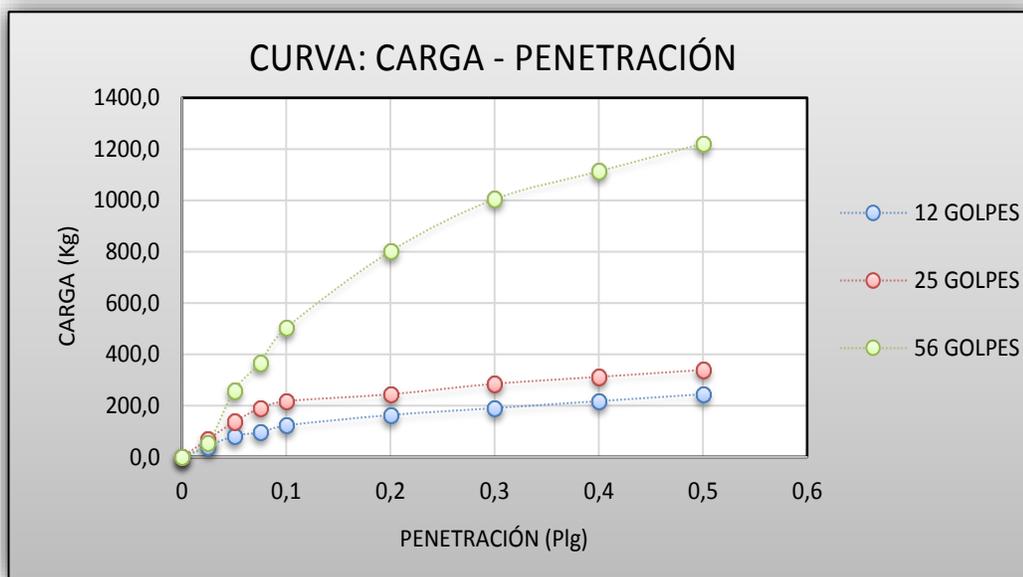
Fuente: Elaboración Propia

Gráfica.3.28 Curva de Carga Vs Penetración de la muestra M-3 al 1.5%



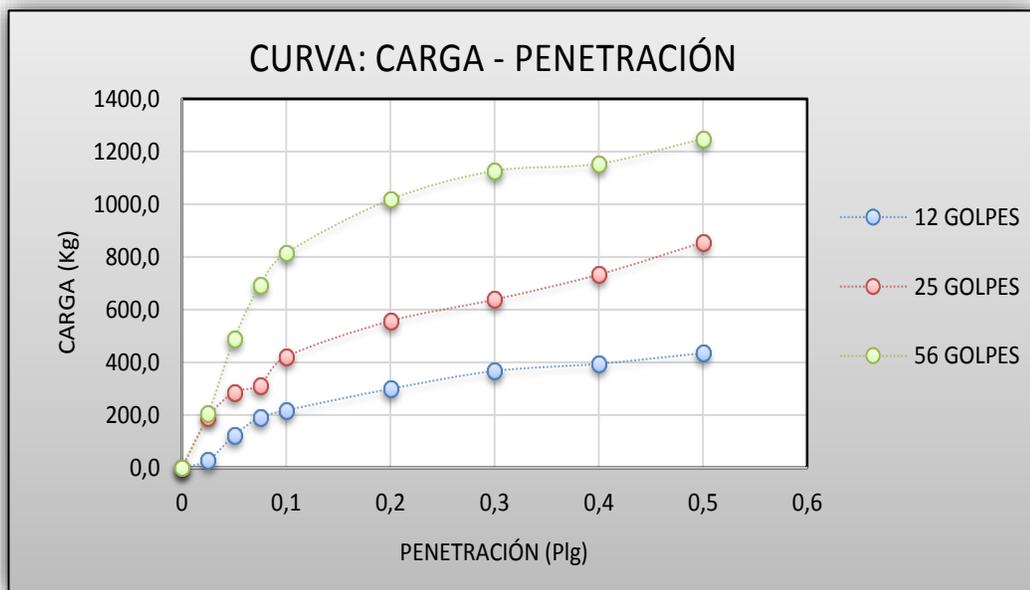
Fuente: Elaboración Propia

Gráfica.3.29. Curva de Carga Vs Penetración de la muestra M-3 al 3%



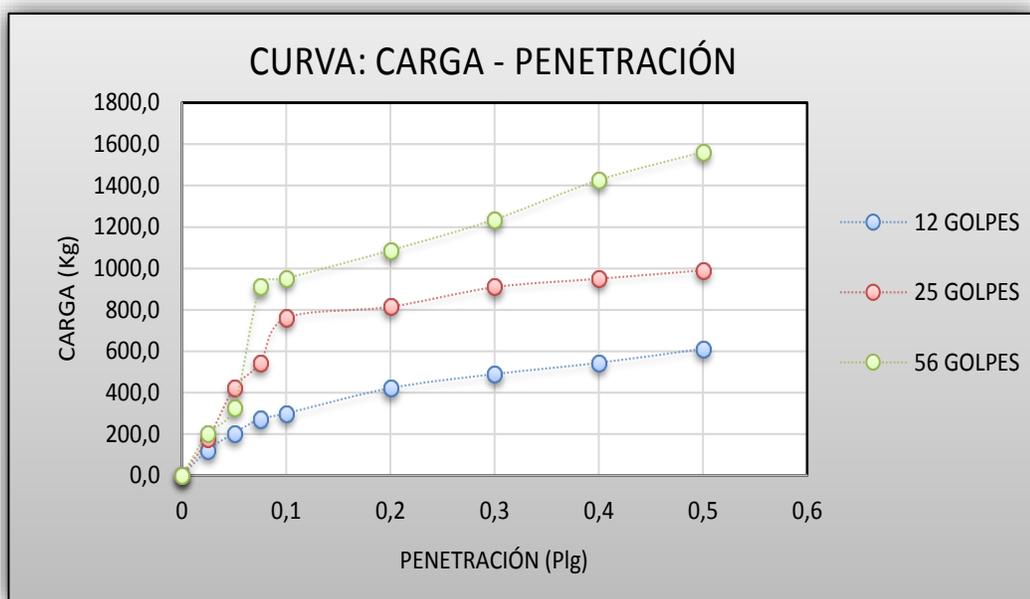
Fuente: Elaboración Propia

Gráfica.3.30. Curva de Carga Vs Penetración de la muestra M-3 al 4.5%



Fuente: Elaboración Propia

Gráfica.3.31. Curva de Carga Vs Penetración de la muestra M-3 al 6%



Fuente: Elaboración Propia

3.6. CONTENIDO ÓPTIMO DE CEMENTO

Para la obtención del contenido óptimo de cemento se trabajó con los porcentajes de cemento planteados que son (1.5%,3%,4.5% y al 6 %) posteriormente con los C.B.R obtenidos se realizó para cada muestra una gráfica para obtener una ecuación de dicha gráfica y obtener el porcentaje óptimo de cemento y un C.B.R no máximo a 40% ya que para una subrasante natural la norma indica no exceder dicho porcentaje máximo.

Tabla.3.8. Resultados de porcentajes de cemento óptimos

Muestras	% de Cemento	% de C.B.R
M-1	2,945	40
M-2	3,478	40
M-3	2,142	40
MEDIA	2,855	40

Fuente: Elaboración Propia

3.7. APLICACIÓN IN SITU CON EL % ÓPTIMO DE CEMENTO OBTENIDO EN LABORATORIO

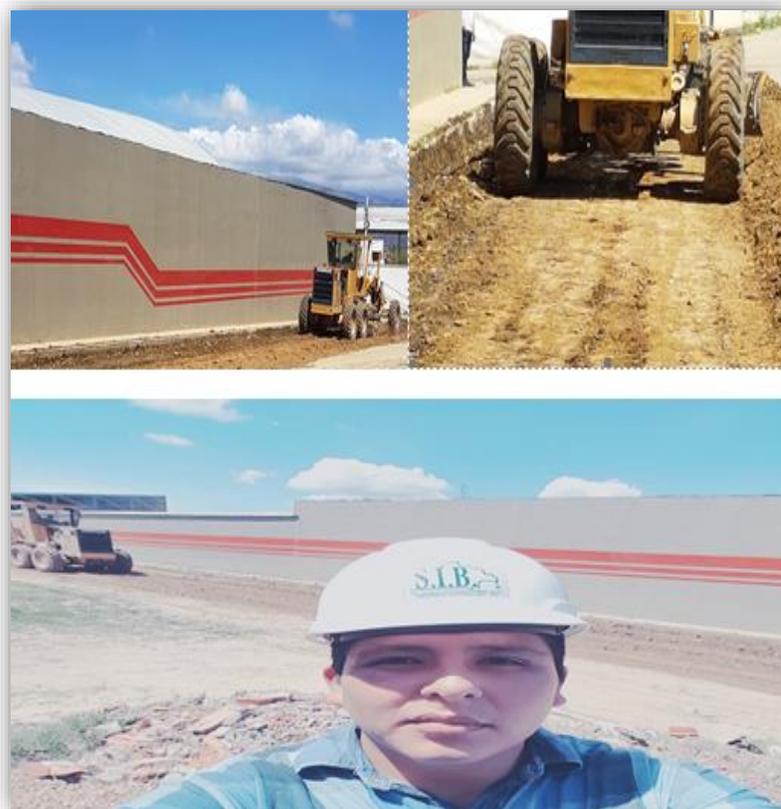
Para la aplicación de dicho trabajo se tuvo que obtener el % óptimo de cemento para así desarrollar el mejoramiento del suelo natural de la calle “Calle Raúl Pacheco del barrio Aeropuerto en la ciudad de Tarija”. Para dicha aplicación aplicamos los siguientes métodos:

3.7.1. Mezclado en el lugar In situ

Procedimos a escarificar y pulverizar el suelo después se vuelve a conformar el suelo ya preparado sobre éste se coloca el cemento al 2.86 % equivalente a 46.335 bolsas de cemento que se lo distribuye equitativamente en una franja de 90m de largo y en un ancho de 3.75m.

A continuación aplicamos el agua al 9% laboratorio equivalente a 7290 litros y realizamos la mezcla con la motoniveladora se controló humedades en campo utilizando el Speedy. La mezcla se entiende y se afina hasta dar el espesor del proyecto para el espesor se tomó la altura de 0.15m. Inmediatamente procedimos a realizar la compactación realizando 4 pasadas con el rodillo vibrando y 2 pasadas sin vibrar en las primeras 4 pasadas controlamos que la densidad máxima obtenida en laboratorio de 2.096 gr/cm³ no sobrepase dicha densidad logrando una compactación al 95% con una densidad IN SITU de 2.07gr/cm³. Después procedimos a realizar un perfilado de la superficie para limpiarlo procediendo posteriormente a realizar el curado.

Figura.3.13. Proceso de escarificación



Fuente: Elaboración Propia

Figura.3.14. Proceso de colocado de bolsas de cemento



Fuente: Elaboración Propia

Figura.3.15. Escarificado de suelo y cemento para su homogenización



Fuente: Elaboración Propia

Figura.3.16. Paso de cisterna de riego y control de humedades



Fuente: Elaboración Propia

Figura.3.17. Compactación y control de densidades



Fuente: Elaboración Propia

Figura.3.18. Curado

Fuente: Elaboración Propia

3.7.2. Mezclado en planta

Ya que en nuestro medio no se cuenta con una planta dosificadora de suelo cemento tuve que utilizar una mezcladora convencional para desarrollar el trabajo, para esto adaptamos una longitud de 10m ya que los 50 metros planteado anteriormente no eran factibles por no contar dicha planta de suelo cemento. El objeto de utilizar una planta es la de tener una mejor homogeneidad de los materiales y evitar la pérdida de cemento por el viento para este tramo de 10m utilizamos 5.148 bolsas de cemento y 810 litros de agua la compactación y curado es de la misma forma que la del método de mezclado en el lugar.

Figura.3.19. Mezcladora convencional con los materiales requeridos

Fuente: Elaboración Propia

Figura.3.20. Colocado para su compactación



Fuente: Elaboración Propia

Figura.3.21. Curado



Fuente: Elaboración Propia

3.8. ANÁLISIS DE RESULTADOS

A continuación se presentan los análisis de los resultados de los ensayos realizados en laboratorio de las distintas muestras extraídas en campo.

Las muestras de suelo utilizadas fueron extraídas del Barrio Aeropuerto de la ciudad de Tarija, Bolivia respectivamente.

Para las muestras procedentes del Barrio Aeropuerto, los ensayos realizados muestran algunas particularidades. El análisis granulométrico (ver Tabla 3.1) indica un alto contenido de material fino, se trata de una muestra de suelo limo arenoso.

Según la clasificación AASHTO nos dio un A-4 respectivamente. También se puede observar que debido a su condición de suelo limo arenoso su porcentaje de CBR es bueno, siendo éste uno de los parámetros que se desea mejorar al estabilizarlo con cemento.

3.8.1. Análisis de los resultados de las propiedades de los suelos tratados con cemento

Después de presentar los resultados de los ensayos realizados a las muestras de suelo sin tratamiento, se presentan ahora los resultados de los ensayos con la adición de cemento los cambios producidos en las muestras al ser mezcladas.

Los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio realizados a las diferentes mezclas que se propusieron para estabilizar las 3 muestras, revelaron datos que muestran comportamientos similares de cada mezcla, conforme se aplicaban diferentes proporciones de cada una de los % cemento.

3.8.2. Análisis de los resultados de la evaluación en campo de los suelos tratados con cemento

3.8.2.1. Análisis de los resultados método mezclado en lugar (IN SITU)

Los resultados obtenidos por este método nos indican que comparando los resultados de laboratorio pudimos llegar a una compactación al 95% con una densidad de campo de 2.06 gr/cm³.

3.8.2.2. Análisis de los resultados método mezclado en planta

Los resultados obtenidos por este método nos indican que comparando los resultados de laboratorio pudimos llegar a una compactación al 95% con una densidad de campo de 2.08 gr/cm³ esto debido a que este método más eficiente en rendimientos.

Tabla.3.9. Resultados de densidades

DENSIDAD EN LAB.	METODO	DENSIDAD EN CAMPO	CONTROL DE DENSIDAD PASADO 39 DIAS
2,096 (gr/cm ³)	MEZCLADO IN SITU	2,06 (gr/cm ³)	2,03 (gr/cm ³)
2,096 (gr/cm ³)	MEZCLADO EN PLANTA	2,08 (gr/cm ³)	2,06 (gr/cm ³)

Fuente: Elaboración Propia

3.9. Costos

La tabla comparativa de costo que se presenta a continuación tiene por objeto evaluar todos los elementos que intervienen en la realización de los trabajos de construcción de los dos métodos empleados en el trabajo de investigación, y de ahí establecer una comparación de costos.

A continuación se muestra el costo de m3 de cada método planteado.

Tabla3.10. Precios unitarios para ambos métodos

HOJA COMPARATIVA DE COSTOS		
METODO	% DE CEMENTO	PRECIO UNITARIO POR (m3) EN Bs.
MEZCLADO IN SITU	2,86	91,10
MEZCLADO EN PLANTA	2,86	109,79

Fuente: Elaboración Propia

Ver planillas de precios unitarios en ANEXO VI.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES

Las estabilizaciones con cemento, aplicadas con la finalidad de obtener mejoras en los suelos con los cuales se realiza esta técnica de estabilización en la construcción de carreteras, nos permitió realizar el estudio basándonos en investigaciones efectuadas por diferentes autores, hasta la elaboración de ensayos en los laboratorios y la demostración In Situ y así poder verter las siguientes conclusiones.

- La Estabilización de Suelos con Cemento ha evolucionado tanto desde su concepción, que en la actualidad podemos contar con máquinas estabilizadoras que mejoran los rendimientos.
- El tema sugiere que se mantenga los suelos de los cortes y de las fundaciones, evitando así la explotación de los yacimientos, graveras y materiales de ríos adyacentes a la obra, mitigando así un tanto el impacto ambiental.
- Los ensayos de caracterización de los suelos, estuvieron orientados para realizar una adecuada clasificación de los materiales y así poder establecer los porcentajes de cemento a utilizar.
- El C.B.R. de cada muestra de suelo natural fue menor en comparación a los C.B.R. de suelo-cemento, donde el cemento tiene una mayor influencia sobre las muestras ensayadas aumentando el valor en gran cantidad en pequeñas variaciones de porcentaje de cemento, pues se logró subir sus valores en un 333.33% con respecto al suelo natural.
- Con un porcentaje óptimo encontrado de 2.86% de cemento mejoramos la capacidad portante del suelo natural, alcanzando su valor máximo de aceptación del 40% de C.B.R. para el mejoramiento de subrasantes según el manual técnico de carreteras ABC.
- Realizamos ensayos de control del tramo aplicando el control de densidades del tramo estabilizado con cemento, como podemos observar en el cuadro de

densidades los valores obtenidos en campo son aceptables comparados a los obtenidos en los ensayos de laboratorio.

Tabla.4.1.Resultados de densidades

DENSIDAD EN LAB.	METODO	DENSIDAD EN CAMPO	CONTROL DE DENSIDAD PASADO 39 DIAS
2,096 (gr/cm3)	MEZCLADO IN SITU	2,06 (gr/cm3)	2,03 (gr/cm3)
2,096 (gr/cm3)	MEZCLADO EN PLANTA	2,08 (gr/cm3)	2,06 (gr/cm3)

Fuente: Elaboración propia

- La subrasante de suelo natural estabilizada con cemento aplicando el método mezclado en planta tiene un costo por m³ de Bs.109, 79.
- La subrasante de suelo natural estabilizada con cemento aplicando el método mezclado IN SITU tiene un costo por m³ de Bs.91, 10.
- Realizando una comparación de costos económicos de ejecución se llegó a la conclusión que el método mezclado en planta representa un costo mayor al método mezclado IN SITU.
- El método mezclado IN SITU representa mayor factibilidad de ejecución en obra ya que no necesita de gran maquinaria para su ejecución, a diferencia del método mezclado en planta el tiempo de ejecución en obra sería mayor por la utilización de una mezcladora convencional considerando que en el medio no contamos con una planta de suelo-cemento.
- Para realizar los ensayos físico mecánicos de dicho proyecto de investigación se necesita un laboratorio medianamente equipado.

4.2. RECOMENDACIONES

Podemos aseverar con firmeza que en la región a pesar del adelanto tecnológico, no contamos, con una entidad que se dedique y cuente con el apoyo para llevar a cabo estudios profundos sobre lo que significa la estabilización de suelos con cemento.

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

- La estabilización de suelos con cemento debe ser una técnica considerada en cualquier proyecto vial, porque contribuye a la vida útil del mismo y ofrece condiciones de tránsito inmejorables.
- Considerando una tasa elevada de crecimiento de vehículos el método suelo-cemento como alternativa de mejoramiento de la subrasante natural se convierte en una solución inmediata a bajo costo mejorando la capacidad portante de dicho suelo.
- Se recomienda realizar el mejoramiento de subrasantes de suelo natural aplicando la técnica de suelo-cemento ya que representa un ahorro económico significativo en este tipo de vías de bajo presupuesto.
- Se recomienda utilizar el proctor modificado T-180 método (B) para determinar la densidad y la humedad óptima de los suelos debido a que representa de manera más adecuada las condiciones de compactación con maquinaria pesada de la subrasante.
- Por ser una técnica utilizada en muchos países vecinos se debería dar una mayor explicación a todos los estudiantes en proceso de formación y así para que tengan un mayor conocimiento y un mejor desempeño con esta técnica.
- Por ser un tema de interés para los ingenieros y por la constante evolución de esta técnica, se debe establecer una relación de estudio para que los estudiantes puedan tener conocimiento práctico y contar con un refuerzo bibliográfico y así contribuir en su formación. De esta manera se abre la posibilidad de continuar la investigación y establecer una normativa, sobre la base de la experiencia de otros países aplicada a la realidad de la región y así no quedamos estancados ante la evolución de esta técnica.

