

CAPITULO I

DISEÑO TEORICO Y METODOLOGICO

1.1 INTRODUCCION

La estabilización química de suelos es una tecnología de amplia data, que se basa en la aplicación de un producto químico, el cual se mezcla íntima y homogéneamente con el suelo a tratar de acuerdo a especificaciones técnicas propias del producto, el fin de este proyecto de investigación es brindar una alternativa de solución básica para la conservación de nuestra red vial, específicamente en carreteras no pavimentadas. Lo anterior implica a que se plantee soluciones ingenieriles que ayuden a mejorar dichas propiedades, mediante ensayos de laboratorio, aportando con esta investigación la implementación de un producto innovador estabilizante, económico y beneficioso que mejore la optimización de las propiedades físicas y mecánicas; de esta manera se ayudaría a resolver problemas generados en nuestra red vial.

La investigación va enfocada a indagar el estado situacional de la carretera no pavimentada parece estar sometida a un ciclo inexorable de construcción conservación insuficiente o inexistente degradación destrucción reconstrucción y así sucesivamente. El tipo de suelo seleccionado para el estudio; es una base de rodadura usada como afirmado la intención es mejorar algunas de sus características físicas mecánicas a la hora de trabajar con los estabilizantes multienzimático perma zyme y cemento como técnica ya utilizada en diferentes áreas en la aplicación de la ingeniería de pavimentos; estableciendo un análisis comparativo.

Teniendo en cuenta que el mantenimiento de caminos no pavimentados son los que generan mayores costos, estos caminos generalmente se deterioran al poco tiempo después de su mantenimiento, lo cual se traduce en una pesadilla para el usuario y una inversión constante para las entidades encargadas de su mantenimiento.

1.2 ANTECEDENTES

La utilización de elementos tales como el cemento y el multienzemático perma zyme en los procesos de estabilización de suelos granulares son de gran beneficio al momento de realizar obras de construcción razón por la cual se toma a consideración para la presente investigación las aplicaciones e indagaciones que han desarrollado a través de los años varios autores a cerca de los mencionados procesos de estabilización.

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

El multienzemático perma zyme es un producto a base de enzimas el cual se utiliza para estabilizar suelos con cierto porcentaje de fino, obteniendo, una reducción del índice de plasticidad hasta en un 0,23%, expansión en 0,72%, incremento de la densidad seca máxima del proctor modificado hasta en 0,49% y valor de soporte relativo C.B.R en un 9,84%, puesto que las enzimas actúan como catalizadores, debido a que la estructura de sus moléculas contiene partes activas que aceleran el proceso de aglutinamiento.

El cemento usado como estabilizador de suelo se desarrolla especialmente para la construcción de carreteras y presas de tierra. De acuerdo a la primera aplicación de este proceso de estabilización de suelo-cemento en estados unidos en el año 1935, se demostró que el cemento es usado para estabilizar suelo de tipo arenoso y arcilloso causando en estos la disminución de límite líquido, así como también incrementando el índice de plasticidad.

El hecho de aplicar esta técnica implica cambiar la metodología de trabajo, pero no disminuir las exigencias de calidad de los materiales ni del proceso constructivo y del mantenimiento posterior.

1.3 JUSTIFICACION

Cuando se estudia la estabilización en un material granular, se presentan algunos problemas de resistencia y durabilidad, en una muestra que este, sometida a cargas, no solo resulta importante estudiar las relaciones de esfuerzo-deformación existentes, sino que también el cambio de las características físicas y mecánicas de las partículas. En esencia, el cambio de estos materiales es debido a que las capas que conforman la estructura de un pavimento están sometidas a cargas, y prever su comportamiento garantizará la durabilidad del mismo.

Se implementa una parte experimental, con el fin de poder analizar la estabilización realizada con el multienzemático perma zyme y el cemento, observando el comportamiento del material de base granular utilizado en la construcción de la estructura de pavimento. Un propósito fundamental es indagar las propiedades físicas y mecánicas del suelo a trabajar, y los análisis de resultados obtenidos por los ensayos de granulometría, límites de Atterberg, Proctor modificado, capacidad portante C.B.R; los cuales permitan determinar las particularidades de muestras tomadas in-situ, estableciendo patrones y cuadros comparativos en la aplicación de dichos estabilizantes.

La estabilidad puede verse afectada por la rotura de partículas durante la compactación y el servicio. Con estas pruebas o análisis hechos se pretende alcanzar beneficios tanto técnicos como económicos por reducción de tiempo en los procesos constructivos, reutilización de materiales, disminución del impacto ambiental y la formulación de nuevas alternativas de construcción y mejoramiento.

En el aspecto económico: La utilización de estabilizantes en la construcción de vías, permite optimizar al máximo el proceso y la utilización de materiales granulares, al hacer uso de suelos propios de la zona, evita la reducción de los recursos naturales disponibles al disminuir el empleo de suelos de mejor calidad. Haciéndose cada vez más necesaria la utilización de los materiales disponibles en la zona, evitando el transporte de materiales granulares y esto acarrea un costo adicional.

En el aspecto ambiental: En la actualidad existe una problemática con respecto a los estabilizantes que dañan el medio ambiente y por esto se trata de innovar con químicos que no dañen el medio ambiente como el estabilizador perma zyme.

En el aspecto técnico: Resulto muy provechoso realizar esta investigación ya que los materiales a ser analizados son accesibles, y a través de los resultados se demostró la influencia de estos productos en el mejoramiento de sus propiedades de la base granular.

1.4 SITUACION PROBLEMÁTICA

La mala compactación, el tipo y la mala gradación granulométrica del suelo que conforma la rodadura granular de una carretera no pavimentada, causa diferentes fallas en la superficie de rodadura, motivo por lo que se presenta esta investigación en la cual se realizara una comparación entre el uso del aditivo perma zyme y el cemento, para así poder dar una solución técnica y económica al problema de compactación de la base de la carretera no pavimentada que se tiene actualmente en la vía Pampa redonda – Tunal, con lo cual se mejorara la transitabilidad, además de permitir el desarrollo socio económico y mejorar la calidad de vida de los pobladores que se encuentran asentados en las márgenes de la carretera.

La aplicación de estos aditivos permitirá reducir los costos de mantenimiento de la carretera por consiguiente ampliara su periodo de vida útil con la constante reducción de costos operativos de las unidades de transporte terrestre que presentan servicio en esta ruta.

1.4.1 Determinación del problema

¿Cuáles son las ventajas comparativas de las propiedades físico-mecánicas y costo de aplicación con el uso del aditivo perma zyme y el cemento en la estabilización de una rodadura granular de carretera no pavimentada?

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 Objetivo general

- Comparar las propiedades físico-mecánicas del suelo estabilizado con el uso de los aditivos perma zyme y cemento para mejorar la rodadura granular de una carretera no pavimentada Pampa redonda – Tunal.

1.5.2 Objetivos específicos

- Adquirir información sobre estabilizaciones de tipo químico efectuadas, que contribuyan a buen desarrollo del proyecto de investigación.
- Determinar la propiedad física (índice de plasticidad) del suelo estabilizado con el uso de los aditivos perma zyme y cemento de la rodadura granular de la carretera no pavimentada.
- Evaluar las propiedades mecánicas (densidad seca máxima y capacidad de soporte C.B.R) del suelo estabilizado con el uso de los aditivos perma zyme que conforma la rodadura granular de la carretera no pavimentada.
- Establecer una comparación de los resultados obtenidos de la presente investigación al estabilizar un material granular de la rodadura granular de una carretera no pavimentada con el multienzemático perma zyme y el cemento.

1.6 FORMULACION DE LA HIPOTESIS

1.6.1 Hipótesis

La utilización de los productos perma zyme y el cemento como agentes estabilizantes permitirá mejorar las propiedades físico-mecánicas de la rodadura granular de una carretera no pavimentada al ser analizados a partir de ensayos de laboratorio.

1.6.2 Identificación de las variables

1.6.2.1 Variable independiente

Estabilización del suelo con perma zyme y cemento

%de cemento.

Cantidad del multienzemático perma zyme.

1.6.2.2 Variable dependiente

Propiedades físico-mecánicas del material granular.

1.6.3 Conceptualización y operacionalización

Tabla N°1.1: Operacionalización variables independientes.

| Variable | Conceptualización | Dimensión | Indicador | Valor/Acción |
|--|---|------------------------|--|--|
| Cantidad de multienzemático perma zyme | Son moléculas de naturaleza proteica que catalizan reacciones químicas hasta hacerlas instantáneas, son catalizadores altamente específicos | Cantidad de perma zyme | Se tomará medidas de 0 l.; 0,8 l.; 1 l.; 1,5 l.; 2 l.; | Investigación bibliográfica. ensayos de laboratorio. |
| %Cemento portland (IP-30) | El cemento es un material que resulta de la combinación de arcilla molida con materiales calcáreos de polvo, en tanto, una vez que entran en contacto con el agua se solidifica y vuelve duro. Es mayormente empleado a instancias de la construcción, justamente por esa solidez que reviste, como adherente y aglutinante | Cantidad del cemento | Se tomarán porcentajes de 0%; 0,5%; 1%; 2%; 4% | Ensayos de laboratorio. |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°1.2: Operacionalización variable dependiente.

| Variable | Conceptualización | Dimensión | Indicador | Valor/Acción |
|--|---|--------------------------|------------------|--|
| Propiedades físico-mecánicas del material granular | Características físico-mecánicas: las características físico mecánicas que presenta un suelo, suelen referirse al comportamiento de este ante diversos agentes tales como la capacidad de soporte, densidad seca máxima, índice de plasticidad entre otros. | Índice de plasticidad | No exceder el 6% | Límites de atterberg (ASTM D4318 / AASHTO T90-T89). |
| | | Densidad máxima seca | ----- | Compactación (AASHTO T-180 / ASTM D1557) |
| | | Capacidad de soporte CBR | ≥40% | Relación de soporte de California CBR (ASTM D1883 / AASHTO T-193). |

Fuente: Elaboración propia.

1.7 DISEÑO METODOLOGICO

1.7.1 Unidad de estudio, población y muestra.

1.7.1.1 Unidad de estudio

Tabla N°1.3: Unidad de estudio.

| Pregunta de investigación | Objeto de investigación | Unidad de muestreo |
|--|--|---|
| ¿Cuáles son las ventajas comparativas de las propiedades físico mecánicas y costo de aplicación con el uso del aditivo Perma zyme y el cemento en la estabilización de una base de carretera no pavimentada? | Análisis de las propiedades físico-mecánicas del suelo estabilizado. | Ensayos de clasificación de suelo. Ensayos de compactación. Ensayos de CBR. |

Fuente: Elaboración propia.

1.7.1.2 Población

Para el cálculo de la población total tomamos como referencia el número mínimo de exploraciones por un determinado volumen de muestra todos los suelos estabilizados es la población.

En la siguiente investigación, adoptaremos una cantidad disminuida de material granular, que se usara en la conformación de la base de una carretera no pavimentada de una longitud de 3 km como tramo de prueba con el objeto de hallar la población y la cantidad necesaria de ensayos

Longitud= 2000 m

Ancho de vía= 8 m

Espesor de vía= 0,20 m

$$\text{Vol.} = 0.20 * 8 * 2000 = 3200 \text{ m}^3$$

1.7.1.3 Muestra

Las siguientes expresiones son para determinar el tamaño de las muestras para las poblaciones finitas.

$$n = \frac{n_o}{1 + \frac{n_o - 1}{N}} \quad n_o = \left(\frac{Z}{e}\right)^2 pq$$

Donde:

n_o = Tamaño de la muestra en la estimación de la proporción.

n = Tamaño real de la muestra a partir de la población selecta.

N = Número total de los elementos que conforman la población.

Z = Valor estandarizado de la distribución normal estandarizada, en función al grado de confiabilidad al 95% con un nivel de significancia $\alpha = 0,05$, se tiene un test unilateral

$Z_{\alpha} = 1,645$.

e = Error asumido en el cálculo el límite aceptable del error maestro esta dado entre 0.01 y 0.09.

q = Probabilidad de que la población no presenta las características (0.04 para 4%).

p = Probabilidad de que la población presenta las características (0,96 para 96).

Tabla N°1.4: Suelos estabilizados con productos químicos.

| Propiedades y características | Norma ASTM | Norma AASHTO | Frecuencia |
|-------------------------------|------------|--------------|------------|
| Granulometría | C-136 | T-27 | Cada 750 |
| Contenido de humedad | D-2216 | ---- | ----- |
| Límite líquido | D-4318 | T-89 | Cada 750 |
| Límite plástico | D-4318 | T-89 | Cada 750 |
| Proctor modificado | D-1557 | T-180 | Cada 500 |
| C.B.R. | D-1883 | T-193 | Cada 500 |

Fuente: Manual de carreteras de la ABC.

1.7.2 Tamaño de muestra

Entonces la población a investigar viene dada por:

$$\text{Población} = \frac{\text{Area total de estudio}}{\text{frecuencia de estudio}}$$

Límite líquido

$$\text{Población (N)} = \frac{3200}{750} = 4,26; n_o = \left(\frac{1,645}{0,09}\right)^2 0,04 * 0,96 = 12,82; n = \frac{12,82}{1 + \frac{12,82-1}{4,26}} = 3$$

Límite plástico

$$\text{Población (N)} = \frac{3200}{750} = 4,26; n_o = \left(\frac{1,645}{0,09}\right)^2 0,04 * 0,96 = 12,82; n = \frac{12,82}{1 + \frac{12,82-1}{4,26}} = 3$$

Proctor modificado

$$\text{Población (N)} = \frac{3200}{500} = 6,4; n_o = \left(\frac{1,645}{0,09}\right)^2 0,04 * 0,96 = 12,82; n = \frac{12,82}{1 + \frac{12,82-1}{6,4}} = 3$$

C.B.R.

$$\text{Población (N)} = \frac{3200}{750} = 4,26; n_o = \left(\frac{1,645}{0,09}\right)^2 0,04 * 0,96 = 12,82; n = \frac{12,82}{1 + \frac{12,82-1}{4,26}} = 3$$

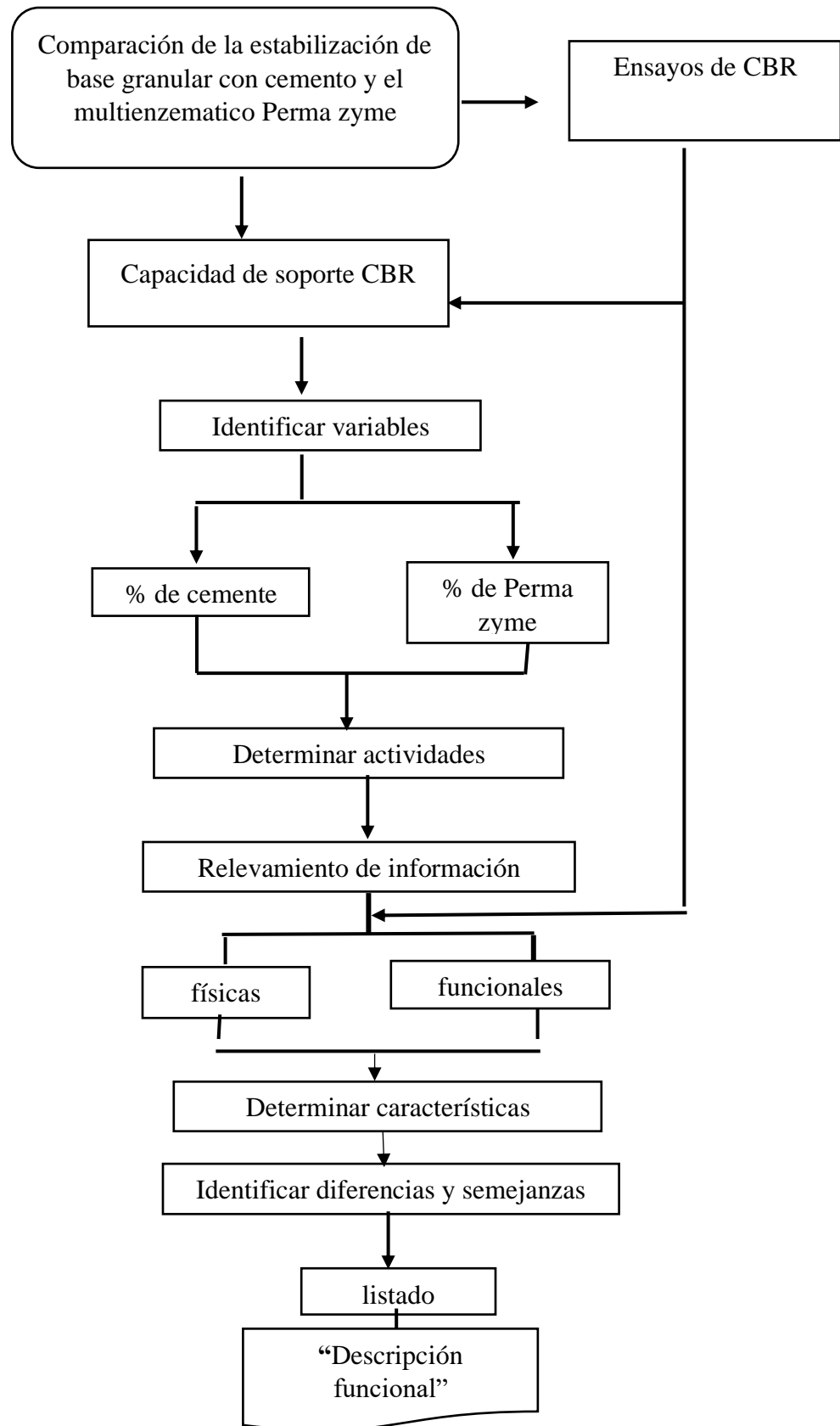
Por lo tanto, la cantidad de prueba en cada ensayo será de la siguiente manera

Tabla N°1.5: Cantidad de ensayos según el método.

| Ensayo | Suelo natural | Suelo-perma zyme | Suelo-cemento | N° total de ensayos |
|-----------------------|---------------|---------------------|---------------|------------------------|
| Granulometría | 3 | - | - | |
| Limite liquido | 3 | 3 | 3 | 9 |
| Limite plástico | 3 | 3 | 3 | 9 |
| Proctor modificado | 3 | 3 | 3 | 9 |
| CBR | 3 | 3 | 3 | 9 |

Fuente: Elaboración propia

1.8 ESQUEMA DE LA PERSPECTIVA USADA



1.9 ALCANCE DE LA INVESTIGACION

La presente investigación se realizará en la ciudad de Tarija además de su respectiva aplicación, para este estudio se utilizará material granular de la comunidad de Pampa redonda, el estabilizador perma zyme se lo obtendrá de una distribuidora internacional y también se utilizará cemento El puente como estabilizadores del material granular utilizado como rodadura.

El trabajo de investigación propone demostrar que el mejoramiento del material granular en estudio con los estabilizantes mencionados, es viable para el uso en rodaduras granulares.

El presente estudio pretende determinar:

Las características físico-mecánicas del suelo en estudio, el cambio en las propiedades del suelo, una vez que se haya realizado la estabilización con cemento y también con perma zyme.

La determinación del porcentaje requerido de estabilizante para lograr un aumento en el CBR. del material.

Hacer un mínimo de tres ensayos de cada prueba para tener mejores resultados y poder obtener el porcentaje requerido para la estabilización de dicho material.

Comparación de las características verificadas de los materiales granulares con las características propuesta por normas técnicas.

Análisis de los resultados obtenidos y comparación de los resultados, técnicamente y económicamente.

CAPITULO II

FUNDAMENTO TEORICO

2.1 ESTABILIZACIÓN DE SUELOS

Llamamos estabilización de un suelo al proceso mediante el cual se someten los suelos naturales a cierta manipulación o tratamiento de modo que podamos aprovechar sus mejores cualidades, obteniéndose un firme estable, capaz de soportar los efectos del tránsito y las condiciones de clima más severas, una de las causas que origina este tipo de tratamiento es encontrar frecuentemente materiales que no cumplen con las especificaciones técnicas requeridas para la construcción de pavimentos, por lo que resultan no adecuados, frente a estas ocurrencias se tiene tres posibilidades de decisión

Aceptar el material, tal como se encuentra, pero tomando riesgos en el resultado que podría ocasionar su utilización.

Eliminar el material insatisfactorio o prescindir de usarlo, sustituyéndole por otro de mejor calidad.

Modificar las propiedades del material existente, para hacerlo capaz de cumplir con las especificaciones y requerimientos necesarios.

En la actualidad se requieren pavimentos que cumplan con el objetivo de su construcción, garantizando la transitabilidad adecuada y por otro lado se tiene el agotamiento de recursos naturales, es por esto que la última alternativa se pretende establecer como una solución para mejorar las propiedades de los suelos.

Los procedimientos a seguir para lograr un mejoramiento de las propiedades físico mecánicas de un suelo son muchos, dependiendo del tipo de suelo y qué propiedades se desea mejorar. Cabe recalcar que la estabilización de suelos no siempre puede resultar ventajosa, es por esto que se debe analizar lo que se logrará al mejorar el suelo, el esfuerzo que se emplee y el dinero a invertir.

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

Este se utiliza para mejorar el suelo produciendo cambios físicos en el mismo. Los métodos que se utilizan son.

2.1.1 Estabilización física

Este tipo de estabilización es de amplio uso, pero por sí sola no logra producir los efectos deseados, necesiéndose siempre de por lo menos la compactación como complemento.

Por ejemplo, los suelos de grano grueso como las grava-arenas tienen una alta fricción interna lo que les hace soportar grandes esfuerzos, pero esta cualidad no hace que sea estable como para ser firme de una carretera ya que al no tener cohesión sus partículas se mueven libremente y con el paso de los vehículos se pueden separar e incluso salirse del camino.

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

Geotextiles.

Vibro flotación (mecánica de suelos).

Consolidación previa.

2.1.2 Estabilización química

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

Cal: Disminuye la plasticidad de los suelos arcillosos y es muy económica.

Cemento portland: Aumenta la resistencia de los suelos y se usa principalmente para arenas o gravas finas.

Productos asfálticos: Es una emulsión muy usada para material triturado sin cohesión.

Cloruro de sodio: Impermeabilizan y disminuyen los polvos en el suelo, principalmente para arcillas y limos.

Cloruro de calcio: Impermeabilizan y disminuyen los polvos en el suelo, principalmente para arcillas y limos.

Escorias de fundición: Este se utiliza comúnmente en carpetas asfálticas para darle mayor resistencia, impermeabilizarla y prolongar su vida útil.

Polímeros: Este se utiliza comúnmente en carpetas asfálticas para darle mayor resistencia, impermeabilizarla y prolongar su vida útil.

Hule de neumáticos: Este se utiliza comúnmente en carpetas asfálticas para darle mayor resistencia, impermeabilizarla y prolongar su vida útil.

2.1.3 Estabilización mecánica

Se define como una técnica de mejora basada en la mezcla de diversos materiales con propiedades complementarias, de manera que se logre un material de mayor calidad y que cumplan las exigencias requeridas. Las propiedades que se pretenden mejorar con este tipo de estabilización son la plasticidad y la granulometría, este tipo de estabilización se realiza con equipo mecánico. Dentro de este tipo de estabilización tenemos a:

Compactación

Se realiza en la subbase, base y en carpetas asfálticas; se debe emplear en todas aquellas obras donde la materia prima es el suelo (base del corte de laderas, terraplenes, canales de agua, suelo de cimentación, rellenos artificiales, diques, terraplenes para vías, etc.). El proceso debe producir lo siguiente:

Aumentar la resistencia al corte para mejorar la estabilidad del suelo.

Disminuir la compresibilidad para reducir los asentamientos.

Disminuir la relación de vacíos para reducir la permeabilidad y así mismo el potencial de expansión, contracción o exposición por congelamiento.

En todo momento se tendrá en cuenta la prueba de compactación Proctor estándar o modificado con energía de compactación, de laboratorio, dado por la fórmula siguiente:

$$E = \frac{N \cdot n \cdot P \cdot h}{V}$$

Donde:

E= Energía de compactación.

N= Numero de golpes por capa.

n= Numero de capas de suelo.

P= Peso del pisón.

h= Altura de caída libre del pisón.

V= Volumen del suelo compactado.

2.1.4 Propiedades del suelo a mejorar

Compactación: Este mejoramiento generalmente se hace en la subbase, base y en las carpetas asfálticas.

Entre las principales propiedades de un suelo que pueden ser de interés para su estudio, se pueden contar las siguientes.

Estabilidad volumétrica: Muchos suelos se expanden y se contraen con los cambios de humedad los cuales se pueden presentar en forma rápida o acompañando a las variaciones estacionales. Las presiones de expansión que se desarrollan debido a un incremento en la humedad no se controlan de alguna forma, estas presiones pueden levantar pavimentos, inclinar postes, fracturar muros, romper tubos de drenaje, etc. Por lo cual es de vital importancia detectar a los suelos expansivos, su composición y el tratamiento más adecuado para evitar lo anterior.

Resistencia mecánica: Al estudiar los efectos de una estabilización, se debe tener presente al fin que se busca, ya que, si el suelo estabilizado permanecerá húmedo en las condiciones de trabajo, entonces la determinación de la resistencia bajo estas circunstancias sería la adecuada, sin embargo, si el suelo permanecerá seco y agrietado

probablemente sea más efectivo ejecutar pruebas, con cargas repetidas para estudiar efectos de disgregación y pulverización. Por otro lado, debe tenerse en mente la forma como se va a utilizar el suelo, ya que si se va a emplear tal como se encuentra in situ puede ser más conveniente utilizar pruebas de resistencias in situ que el caso de suelos remoldados en donde las pruebas efectuadas en el laboratorio si puedan servir para estimar los parámetros de resistencia.

Permeabilidad: Se plantea en dos problemas básicos, como lo es el relacionado con la disipación de las presiones de poros y el relacionado con el flujo del agua a través del suelo. El tener presiones de poros excesivas puede originar deslizamientos, y el flujo de agua puede originar arrastres.

Durabilidad: Al igual que con todos los materiales de construcción una condición muy deseable en los suelos estabilizados es la durabilidad, definida como la resistencia a los procesos de intemperización, erosión y abrasión, la durabilidad está relacionada con las capas superficiales de los pavimentos en la formación de baches y/o disgregaciones, erosiones en los taludes y cortes y cambios en la textura de los agregados de las carpetas.

Compresibilidad: Los cambios en volumen o compresibilidad, tiene una importante influencia en las propiedades ingenieriles de los suelos, pues modifica la permeabilidad, se alteran las fuerzas existentes entre las partículas tanto en magnitud como en sentido, lo que tiene una importancia decisiva en la modificación de la resistencia del suelo a el esfuerzo cortante y se provocan desplazamientos.

Se deben tener muy presentes las variaciones que se espera lograr en lo que respecta a las propiedades antes mencionadas. En la estabilización de suelos existen diferentes métodos, que depende del suelo a tratar y del proceso mismo; básicamente existen tres métodos.

2.1.5 Ventajas de los suelos estabilizados

Los tratamientos y estabilización de suelos son una solución muy interesante desde los puntos de vista económico, ambiental y técnico. Se puede trabajar y aprovechar los suelos con problemas geotécnicos y baja capacidad de soporte.

Medioambientales

Desde el punto de vista medioambiental, la estabilización de materiales permite el empleo de residuos, en la construcción de vías, pudiéndolos emplear, en las capas del firme, lo cual implica su valorización y potencia la estructura del pavimento como vertedero de residuos.

El empleo de suelos o materiales disponibles y de la zona evita explotar nuevos yacimientos o canteras y disminuye la necesidad de vertederos.

La eliminación del transporte de los suelos disminuye las emisiones de CO₂ y otros contaminantes y reduce el daño que generan los combustibles y aceites, así como los impactos colaterales (polvo, erosiones y otros) que provoca sobre las carreteras y flora adyacentes.

Es una técnica en frío que consume poca energía. Se disminuyen con ello notablemente la contaminación y las emisiones de vapores nocivos.

Técnicas

Permite el empleo de los suelos de la zona, mejorando sus características hasta el grado deseado.

Proporciona una elevada capacidad de soporte a la vía, disminuyendo las tensiones que llegan a las capas de la subrasante, con lo que aumenta la vida de servicio del mismo.

Asegura la estabilidad de los suelos, tanto por la reducción de su sensibilidad al agua y a la helada, como por el incremento de su resistencia a la erosión.

Económicas

El empleo de los suelos de la zona y la eliminación del transporte de material de lugares más alejados, representa una reducción importante de costo.

La obtención de capas de fundación de mayor calidad permite una economía en las capas del pavimento y en el volumen total de agregados empleados en los mismos.

Se reducen los plazos de ejecución, dado que la estabilización se realiza con equipos de alto rendimiento y que se disminuye el espesor total de las capas del pavimento frente a las alternativas con suelos sin tratar.

La utilización de estabilizantes en la construcción de vías, nos permite optimizar al máximo el proceso y la utilización de materiales granulares, al hacer uso de suelos propios de la zona, evita la reducción de los recursos naturales disponibles al disminuir el empleo de suelos de mejor calidad. Haciéndose cada vez más necesaria la utilización de los materiales disponibles en la zona, evitando el transporte de materiales granulares y esto acarrea un costo adicional.

Reducir la sensibilidad al agua de los suelos, y con ello aumentar su resistencia a la erosión, a la helada, y a otros agentes climáticos.

2.2 ESTABILIZACIÓN SUELO-CEMENTO

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

Al mejorar un material con cemento pórtland se piensa principalmente en aumentar su resistencia, pero además de esto, también se disminuye la plasticidad, es muy importante

para que se logren estos efectos, que el material por mejorar tenga un porcentaje máximo de materia orgánica del 34%.

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

Por lo general, la capa que se estabiliza tiene un espesor de 10 a 15cms. y podrá coronarse con una capa de rodadura de poco espesor (ya sea para tránsito ligero o medio); también podrá servir de apoyo a un pavimento rígido o flexible de alta calidad.

Para la utilización del cemento, lo que tiene verdadera importancia es que el suelo no contenga materias que perjudiquen el fraguado o la resistencia. Interesa también para la economía de la obra limitar el porcentaje de cemento necesario y prever el comportamiento de las arcillas.

En este orden hay que tomar en cuenta las aptitudes intrínsecas del suelo para la estabilización como son la granulometría, lo que implica que los suelos a mejorarse no deben contener piedras de tamaño superior a 60mm (es decir, que el porcentaje que pasa por el tamiz #200 sea menor del 50%); y la plasticidad, lo que determinará la calidad de las arcillas, estableciendo un límite líquido menor de 50% (<40%) y un Índice de plasticidad menor de 25% (<18%).

El éxito de la estabilización con cemento depende de tres factores:

Contenido apropiado de cemento.

Contenido apropiado de humedad.

Adecuada compactación.

Por estos las mezclas deben ser sometidas a diversos ensayos como son el de compactación, durabilidad y compresión que aparte de su objeto específico servirán para dosificar el cemento que se empleará en la mezcla.

La dosificación de cemento para suelo cemento puede fijarse aproximadamente en función del tipo de suelo

Tabla N°2.1: Rango de cemento requerido en estabilización suelo-cemento.

| Clasificación de suelos AASHTO | Rango usual de cemento requerido, porcentaje de peso de los suelos |
|-----------------------------------|---|
| A-1-a | 3-5 |
| A-1-b | 5-8 |
| A-2 | 5-9 |
| A-3 | 7-11 |
| A-4 | 7-12 |
| A-5 | 8-13 |
| A-6 | 9-15 |
| A-7 | 10-16 |

Fuente: Federal Highway Administration (FHWA).

2.2.1 Aplicaciones del suelo-cemento

Según el material a estabilizar: Teniendo en cuenta las propiedades del suelo que se puede mejorar con la adición de cemento, se puede aplicar en diferentes tipos de vías, su uso permite una gran flexibilidad, principalmente se ha aprovechado suelo-cemento para la construcción de bases y sub bases de carreteras, cimentaciones, muros, aeropuertos, áreas de almacenamiento, protecciones de presas y protecciones contra la erosión de corrientes de agua.

Algunas de las principales aplicaciones del cemento en suelos son:

Suelos modificados: Son suelos tratados in-situ con una cantidad relativamente baja de cemento, con el fin primordial de reducir su plasticidad, la permeabilidad, los cambios de volumen e incrementar su capacidad de soporte. El grado de modificación y mejora en las propiedades depende del tipo de suelo y de la cantidad de suelo empleado.

Gravas cemento: Se trata de una mezcla de agregados pétreos naturales o artificiales de granulometría continua y reducida cantidad de finos, cemento portland y agua. Se utiliza en bases de pavimentos rígidos y en pavimentos asfálticos, sujetos a tránsito medio o pesado, la mezcla se endurece después de ser compactada y curada, para formar un material de pavimento durable.

Suelo-cemento: El suelo cemento es una mezcla íntima de suelo pulverizado, cemento portland y agua que, compactada a determinada humedad óptima y densidad máxima, produce un material durable, con la resistencia mecánica apropiada para la conformación de capas de base para pavimentos urbanos, carreteras y aeropuertos. Cuando el tránsito no es de importancia puede hacer las veces de capa de rodadura con gran economía.

Según la estructura a ejecutar

El suelo-cemento se puede utilizar en diferentes tipos de estructura a ejecutar, entre las cuales se puede detallar.

Bases de pavimentos.

Protección de taludes.

Recubrimientos donde se requiera baja permeabilidad.

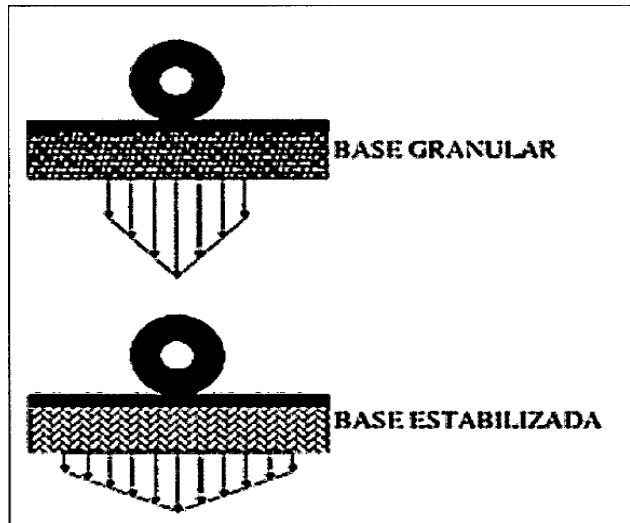
Estabilización de cimientos.

En todos los casos podemos decir que el suelo-cemento es una mezcla íntima de suelo, cemento portland y agua.

2.2.2 Material granular estabilizado con cemento

Con el empleo de materiales granulares estabilizados con cemento para bases de pavimentos de carreteras no pavimentadas, se logra una mejor distribución de cargas, es decir, la carga se distribuye en mayor área, generando que el espesor de las capas de la estructura del pavimento se reduzca. En la figura 2.1, se observa la distribución de cargas, en base de material granular sin estabilizar y estabilizadas.

Figura N°2.1: Distribución de esfuerzos en bases granulares sin estabilizar y estabilizada.



Fuente: Elaboración propia

2.2.3 Proceso de estabilización con cemento

La reacción química entre el cemento y los suelos granulares, no plásticos, es menos compleja que con los suelos finos y plásticos.

El cemento que se incorpora al suelo actúa según dos procesos que se describen a continuación, y son:

Fijación de los iones cálcicos por el suelo. Este primer proceso modifica las propiedades del suelo (LP), los silicatos cálcicos hidratados tomando a la solución del agua en alcalina (ph desde más de 7 hasta aproximadamente 12) con abundancia de calcio que es tomado por el suelo a modificar sus cargas superficiales variando de manera sus condiciones de plasticidad.

Cementación de las partículas. Modificadas las propiedades de plasticidad del material habiendo sido absorbidos los iones de calcio por el suelo, comienza un segundo proceso en el cual el cemento actúa sobre el suelo adhiriendo sus partículas dando lugar a una cementación casi irreversible que origina una cohesión por cementación que aumenta la resistencia del producto resultante. Ocurre como una modificación íntima en el material de cada partícula que las une unas a otras.

2.2.4 Cemento portland tipo I (IP-30)

El tipo del cemento a utilizar puede ser cualquier tipo, sin embargo está en función al contenido de adiciones activas (escorias de hornos, puzolanas naturales y cenizas volantes), se trata de cementos con inicio y final de fraguado suficientemente largos (mayor plazo de trabajabilidad), moderado calor de hidratación (limitada fisuración por retracción) y desarrollo inicial de resistencia lento o que mejoran a largo plazo, en general se deben utilizar cementos de resistencia media o baja, reservando los tipos de cemento superiores para situaciones especiales como la utilización en zonas de clima frío, si la capa estabilizada se tiene que disponer sobre terrenos yesíferos o que contengan sulfatos, es conveniente aislarla o utilizar cementos resistentes a los sulfatos.

Se recomienda que el cemento utilizado en estabilización de suelos será del tipo portland que cumpla con la norma AASHTO M 85-12 o la norma ASTM C 150-12, por tal se usara el cemento portland tipo I (IP-30), que es de uso general en la construcción, para emplearse en obras que no requieran propiedades especiales.

2.3 ESTABILIZADOR DE SUELOS PERMA ZYME

Es una mezcla de enzimas orgánicas que cataliza una acción aglutinante sobre las partículas plásticas que se encuentran en la mayoría de los caminos que presentan inestabilidad, logrando con esto formar una base de un proyecto vial con mayor capacidad de carga, prácticamente impermeable y que al permitir utilizar los materiales tal como se encuentran o con un mínimo de mejoramiento, se evitan altos costos de extracción, carga y acarreo de materiales de banco. La experiencia de empresas a lo largo de todos estos años nos permite asegurar que es posible llevar a cabo un programa muy económico de rehabilitación de estos caminos y vialidades, mediante la recuperación de los materiales existentes, utilizando la tecnología de estabilización de los mismos con el uso de nuestro producto multienzimático perma zyme con las siguientes ventajas:

Disminución de los costos que significa la extracción, carga y acarreo de materiales de banco, los cuales en la mayoría de las ocasiones representan más del 60% del costo de reconstrucción.

Mayor nivel de servicio y vida útil de las terracerías lo que representa un menor o a veces nulo mantenimiento.

Garantía de tránsito en todo tiempo y bajo cualquier condición de clima.

Su acción incrementa sensiblemente la capacidad de carga de las terracerías, por lo que serán una mejor base para un proyecto vial y que además permitiría disminuir los espesores de las capas subsiguientes; pero en el caso de que el perfil geométrico de diseño no lo permitiera, siempre será una gran ventaja el garantizar que las terracerías no se destruirán por causa del tránsito, durante el proceso de construcción.

En muchas ocasiones después de haber sido estabilizadas las terracerías, un simple riego de sello o cuando mucho un doble tratamiento, son suficientes como superficie de rodamiento, aún en caminos de tránsito pesado.

Perma zyme como estabilizador actúa directamente sobre las partículas finas que pasan la malla 200, sobre todo si estas son arcillas, las enzimas actuarán sobre el carácter iónico que estas partículas plásticas tienen, provocando una acción altamente eficiente de cementación y aglutinamiento de los materiales granulares también presentes, formando una capa prácticamente impermeable y con mayor capacidad de carga.

Perma zyme es un producto orgánico de bajo costo elaborado con múltiples enzimas de materiales orgánicos fermentados utilizados para estabilizar los materiales granulares empleados en carreteras afirmadas, subbases, bases y/o subrasantes utilizando en métodos tradicionales de construcción. Cumple con las especificaciones técnicas del proyecto y mejora los procesos de homogenización, compactación, impermeabilización, así mismo, incrementa la resistencia al esfuerzo de carga C.B.R.

Perma zyme permite ahorros de 20% a 30% cuando se le usa como estabilizador de bases de carreteras de concreto o asfalto. En un período de 5 años, vías sin pavimentar tratadas con perma zyme, han logrado ahorros adicionales en sus costos de mantenimiento y reparación. Se emplea para base de autopistas y carreteras de concreto o asfalto, carreteras secundarias, vecinales, rehabilitaciones, pozos de relave, no peligroso – no tóxico – ecológico.

2.4 COMPARACIÓN ENTRE ESTABILIZANTES

Tabla N°2.2: Comparación de estabilizantes.

| Cemento | Perma zyme |
|---|--|
| Material en polvo. | Producto líquido. |
| Los porcentajes y proporciones se utiliza en peso. | Los porcentajes y proporciones se utilizan en volumen. |
| Fácil de conseguir en nuestro medio | Difícil conseguir en nuestro medio |
| No se necesita el uso de mano de obra altamente calificada. | No se necesita el uso de mano de obra calificada. |
| Actúa en cualquier tipo de suelo, pero mejor en suelo granular. | Actúa mejor en suelos con contenido de material fino. |
| Es utilizado en diversas obras de construcción. | Solo es utilizado para estabilización de suelos. |

Fuente: Elaboración propia

2.5 CARRETERAS

Una carretera es una vía de dominio y uso público, proyectada y construida fundamentalmente para la circulación de vehículos terrestres. La carretera se distingue de un camino porque la primera esta especialmente concebida para la circulación de vehículos de transporte. El diseño de una carretera y su respectiva superficie de rodadura responde a una necesidad justificada social y económica, es decir ambos conceptos se correlacionan para establecer las características técnicas y físicas que debe tener la carretera que se proyecta a fin de que los resultados buscados sean óptimos, en beneficio de la comunidad que requiere del servicio, la cual normalmente se encuentra en situación de limitaciones muy estrechas de recursos locales y nacionales. Las carreteras han sido desde siempre el principal medio de desplazamiento de viajeros, y la vía principal para la distribución de mercancías al conectar los pueblos y comunidades con las grandes ciudades, y al fortalecer la integración de los países. Actualmente, ante un mundo cada vez más integrado, que intercambia más bienes y servicios, la importancia de las carreteras se ha incrementado notablemente, convirtiéndose en verdaderas vías que impulsan la competitividad de la economía y, también el desarrollo social.

Clasificación de las carreteras según la ABC

2.5.1 Autopista: Son carreteras nacionales diseñadas desde su concepción original para cumplir con las características y niveles de servicio que se describen a continuación. Normalmente su emplazamiento se sitúa en terrenos rurales donde antes no existían obras viales de alguna consideración, que impongan restricciones a la selección del trazado y pasando a distancias razonablemente alejadas del entorno suburbano que rodea las ciudades o poblados (circunvalaciones).

2.5.2 Autorrutas: Son carreteras nacionales existentes a las que se les ha construido o se le construirá una segunda calzada prácticamente paralela a la vía original. Normalmente se emplazan en corredores a lo largo de los cuales existen extensos tramos con desarrollo urbano, industrial o agrícola intensivo, muy próximo a la faja de la carretera.

2.5.3 Carreteras primarias: Son carreteras nacionales o regionales, con volúmenes de demanda medios a altos, que sirven al tránsito de paso con recorridos de mediana y larga

distancia, pero que sirven también un porcentaje importante de tránsito de corta distancia, en zonas densamente pobladas.

2.5.4 Caminos colectores: Son caminos que sirven tránsitos de mediana y corta distancia, a los cuales acceden numerosos caminos locales o de desarrollo. El servicio al tránsito de paso y a la propiedad colindante tiene una importancia similar. Podrán circular por ellos toda clase de vehículos.

2.5.5 Caminos locales: Son caminos que se conectan a los Caminos Colectores. Están destinados a dar servicio preferentemente a la propiedad adyacente. Son pertinentes las Ciclovías.

2.5.6 Caminos de desarrollo: Están destinados a conectar zonas aisladas y por ellas transitarán vehículos motorizados y vehículos a tracción animal. Sus características responden a las mínimas consultadas para los caminos públicos, siendo su función principal la de posibilitar tránsito permanente aun cuando las velocidades sean reducidas, de hecho, las velocidades de proyecto que se indican a continuación son niveles de referencia que podrán ser disminuidos en sectores conflictivos.

2.6 CAPAS DE UN PAVIMENTO

Estructura de un Camino: Este término define al conjunto de capas de material que se utiliza para conformar la sección transversal de un camino y que está compuesto por la subrasante, una subbase (si aplica), una base (si aplica) y una carpeta de rodado.

Nota: Hay estructuras que pueden estar conformadas por una subrasante y una carpeta de rodado, es decir, que no poseen subbase ni base.

2.6.2 Subrasante: La sub rasante, considerada como la cimentación del pavimento, es una capa de suelo natural que debe estar debidamente preparada y compactada, tendiendo mucho cuidado en la expansión de suelos, pues una de las funciones más importantes de esta capa, es brindar un apoyo estable y uniforme.

2.6.3 Base: Es una capa de materiales seleccionados colocados sobre la subbase, en algunas ocasiones se construye directamente sobre la subrasante. Es la capa que se encuentra bajo la capa de rodadura ya sea de un pavimento asfáltico. Debido a su proximidad con la superficie, debe poseer alta resistencia a la deformación, para soportar

las altas presiones que recibe. Se construye con materiales procesados o estabilizados y, eventualmente con algunos materiales marginales.

En esta investigación se denomina base a la capa de rodadura que es un afirmado de material granular que se mejorara con los productos químicos mencionados en la investigación

2.6.4 Subbase: Es la capa que se encuentra entre la base y la subrasante en un pavimento asfáltico. Debido a que está sometida a menores esfuerzos que la base, su calidad puede ser inferior y generalmente está constituida por materiales locales granulares o marginales.

El material que se coloca entre la subrasante y las losas de un pavimento rígido también se denomina subbase en este caso, debe permitir el drenaje libre o ser altamente resistente a la erosión, con el fin de prevenir el bombeo. En algunas partes, a esta capa la llaman base.

2.7 CLASIFICACIÓN DE MATERIALES PARA BASES Y SUBBASES

No ligados granulares (mezclas de suelo-agregado)

Compuesto principalmente por agregados pétreos y finos naturales, su resistencia a la deformación está determinada casi exclusivamente por el rozamiento interno de los agregados, aunque a veces existe una componente cohesión brindada por los finos plásticos del material.

Ligados (estabilizaciones con aditivos)

Modificación de un suelo o un agregado procesado, mediante la incorporación y mezcla de productos que generan cambios físicos y/o químicos del suelo aumentado su capacidad portante, haciéndolo menos sensible a la acción del agua.

Marginales (naturales subproductos industriales y materiales de desecho)

Materiales que no cumplen las especificaciones corrientes para uso vial, pero que pueden ser usados con éxito, principalmente como resultado de una experiencia local satisfactoria y un costo reducido.

2.8 BASES Y SUBBASES ESTABILIZADAS CON ADITIVOS

Como se mencionó, el concepto de estabilización también se aplica sobre una subbase, base o material granular, que aun cumpliendo la condición de tener un determinado valor de CBR, se estabilizará para obtener un material de mejor calidad con un menor espesor de capa. Por lo general, la aplicación de este criterio es para los caminos donde se presente un considerable tráfico pesado o incluso en sectores con tráfico menor, pero cuyas condiciones ameriten su ejecución como, por ejemplo, escasez o cuando no se disponen de materiales de subbase o base, elevados costos de transporte y tratamiento de chancado para la base, etc. Existen diferentes metodologías de estabilización, sin embargo, debe destacarse la significación que adquiere contar con ensayos de laboratorio, que demuestren la aptitud y tramos constructivos de prueba que ratifiquen el buen resultado. Además, se debe garantizar que tanto la construcción como la conservación vial, puedan realizarse en forma simple, económica y con el equipamiento disponible.

Primera fase de intervención:

Reconformación de obras de arte.

Reconformación de base existente.

Colocación de base estabilizada.

Colocación de recubrimiento bituminoso.

Señalización horizontal, vertical y elementos de protección vial.

Habilitación de islas de estacionamiento.

2.9 BASE DE RODADURA O AFIRMADOS

Las carreteras no pavimentadas con revestimiento granular en sus capas superiores y superficie de rodadura corresponden en general a carreteras de bajo volumen de tránsito y un número de repeticiones de ejes equivalentes de hasta 300.000 EE en un periodo de 10 años, estas carreteras no pavimentadas pueden ser clasificadas como sigue:

Carreteras de tierra constituidas por suelo natural y mejorado con grava seleccionada por zarandeo y finos ligantes.

Carreteras gravosas constituidas por una capa de revestimiento con material natural pétreo sin procesar, seleccionado manualmente o por zarandeo, de tamaño máximo de 75mm.

Carreteras afirmadas constituidas por una capa de revestimiento con materiales de cantera, dosificadas naturalmente o por medios mecánicos, con una dosificación especificada, compuesta por una combinación apropiada de tres tamaños o tipos de material: piedra, arena y finos o arcilla, siendo el tamaño máximo 25mm.

Carreteras con superficie de rodadura tratada con materiales industriales:

Afirmados con superficie tratada para el control de polvo, con materiales como: cloruros, aditivos, productos asfálticos (imprimación reforzada o diferentes tipos de sello asfáltico), cemento, cal u otros estabilizadores químicos.

Suelos naturales estabilizados con: emulsión asfáltica, cemento, cal, cloruros, geosintéticos y otros aditivos que mejoren las propiedades del suelo.

Caminos afirmados estabilizados sin recubrimiento: Caminos a nivel de superficie de rodadura compuestos por afirmados estabilizados con productos químicos o caminos a nivel de superficie de rodadura con suelos estabilizados:

Caminos afirmados estabilizados con recubrimiento: Caminos a nivel de superficie de rodadura compuestos por afirmados o suelos estabilizados con productos químicos, con una capa de protección bituminosa.

Caminos con soluciones básicas pavimentadas: Caminos con pavimentos compuestos por capas granulares y base estabilizada, con una superficie de rodadura bituminosa en frío como: tratamiento superficial monocapa, lechada asfáltica o mortero asfáltico, micro pavimento en frío, carpetas de mezclas asfálticas en frío, etc.

2.10 ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS DE PAVIMENTACIÓN

Entre las alternativas tecnológicas de pavimentación recomendadas según el manual peruano.

Tabla N°2.3: Carreteras con IMDA igual o mayor a 300 vehículos.

| Pavimento | Característica | IRI promedio en operaciones |
|-------------|--|-----------------------------|
| Flexible | Compuesto por capas granulares (subbase y base drenante) y una capa de rodadura bituminosa de mezcla asfáltica en caliente de espesor variable según sea necesario. | 3,5 |
| Semirrígido | Conformados con capas asfálticas (base asfáltica y carpeta asfáltica en caliente); también se considera como pavimento semirrígido, la estructura compuesta por carpeta asfáltica en caliente sobre base tratada con cemento o base tratada con cal. | 3,5 |
| Rígido | Conformado por losa de concreto de cemento hidráulico y una subbase granular para uniformizar las características de cimentación de la losa. | 3,5 |

Fuente: MTC- Dirección de Estudios Especiales.

Tabla N°2.4: Carretera con IMDA menor a 300 vehículos.

| Pavimento | Característica | IRI Promedio en operaciones |
|-------------------------|---|-----------------------------|
| Pavimento económico | Compuesto por capas granulares, con base estabilizada y una capa de rodadura bituminosa en frío como: tratamiento superficial bicapa, lechada asfáltica o mortero asfáltico, micro pavimento en frío, macadam asfáltico, carpeta de mezclas asfálticas en frío. | 4 |
| Afirmado con protección | Afirmados tratados o suelos estabilizados con una capa de protección bituminosa (monocapa, lechada asfáltica) | 5 |
| Afirmado mejorado | Afirmados con grava tratada con materiales como: asfalto, cemento, cal, aditivos químicos y otros. Suelos naturales estabilizados con asfalto, cemento, cal, aditivos químicos y otros. | 7 |
| Afirmado | Constituido por una capa de revestimiento con materiales de cantera, dosificados naturalmente o por medios mecánicos (zarandeo), con una dosificación especificada, compuesta por una combinación apropiada de tres tipos de materiales: piedra, arena y finos o arcilla, siendo el tamaño máximo de 25 mm. | 10 |

Fuente: MTC- Dirección de Estudios Especiales.

2.11 METODOLOGÍA DE DISEÑO DE ESPESORES

Se presenta una metodología para diseñar estructuras de pavimentos cuya capa de rodadura estará compuesta por material de afirmado en su totalidad, entendiéndose esta como una capa de material granular destinada a soportar las cargas del tránsito, que adicionalmente puede ser tratada para el control de polvo.

La metodología a desarrollarse permitirá diseñar de manera técnica y rápida el espesor de una capa de afirmado, teniendo en cuenta la resistencia de la subrasante y el tránsito estimado para un periodo de diseño.

En el funcionamiento estructural de las capas de revestimiento granular influye el tipo de suelo de la subrasante, el número total de los vehículos pesados durante el periodo de diseño, expresado en ejes equivalentes (EE), y los materiales granulares cuyas propiedades mecánicas y comportamiento son conocidos y están considerados en las especificaciones técnicas generales para la construcción de carreteras vigentes, también forman parte las estabilizaciones y mejoramientos de suelos de la subrasante o el tratamiento de las capas de revestimiento granular.

Esta metodología establece el espesor del diseño en función de los siguientes parámetros:

Característica de la subrasante

Nivel de tránsito

Secciones de capas de afirmado

Para el dimensionamiento de los espesores de la capa de afirmado se adoptó como representativa la siguiente ecuación del método NAASRA, (National Association of Australian State Road Authorities, hoy AUSTROADS) que relaciona el valor soporte del suelo (CBR) y la carga actuante sobre el afirmado, expresada en número de repeticiones de EE:

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

donde:

e = Espesor de la capa de afirmado en mm.

CBR = Valor de CBR de la subrasante.

N_{rep} = Numero de repeticiones de EE para el carril de diseño

A continuación, se presentan los espesores de afirmado propuestos considerando subrasantes con CBR >6% hasta un CBR >30% y tráfico con numero de repeticiones de hasta 300.000 ejes equivalentes.

Es necesario precisar que los sectores que presenten subrasantes con CBR menor a 6% será materia de un estudio específico de estabilización o reemplazo de suelos de la subrasante

Las tablas para el diseño del espesor de la capa de afirmados se muestran en anexos

2.12 MATERIALES DE AFIRMADO

El material a usarse varía según la región y las fuentes locales de agregados, cantera de cerro o de rio, también se diferencia si se utilizara como una capa superficial o capa inferior, porque de ello depende el tamaño máximo de los agregados y el porcentaje de material fino o arcilla, cuyo contenido es unas características necesarias en la carretera de afirmado.

El afirmado es una mezcla de tres tamaños o tipos de materiales piedra, arena y finos o arcilla. Si no existe una buena combinación de estos tres tamaños, el afirmado será pobre.

El afirmado requiere de un porcentaje de piedra para soportar las cargas. Asimismo, necesita un porcentaje de arena clasificada, según tamaño, para llenar los vacíos entre las piedras y dar estabilidad a la capa y, necesariamente un porcentaje de finos plásticos para cohesionar los materiales de la capa de afirmado.

Existen pocos depósitos naturales de material que tienen una gradación ideal, donde el material sin procesar se puede utilizar directamente por lo que será necesario zarandear el material para obtener una granulometría especificada. En general, los materiales serán

agregados naturales procedentes de excedentes de excavaciones o canteras o podrán provenir de la trituración de rocas y gravas o podrán estar constituidos por una mezcla de productos de ambas procedencias.

Las características que deberá de cumplir el material de afirmado será la que se describe en el presente manual. No obstante, es importante indicar que todos los materiales para afirmados no son los mismos, en tal sentido, la calidad del material debe determinarse mediante ensayos.

2.13 MARCO REFERENCIAL

El presente trabajo de investigación está muy influenciado en dos trabajos de investigación previos uno realizado en la Universidad de la Salle Facultad de ingeniería civil (Bogotá D.C) 2007, titulado “análisis comparativo de la estabilización de una base granular, a través de dos elementos químicos como el multienzemático perma zyme 11x, y cemento en un suelo de Bogotá D.C teniendo como autores a Hialmar Iván Rojas Gonzales, John Henry Barrera García, Carlos Mauricio Piracon Sánchez.

El estudio mencionado es utilizado como una guía en el uso y manejo de los productos químicos para la estabilización de una base granular, además que esta investigación propone una alternativa de como poder realizar los estudios de caracterización del material granular siempre basándose en las especificaciones técnicas del manual de carreteras de la ABC.

También podemos observar una comparación entre la estabilización con los dos productos químicos podemos ver la comparación entre sus propiedades mecánicas, siendo esta la razón por lo cual la presente investigación toma en cuenta una base granular

La segunda investigación fue realizada en la universidad Técnica de Ambato titulado “Análisis comparativo de los procesos de estabilización de suelo con enzimas orgánicas y suelo-cemento, aplicado a suelos arcillosos de subrasante” que tiene como autor a Deivys Ismael Hidalgo Benavides, que fue presentada en el 2016.

El estudio mencionado es utilizado como una guía en el uso y manejo de la información de la comparación de resultados, además en esta investigación se estudia dos tipos de suelos ahí se observa cómo actúan los dos productos químicos como estabilizantes, siendo esta la razón por la cual la presente investigación tiene una comparación en el uso de enzimas orgánicas y cemento como estabilizantes y con esta comparación tener una alternativa como estabilizante para poder mejorar Las propiedades mecánicas que tenga los mejores resultados y poder determinar si es apto o no.

2.14 MARCO NORMATIVO

Dentro de las normas aplicadas en esta investigación se tiene las siguientes:

Tabla N°2.5: Normas aplicadas en la investigación.

| Norma | Descripción | Objeto |
|----------------------------|---|--|
| (ASTM D422 / AASHTO T88) | Análisis granulométrico del suelo por tamizado | El análisis granulométrico tiene por objeto la determinación cuantitativa de la distribución de tamaños de partículas de suelo |
| (ASTM D4318 / AASHTO T89) | Limites liquido de los suelos | El límite líquido de un suelo es el contenido de humedad expresado en porcentaje del suelo secado en el horno, cuando este se halla en el límite entre el estado líquido y el plástico |
| (ASTM D4318 / AASHTO T90) | Determinación índice de plasticidad de suelos | En este ensayo se determina el límite plástico de un suelo, y el cálculo del índice de plasticidad si se conoce el límite líquido del mismo suelo. |
| (ASTM D698 / AASHTO T99) | Relaciones de peso unitario humedad en los suelos equipo modificado | Estos métodos de ensayo se emplean para determinar la relación entre la humedad y el peso unitario de los suelos compactados en un molde de un tamaño dado con un martillo de 4,54m (10lb) que cae desde una altura de 457 mm (18 “). Se ha utilizado el método C, molde de diámetro 102mm (4”), material de suelo que pasa tamiz de 19 mm (3/4”). |
| (ASTM D1883 / AASHTO T193) | Relación del soporte del suelo en el laboratorio (CBR) | Este índice se utiliza para evaluar la capacidad de soporte de los suelos de subrasante y las capas de base, subbase y de afirmado, él ensayo se realiza normalmente sobre suelo preparado en el laboratorio en condiciones determinadas de humedad y densidad; pero también puede operarse en forma análoga sobre muestras inalteradas tomadas del terreno. |
| Manual de la ABC | Base estabilizada con cemento | El objeto consiste en la construcción de una capa de base, constituida por material adicionado totalmente o resultante de la escarificación de la capa superficial existente, o una mezcla de ambos, estabilizándolos con cemento Pórtland, |
| Manual técnico | Estabilizador de suelo perma zyme | Perma Zyme es una formulación patentada, multienzemático, concentrada y líquida, diseñada para maximizar la densidad e incrementar las propiedades naturales de los suelos a los niveles y condiciones más óptimas |

Fuente: Elaboración propia

2.15 ANALISIS Y TENDENCIA DEL INVESTIGADOR

A partir de la teoría estudiada en la presente investigación que se enfoca directamente en el concepto de la estabilización de suelos, en los tipos de estabilización que existen como son la estabilización mecánica, física y química la estabilización física-química es la que se usara en la presente investigación, además como esta investigación propone una opción de estabilización de base granular que conforma la carretera no pavimentada Pampa redonda-Tunal mediante la adición de cemento o el multienzemático perma zyme.

Otro punto importante del tema de investigación son las propiedades mecánicas del suelo granular como lo son el índice de plasticidad, la densidad máxima, % de humedad, la capacidad de soporte C.B.R. Siendo fundamentado y explicado los procesos y ventajas y desventajas de los productos químicos utilizados, es por ello que esta parte es muy significativa para poder entender claramente lo que se espera obtener de cada una de las propiedades.

También, se indican las referencias en las que se toman en cuenta para profundizar la presente investigación y las normas aplicadas en los ensayos que se realizaran, para poder realizar los correspondientes ensayos y valorar y comparar los resultados obtenidos de cada producto químico dándole el sentido científico a la investigación.

CAPITULO III RELEVAMIENTO DE LA INFORMACION

3.1 CRITERIO DE SELECCIÓN, USO Y APLICACIÓN

El suelo seleccionado para el desarrollo de esta investigación fue tomado de una vía ubicada en la comunidad de Pampa redonda, este material corresponde a un suelo granular con arcilla limosa y arena.

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

3.2 CRITERIO DE LA VARIACION DEL PORCENTAJE DE CEMENTO

La selección del porcentaje de cemento se realizó basándose de forma general en otros estudios aplicados a suelos granulares donde mencionan que, para poder obtener una estabilización del tipo flexible, el porcentaje de cemento debe variar entre 1% a 4%.

Los ensayos de laboratorio se realizaron al material granular en estado natural y el material granular mezclado con los diferentes porcentajes de cemento portland (IP-30), (0,5%; 1%, 2%; 4%), para determinar sus propiedades físico mecánicas.

3.2.1 Proceso de obtención y caracterización del cemento

El proceso de obtención es muy conocido en nuestro medio ya que en Tarija se tiene la fábrica de cemento en la comunidad “El Puente” el cemento tiene los siguientes datos técnicos según NB 011 el certificado de calidad se muestra en los anexos.

Figura N°3.1: Bolsa de cemento el puente



Fuente: Elaboración propia.

3.3 CRITERIO DE LA VARIACION DEL PORCENTAJE DE PERMA ZYME 30X

La utilización y selección de porcentajes de este producto se realizó basándose de forma general en otros estudios, pero también en el manual técnico del producto.

Según las especificaciones del producto se dosifica a razón de 1 litro cada 30 m³ de material compactado mezclado con el agua necesaria para obtener la humedad óptima para compactar. El aditivo fue probado en distintos rangos de proporción de la siguiente forma ya mencionada.

Muestra equivalente a 0,8 lt. de aditivo por 30 m³ de material.

Muestra equivalente a 1 lt. de aditivo por 30 m³ de material.

Muestra equivalente a 1,5 lt. de aditivo por 30 m³ de material.

Muestra equivalente a 2 lt. de aditivo por 30 m³ de material.

3.3.1 Proceso de obtención y especificaciones del producto perma zyme

Perma zyme es una formula final contiene productos en un proceso metabólico microbial, incluyendo enzimas y se obtiene por degradación enzimática (fermentación de vegetales) de productos orgánicos.

Es un producto orgánico, 100% ecológico

Especificaciones del producto

Producto comercial: perma zyme versión 30X.

Distribuido por BIOTIKA S.A.C.

Tecnología: sistema enzimático

Efecto en la estructura mineral de la arcilla: reduce la plasticidad y permeabilidad, incrementa la densidad y razón soporte C.B.R.

Naturaleza: Tecnología de fermentación de vegetales.

Vencimiento: 48 meses, contados desde la fecha de su fabricación.

Medio ambiente: ecológico, no tóxico y biodegradable.

Propiedades a 25 ° C: considerando la temperatura ambiente.

PH: 4-9, densidad (g/ml): 1,08, color: marrón oscuro, viscosidad: 114.4 cP a 25 ° C, olor: a fermento dulce, solubilidad: total.

Presentación: cilindro de 208 litros, bidones de 20 litros.

Rendimiento: 1 litro para 30 a 33 m³ de suelo compacto.

Precio: US\$ 188.00 por litro.

Garantía: certificado que se adjunta (anexos).

Humedad óptima: de acuerdo al análisis de laboratorio.

Recomendación para el ensayo de C.B.R.

California Bearing Ratio C.B.R: el ensayo mide la resistencia del suelo a la carga. Para estas pruebas se dejan secar las muestras después de compactadas un máximo de 72 horas permitiendo reaccionar al suelo, posteriormente se colocan en la poza de agua y se sumergen 96 horas, transcurrido este periodo de tiempo se procede a medir la expansión y se someten las probetas al ensayo de carga. El número más alto se toma como la capacidad más alta para el soporte de carga del suelo.

3.4 CRITERIO DEL NUMERO DE ENSAYOS

Para la presente investigación se desglosará los diferentes ensayos y el número de los mismos a ejecutarse el criterio del número de ensayos para el suelo granular en estado natural son:

Granulometría se realizarán 3 ensayos para el material granular de los cuales se sacará un promedio.

Contenido de humedad ensayo que nos permite determinar el contenido de humedad del material granular en estado natural se tomaran tres muestras y se sacara un promedio para obtener el contenido de humedad.

Índice de plasticidad se realizarán 3 ensayos para el suelo granular en estado natural del cual se sacará un promedio.

Ensayo de compactación con energía modificada se realizarán 3 ensayos de compactación, de los cuales se sacarán su promedio.

Ensayos de C.B.R. se realizarán 3 ensayos, de los cuales se sacará un promedio.

Tabla N°3.1: Numero de ensayos del material granular en estado natural.

| Ensayo | Cantidad de ensayos a realizar |
|---------------------------|--------------------------------|
| Granulometría | 3 |
| Contenido de humedad (%) | 1 |
| Índice de plasticidad (%) | 3 |
| Compactación | 3 |
| CBR (%) | 3 |

Fuente: Elaboración propia

3.5 LEVANTAMIENTO DE LA INFORMACION

3.5.1 Ubicación

El área de investigación se ubica en la provincia cercado Tarija.

Las muestras han sido tomadas del sector de la comunidad de Pampa redonda, el sector de muestreo se encuentra en la vía Pampa redonda – Tunal las coordenadas son:

Tabla N°3.2: Coordenadas de la ubicación del material granular.

| Coordenadas | |
|-------------|--------------------------|
| Geográficas | Latitud: 21°43'16,241" S |
| | Longitud: 64°50'6,701" W |
| U.T.M | Este: 310197,9 |
| | Norte: 7596916.5 |

Fuente: Elaboración propia

3.5.2 Muestreo del suelo granular de la vía Pampa redonda – Tunal

Para este muestreo se procedió a la toma directa del material debido a que en la zona se encontraba excavado y amontonado en un costado y estaba libre de materia orgánica, las muestras tomadas se las colocaron en bolsas de nylon para la caracterización del mismo y especialmente para evitar la pérdida de humedad natural del suelo y saquillos para los ensayos de estabilización debido a que se trabajara con muestras secas. En la siguiente figura se observa la zona de extracción de las muestras.

Figura N°3.2: Muestreo del suelo granular.



Fuente: Elaboración propia.

3.6 CARACTERIZACIÓN DEL SUELO GRANULAR

Para conocer las propiedades del suelo utilizados en el proyecto, se tomaron muestras en todo el desarrollo del mismo, posteriormente en el laboratorio de suelos se determinarán sus propiedades y clasificación de las mismas según la norma AASHTO Y SUCS.

Los ensayos que se tuvieron en cuenta se relacionan a continuación:

3.6.1 Procedimientos para la preparación de muestras de suelos por cuarteo AASHTO T248

Mediante estos procedimientos, se pueden dividir las muestras de suelos obtenidas en el campo, para obtener porciones que sean representativas y que tengan los tamaños adecuados para los diferentes ensayos que se necesite desarrollar. Hay procedimientos manuales y mecánicos, de acuerdo con el tamaño de la muestra de campo y el de la muestra requerida.

Figura N°3.3: Cuarteo del material.



Fuente: Elaboración propia.

3.6.2 Análisis granulométrico ASTM D422 / AASHTO T88

Este ensayo tiene por objetivo la determinación cuantitativa de la distribución de tamaños de partículas de suelo.

Para la realización de este ensayo se tomó una muestra representativa ya secada en el horno de 5200 gr. simultáneamente el material se lavó por el tamiz N°200, el cual se lo llevo al horno a una temperatura de 110°C durante 24 horas de secado, obteniendo un peso seco del material lavado de 4529 gr. luego fue pasado por una serie de tamices (de mayor a menos abertura), donde se obtiene el peso retenido en cada tamiz para luego obtener la respectiva curva granulométrica.

Para los cálculos, se realizaron mediante las siguientes fórmulas:

Determinar los porcentajes de los pesos retenidos en cada tamiz (% P.R.) mediante la siguiente expresión:

$$\% P.R. = \frac{P.R.}{PWMS} * 100$$

Determinar los porcentajes retenidos acumulados en cada tamiz Porcentaje Retenido Acumulado %(P.R.A.), para lo cual se sumarán en forma progresiva los P.R.P, es decir:

$$\% R.A.1 = \% R.P.1$$

$$\% R.A.2 = \% R.P.1 + \% R.P.2$$

$$\% R.A.3 = \% R.P.1 + \% R.P.2 + \% R.P.3, etc.$$

Determinar los porcentajes acumulados que pasan en cada tamiz:

$$\% \text{ Que Pasa} = 100\% - \% R.A.$$

En las siguientes figuras se muestran la realización del ensayo de granulometría.

Figura N°3.4: Proceso del tamizado.



Fuente: Elaboración propia.

Figura N°3.5: Tamizado de la muestra.



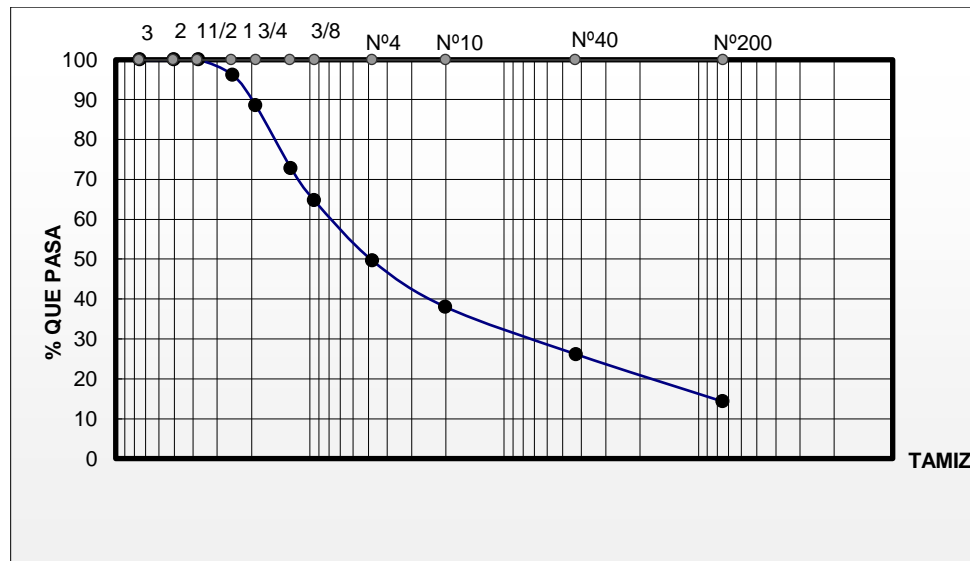
Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°3.3: Datos de la granulometría muestra N°1

| Tamices | Peso retenido (gr) | Retenido acumulado (gr) | % Retenido | % Que pasa del total |
|---------|--------------------|-------------------------|------------|----------------------|
| 3" | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 100,00 |
| 2" | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 100,00 |
| 1 ½" | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 100,00 |
| 1" | 199,80 | 199,80 | 3,84 | 96,16 |
| ¾" | 398,40 | 598,20 | 11,50 | 88,50 |
| ½" | 817,30 | 1415,50 | 27,22 | 72,78 |
| 3/8" | 418,70 | 1834,20 | 35,27 | 64,73 |
| N°4 | 788,90 | 2623,10 | 50,44 | 49,56 |
| N°10 | 601,10 | 3224,20 | 62,00 | 38,00 |
| N°40 | 617,50 | 3841,70 | 73,88 | 26,12 |
| N°200 | 614,70 | 4456,40 | 85,70 | 14,30 |

Fuente: Elaboración propia

Gráfico N°3.1: Curva granulométrica muestra N°1.



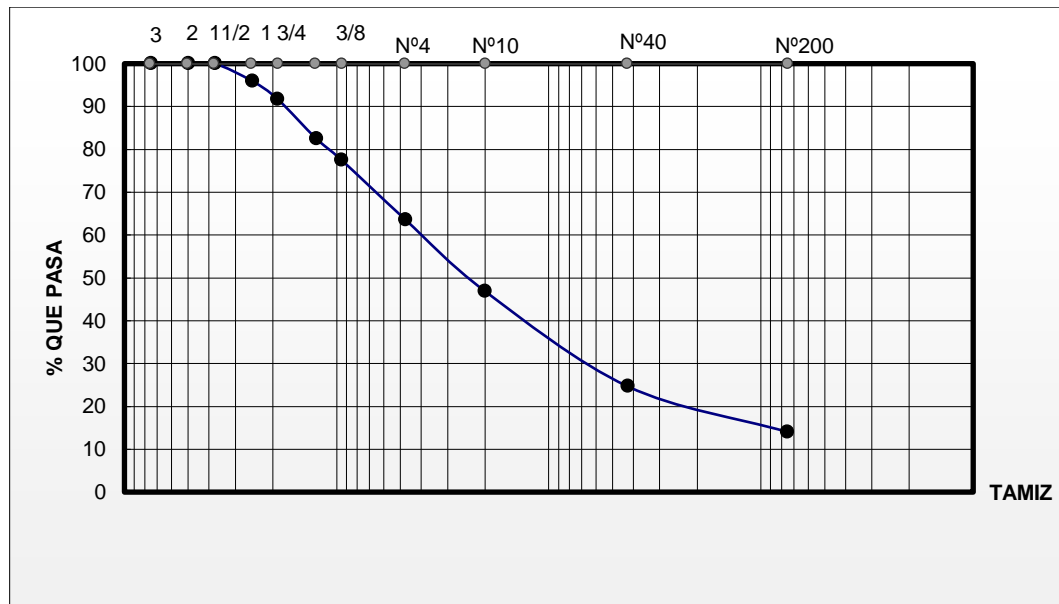
Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°3.4: Datos de la granulometría muestra N°2.

| Tamices | Peso retenido (gr) | Retenido acumulado (gr) | % Retenido | % Que pasa del total |
|---------|--------------------|-------------------------|------------|----------------------|
| 3" | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 100,00 |
| 2" | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 100,00 |
| 1 ½" | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 100,00 |
| 1" | 203,80 | 203,80 | 4,08 | 95,92 |
| ¾" | 208,80 | 412,60 | 8,25 | 91,75 |
| ½" | 460,10 | 872,70 | 17,45 | 82,55 |
| 3/8" | 249,90 | 1122,60 | 22,45 | 77,55 |
| N°4 | 696,10 | 1818,70 | 36,37 | 63,63 |
| N°10 | 836,10 | 2654,80 | 53,10 | 46,90 |
| N°40 | 1111,30 | 3766,10 | 75,32 | 24,68 |
| N°200 | 532,20 | 4298,30 | 85,97 | 14,03 |

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico N°3.2: Curva granulométrica muestra N°2.



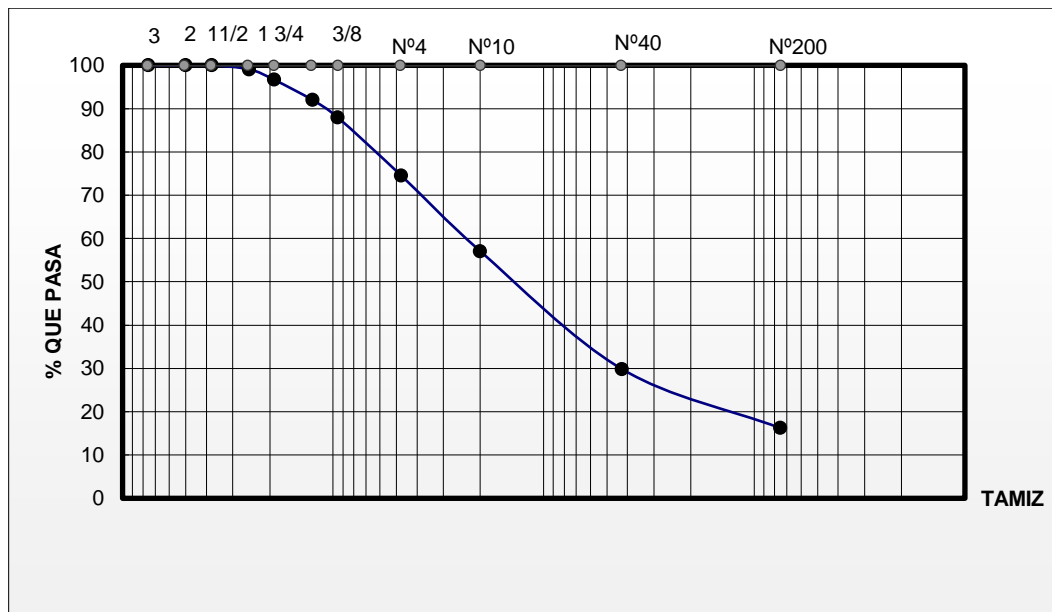
Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°3.5: Datos de la granulometría muestra N°3.

| Tamices | Peso retenido (gr) | Retenido acumulado (gr) | % Retenido | % Que pasa del total |
|---------|--------------------|-------------------------|------------|----------------------|
| 3" | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 100,00 |
| 2" | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 100,00 |
| 1 ½" | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 100,00 |
| 1" | 46,20 | 46,20 | 0,92 | 99,08 |
| ¾" | 122,20 | 168,40 | 3,37 | 96,63 |
| ½" | 233,80 | 402,20 | 8,04 | 91,96 |
| 3/8" | 200,40 | 602,60 | 12,05 | 87,95 |
| N°4 | 670,50 | 1273,10 | 25,46 | 74,54 |
| N°10 | 873,50 | 2146,60 | 42,93 | 57,07 |
| N°40 | 1361,30 | 3507,90 | 70,16 | 29,84 |
| N°200 | 681,60 | 4189,50 | 83,79 | 16,21 |

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico N°3.3: Curva granulométrica muestra N°3.



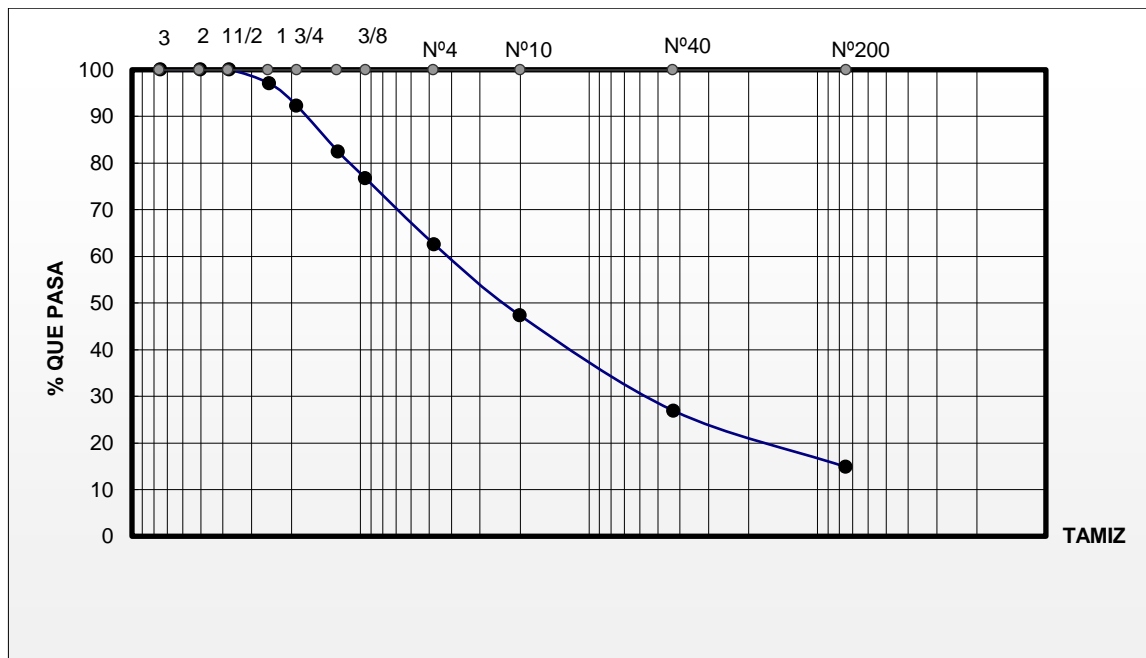
Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°3.6: Planilla de resultados de las granulometrías promedio.

| Tamices | Peso retenido (gr) | Retenido acumulado (gr) | % Retenido | % Que pasa del total |
|---------|--------------------|-------------------------|------------|----------------------|
| 3" | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 100,00 |
| 2" | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 100,00 |
| 1 ½" | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 100,00 |
| 1" | 149,93 | 149,93 | 3,00 | 97,05 |
| ¾" | 243,13 | 393,07 | 7,86 | 92,29 |
| ½" | 503,73 | 896,80 | 17,94 | 82,43 |
| 3/8" | 289,67 | 1186,47 | 23,73 | 76,74 |
| N°4 | 718,50 | 1904,97 | 38,10 | 62,58 |
| N°10 | 770,23 | 2675,20 | 53,50 | 47,32 |
| N°40 | 1030,03 | 3705,23 | 74,10 | 26,88 |
| N°200 | 609,50 | 4314,73 | 86,29 | 14,85 |

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico N°3.4: Curva granulométrica promedio.



Fuente: Elaboración propia.

3.6.3 Límites de atterberg ASTM D4318 / AASHTO T90-T89

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

Límite líquido se determina mediante el método de la cuchara de casa grande (NLT-105). El ensayo se basa en la determinación de la cantidad de agua mínima que se puede contener en una pasta formada de más o menos 100 gr. de suelo seco que haya pasado el tamiz N.º 40. Para ello, se coloca sobre el mencionado artefacto y se acciona el mecanismo de este, contándose el número de golpes necesarios para cerrar un surco (realizado previamente con un ranurador normalizado) en una longitud alrededor de 12 mm. 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 presente 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 del 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.

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

Figura N°3.6: Aparato de casa grande.



Fuente: Elaboración propia.

Figura N°3.7: Muestra no plástica y base de vidrio.



Fuente: Elaboración propia.

En este ensayo se observó que la muestra no tiene límite plástico por lo que podemos decir que el suelo posee poca cantidad de ligante por como dice la guía de laboratorio de la ABC, que un material al no poseer uno de los límites este es no plástico.

3.6.4 Contenido de humedad y clasificación ASTM D2216

El ensayo de contenido de humedad natural ASTM D2216). El contenido de agua del material se define como relación, expresada en porcentaje, entre la masa de agua que llena los poros o agua libre, en una masa de material, y la masa de las partículas sólidas de material.

Para el desarrollo de este ensayo se tomó una muestra representativa el cual estaba almacenado herméticamente, dicha muestra se llevó al horno a una temperatura de 110 °C durante 24 horas, luego se tomó el peso seco del material; y la diferencia entre el peso seco y el peso húmedo es el contenido de agua que tiene el suelo, arrojando una humedad del 3,01%.

$$W = ((W1 - W2) / (W2 - Wc)) \times 100 = (Ww / Ws) \times 100$$

Donde:

w = Contenido de agua %.

W1= Peso del recipiente y del espécimen húmedo, gr.

W2= Peso del recipiente y del espécimen seco, gr.

Wc= Peso del recipiente, gr.

Ww= Peso del agua, gr.

Ws= Peso de las partículas sólidas, gr.

Tabla N°3.7: Resultado correspondiente al contenido de humedad natural.

| N.º de muestras | 1 | 2 | 3 |
|-----------------|------|------|------|
| W % | 3,11 | 2,80 | 3,13 |
| promedio | 3,01 | | |

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°3.8: Clasificación de los suelos según AASHTO y SUCS.

| Clasificación del suelo | | Descripción |
|-------------------------|-----------|---|
| N°1 | A-1-a (0) | Es bien graduado, predomina la piedra y grava, casi no tiene ligantes plasticidades bajas |
| | GM | |
| N°2 | A-1-a (0) | Es bien graduado, predomina la piedra y grava, casi no tiene ligantes |
| | SM | |
| N°3 | A-1-b (0) | Es bien graduado, predominan las arenas gruesas casi no tiene ligante |
| | SM | |

Fuente: Elaboración Propia

3.6.5 Compactación AASHTO T-180 / ASTM D1557

El ensayo de proctor se realizó por el método de la norma AASHTO T-180 / ASTM D1557 modificado y permite conocer el grado de humedad de un suelo para alcanzar una densidad máxima aplicando una energía de compactación determinada, para este caso se utilizó por el tipo de material el método C.

El agua, al actuar como lubricante de las partículas de un suelo facilita la compactación de un suelo seco y encontrar la humedad óptima para alcanzar una densidad máxima seca con una misma energía de compactación. La prueba es importante para controlar la calidad de los procesos de compactación que se les dan a los suelos granulares.

El procedimiento de ensayo consiste en apisonar en 5 capas consecutivas una cantidad aproximadamente de 5 kg de suelo previamente tamizado por el tamiz $\frac{3}{4}$ " y 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.

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

En las siguientes figuras se muestran la realización del ensayo de compactación:

Figura N°3.8: Equipo de compactación T-180.



Fuente: Elaboración propia.

Figura N°3.9: Proceso de compactación.



Fuente: Elaboración propia.

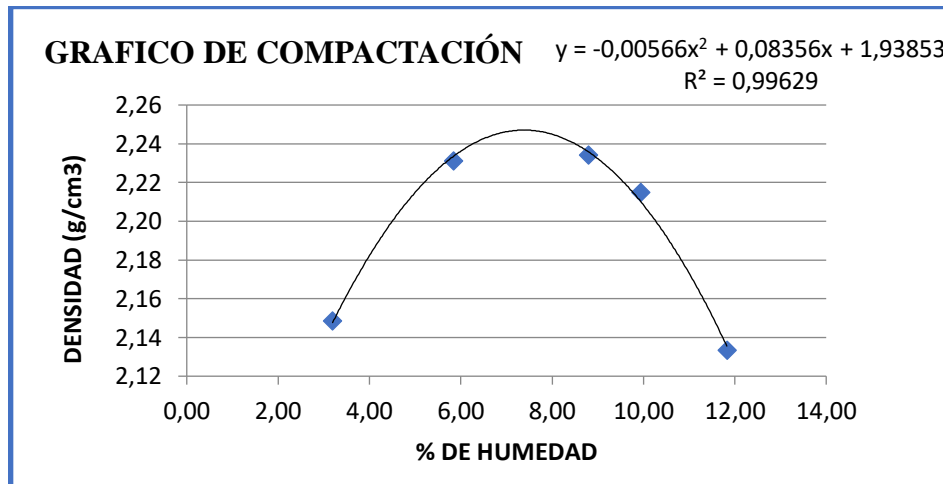
Tabla N°3.9: Determinación de la humedad óptima suelo natural N°1.

| Prueba | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|--|------|------|------|------|-------|
| N.º golpes | 56 | 56 | 56 | 56 | 56 |
| N.º capas | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| Contenido de humedad (%) | 3,19 | 5,84 | 8,79 | 9,93 | 11,82 |
| Peso unitario seco (gr/cm ³) | 2,15 | 2,23 | 2,23 | 2,22 | 2,12 |

Fuente: Elaboración propia.

Con los datos obtenidos de las densidades y humedades en las 5 muestras ensayadas se procede hacer una gráfica de humedad vs densidad, en donde al interpretar los picos de la curva nos da la humedad óptima.

Gráfico N°3.5: % de humedad vs Densidad N°1.



Fuente: Elaboración propia.

De esta forma vemos que los resultados obtenidos a partir de la gráfica de compactación fueron los siguientes:

Densidad seca máxima= 2,247 gr/cm³

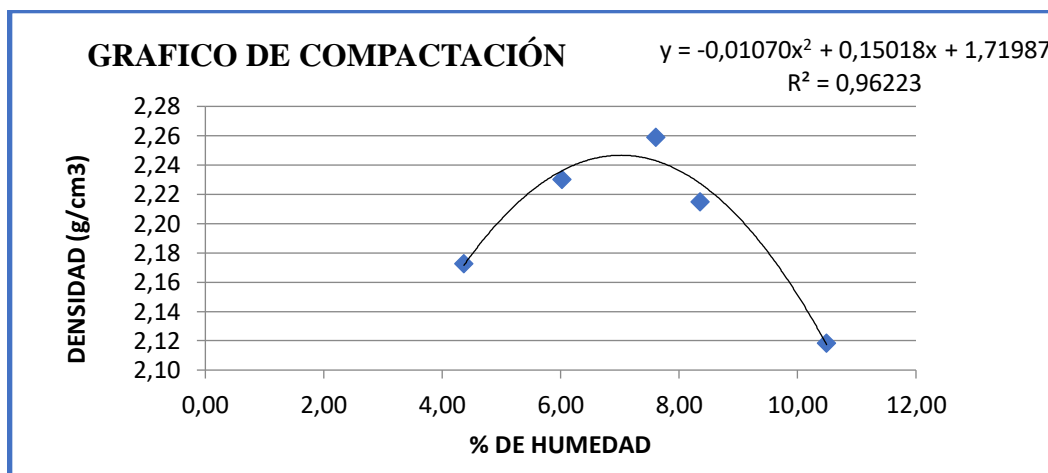
Contenido de humedad óptimo= 7,38%

Tabla N°3.10: Determinación de la humedad óptima suelo natural N°2.

| Prueba | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|--|------|------|------|------|-------|
| N° golpes | 56 | 56 | 56 | 56 | 56 |
| N° capas | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| Contenido de humedad (%) | 4,37 | 6,02 | 7,60 | 8,36 | 10,49 |
| Peso unitario seco (gr/cm ³) | 2,17 | 2,23 | 2,26 | 2,21 | 2,12 |

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico N°3.6: % de humedad vs Densidad N°2.



Fuente: Elaboración propia.

De esta forma vemos que los resultados obtenidos a partir de la gráfica de compactación fueron los siguientes:

Densidad seca máxima = 2,247 gr/cm³

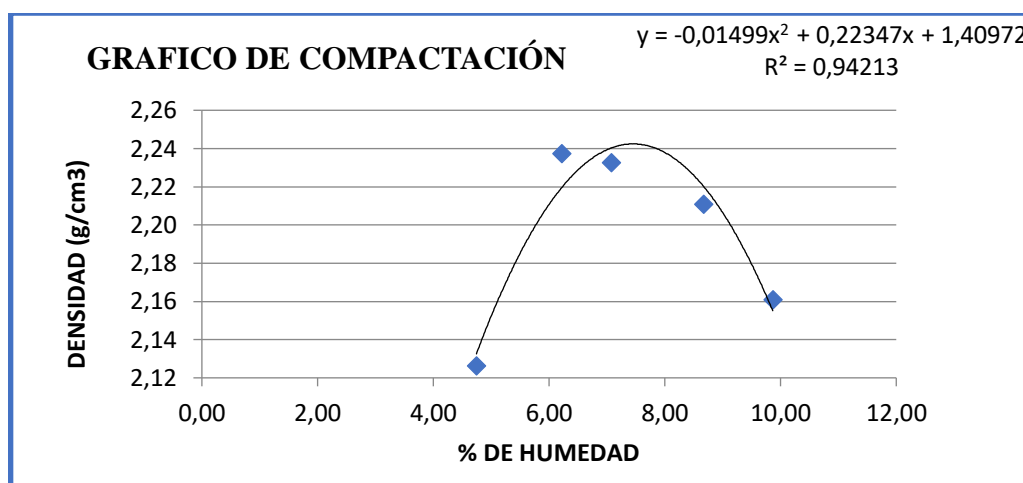
Contenido de humedad óptimo = 7,02%

Tabla N°3.11: Determinación de la humedad óptima suelo natural N°3.

| | | | | | |
|--|------|------|------|------|------|
| Prueba | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| N° Golpes | 56 | 56 | 56 | 56 | 56 |
| N° capas | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| Contenido de humedad (%) | 4,75 | 6,22 | 7,08 | 8,67 | 9,87 |
| Peso unitario seco (gr/cm ³) | 2,13 | 2,24 | 2,23 | 2,21 | 2,16 |

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico N°3.7: % de humedad vs Densidad N°3.



Fuente: Elaboración propia.

De esta forma vemos que los resultados obtenidos a partir de la gráfica de compactación fueron los siguientes:

Densidad seca máxima = 2,243 gr/cm³

Contenido de humedad óptimo = 7,45%

Tabla N°3.12: Resultados de densidad seca y humedad óptima.

| | | | | |
|---------------------------------------|-------|-------|-------|----------|
| Ensayos | 1 | 2 | 3 | Promedio |
| Humedad óptima (%) | 7,38 | 7,02 | 7,45 | 7,28 |
| Densidad máxima (gr/cm ³) | 2,247 | 2,247 | 2,243 | 2,246 |

Fuente: Elaboración propia.

3.6.6 Relación de soporte de California C.B.R. ASTM D1883 / AASHTO T193

Este ensayo tiene por objeto la determinación de un índice de resistencia de los suelos denominados valor de la relación de soporte, que es muy conocido debido a su origen, como C.B.R. (California Bearing Ratio). Este ensayo se realiza normalmente sobre suelo preparado en el laboratorio en condiciones determinadas de humedad y densidad óptimas, pero también puede operarse en forma análoga sobre muestras inalteradas tomadas del terreno, donde el índice se utiliza para evaluar la capacidad de soporte de los suelos de subrasante y de las capas de base, sub base y de afirmado.

Para la realización de este ensayo se tuvo en cuenta que la muestra al emplear pasa por el tamiz de $\frac{3}{4}$ " y quedaba retenido en el tamiz N°4. Seguidamente se tomaron tres muestras representativas cada una de 5000 gr. donde se le adicionaba 7,28% de agua según el ensayo de relaciones de peso unitario-humedad en los suelos, después se mezclaba hasta que el material quedara humedecido homogéneamente, luego se procedía a la compactación de la muestra en un molde, de metal, cilíndrico, provisto de un collar suplementario, una placa de base perforada. Además, se insertaba un disco espaciador, circular de metal, como falso fondo en el molde cilíndrico durante la compactación.

Se procedía a la preparación de las probetas, cada una correspondiente a 5 capas iguales (12; 25 y 56 golpes) compactados con un martillo de 4,54 kg. A una altura de 457 mm. (18").

Posteriormente se penetraban las probetas en la prensa de ensayos de compresión para obtener valores de penetración y esfuerzo consecutivamente se sumergían en un tanque de agua durante 3 días con una sobre carga metálica con peso de 2,27 kg (5 lb.) cada una; tomándose lecturas de expansión.

Finalmente se lleva a cabo la penetración de las probetas; se aplica una sobrecarga que sea suficiente para producir una intensidad de carga igual al peso del pavimento, obteniendo lecturas de penetración y esfuerzo. Se desmonta el molde y se toma de su parte superior en la zona próxima a la penetración, de la parte central y del fondo una muestra para determinar su humedad.

En las siguientes figuras se muestran la realización del ensayo C.B.R.

Figura N°3.10: Equipo de C.B.R.



Fuente: Elaboración propia.

Figura N°3.11: Medición del extensómetro.



Fuente: Elaboración propia.

Figura N°3.12: Moldes C.B.R. retirados del tanque de agua.



Fuente: Elaboración propia.

Figura N°3.13: Prueba de penetración.



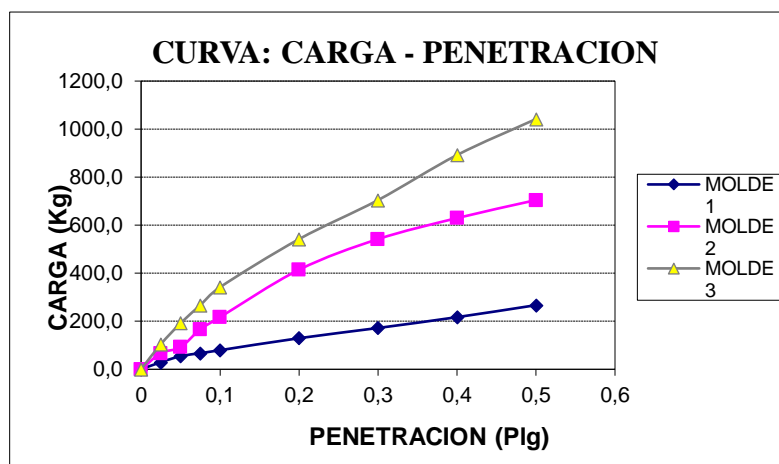
Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°3.13: Resultados del ensayo C.B.R. N°1.

| Características | Valores y resultados |
|-----------------------------|-------------------------|
| Densidad máxima | 2,24 gr/cm ³ |
| Contenido de humedad optimo | 7,38% |
| C.B.R al 100% | 40,15% |
| C.B.R al 95% | 25,58% |

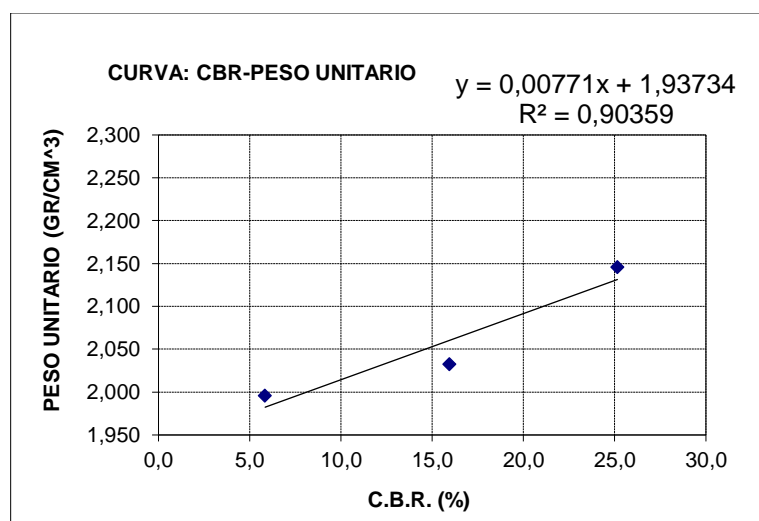
Fuente: Elaboración propia

Gráfico N°3.8: Penetración vs Esfuerzo. N°1.



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico N°3.9: C.B.R vs Densidad seca N°1.



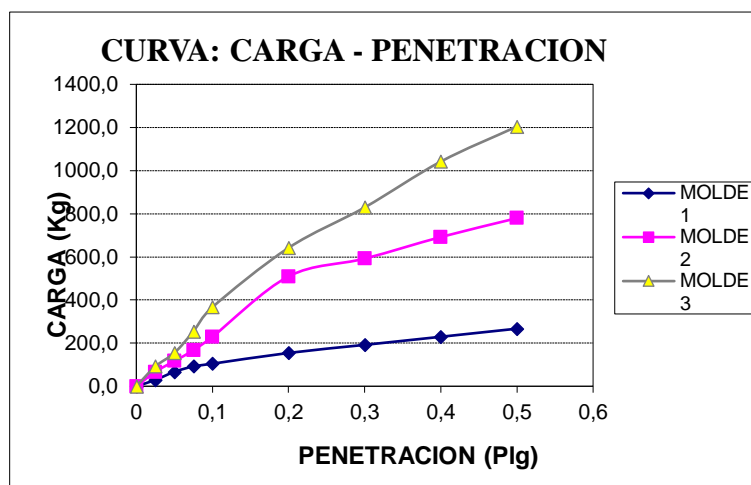
Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°3.14: Resultados del ensayo C.B.R. N°2.

| Características | Valores y resultados |
|-----------------------------|-------------------------|
| Densidad máxima | 2,24 gr/cm ³ |
| Contenido de humedad optimo | 7,02% |
| C.B.R al 100% | 40,45% |
| C.B.R al 95% | 29,00% |

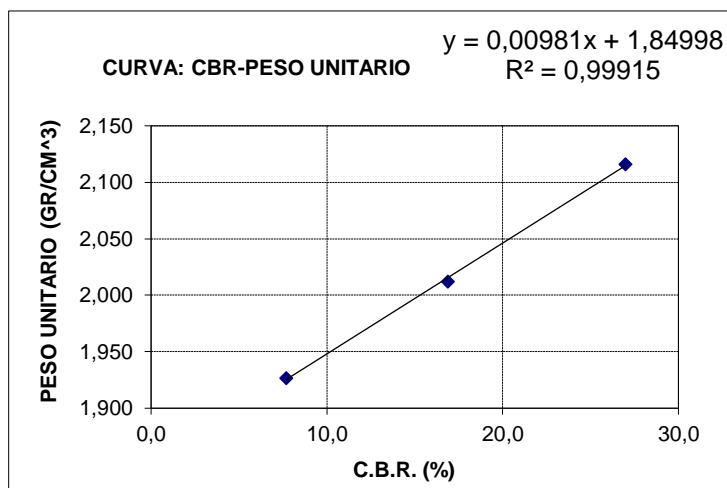
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico N°3.10: Penetración vs Esfuerzo. N°2.



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico N°3.11: C.B.R vs Densidad seca N°2.



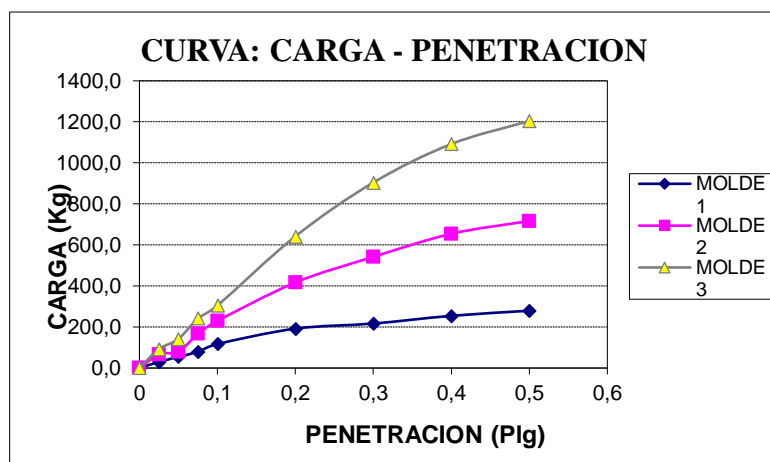
Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°3.15: Resultados del ensayo C.B.R. N°3.

| Características | Valores y resultados |
|-----------------------------|-------------------------|
| Densidad máxima | 2,24 gr/cm ³ |
| Contenido de humedad optimo | 7,45% |
| C.B.R al 100% | 42,04% |
| C.B.R al 95% | 27,95% |

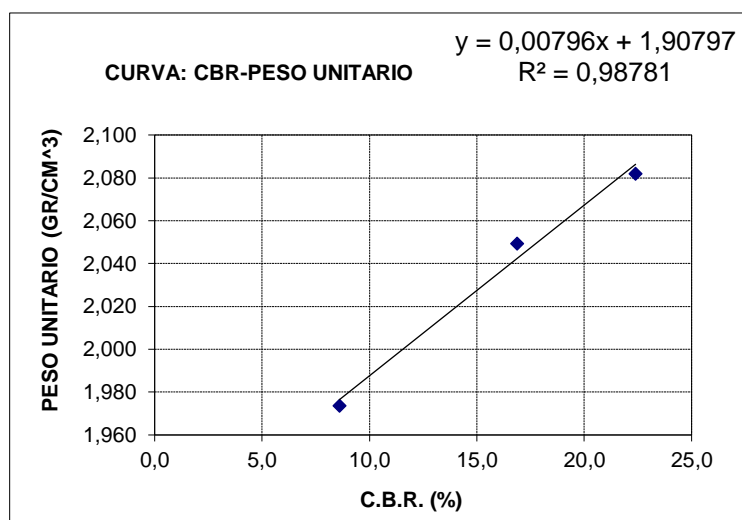
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico N°3.12: Penetración vs Esfuerzo. N°3.



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico N°3.13: C.B.R vs Densidad seca N°3.



Fuente: Elaboración propia.

3.7 CARACTERÍSTICAS CÁLCULO DE LAS MUESTRAS CON EL ADITIVO PERMA ZYME VERSIÓN 30X

Ya se describieron los tipos de muestras que se le añadirán este aditivo en distintos rangos de cantidad del producto.

3.7.1 Para la compactación y C.B.R.

Calculo empleado para 30 m³ de suelo compactado referido al proctor modificado de la muestra.

Densidad máxima seca = 2,246 gr/cm³

Contenido de humedad optimo = 7,28%

1m³ de suelo compactado ----- 2246 kg de suelo suelto

X ----- 5 kg de suelo suelto

$$X = 2,226 * 10^{-3} \text{ m}^3 \text{ de suelo compactado.}$$

Con esta cantidad de suelo compactado se hallará la cantidad necesaria de aditivo para cada proposición de trabajo, el cual se trabaja haciendo equivalencias ya es la forma en la que se conocerá la cantidad exacta del estabilizador.

0,8 litro de aditivo por 30 m³ de material compactado.

30 m³ de suelo compactado -----800 ml de aditivo

2,226*10⁻³ m³ de suelo compactado----- X

$$X = 0,06 \text{ ml de aditivo.}$$

Densidad de Perma zyme = 1,08 gr/ml. Entonces el peso de aditivo que se añadirá es:

$$P_{adit} = 1,08 \text{ gr/ml} * 0,060 \text{ ml} = 0,065 \text{ gr.}$$

1 litro de aditivo por 30 m3 de material compactado.

30 m3 de suelo compactado -----1000 ml de aditivo

$2,226 \cdot 10^{-3}$ m3 de suelo compactado----- x

X = 0,074 ml de aditivo.

Densidad de Perma zyme = 1,08 gr/ml. Entonces el peso de aditivo que se añadirá es:

$$P_{adit} = 1,08 \text{ gr/ml} * 0,074 \text{ ml} = 0,08 \text{ gr.}$$

50.5 litros de aditivo por 30 m3 de material compactado.

30 m3 de suelo compactado -----1500 ml de aditivo

$2,226 \cdot 10^{-3}$ m3 de suelo compactado----- x

X = 0,11 ml de aditivo.

Entonces el peso de aditivo que se añadirá es:

$$P_{adit} = 1,08 \text{ gr/ml} * 0,11 \text{ ml} = 0,12 \text{ gr.}$$

2 litros de aditivo por 30 m3 de material compactado.

30 m3 de suelo compactado -----2000 ml de aditivo

$2,226 \cdot 10^{-3}$ m3 de suelo compactado----- x

X = 0,15 ml de aditivo.

Entonces el peso de aditivo que se añadirá es:

$$P_{adit} = 1,08 \text{ gr/ml} * 0,15 \text{ ml} = 0,16 \text{ gr.}$$

3.8 CARACTERÍSTICAS CÁLCULO DE LAS MUESTRAS CON EL ADITIVO CEMENTO.

Ya se describieron los tipos de muestra que se le añadirá este aditivo en distintos rangos de cantidad

3.8.1 Para la compactación y C.B.R.

0,5% de cemento respecto al peso del suelo seco y suelto, donde nos basaremos con 5000 gr. peso referido con el que se trabajó para el ensayo proctor modificado.

$$P_{cemento} = 0,5\% * 5000 \text{ gr.} = 25 \text{ gr.}$$

1% de cemento respecto al peso del suelo seco y suelto.

$$P_{cemento} = 1\% * 5000 \text{ gr.} = 50 \text{ gr.}$$

2% de cemento respecto al peso del suelo seco y suelto.

$$P_{cemento} = 2\% * 5000 \text{ gr.} = 100 \text{ gr.}$$

4% de cemento respecto al peso del suelo seco y suelto.

$$P_{cemento} = 4\% * 5000 \text{ gr.} = 200 \text{ gr.}$$

**CAPITULO IV
ANALISIS Y COMPARACION DE RESULTADOS**

4.1 RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

Para determinar las propiedades físico-mecánicas del material granular tanto en estado natural y con adiciones de cemento portland tipo I y perma zyme versión 30x, se han realizado los ensayos de granulometría, contenido de humedad, límites de consistencia, compactación con energía modificada, C.B.R.

4.2 RESULTADOS DEL MATERIAL NATURAL

Con los resultados de granulometría y límites de consistencia se clasifico el suelo mediante los sistemas SUCS y AASHTO.

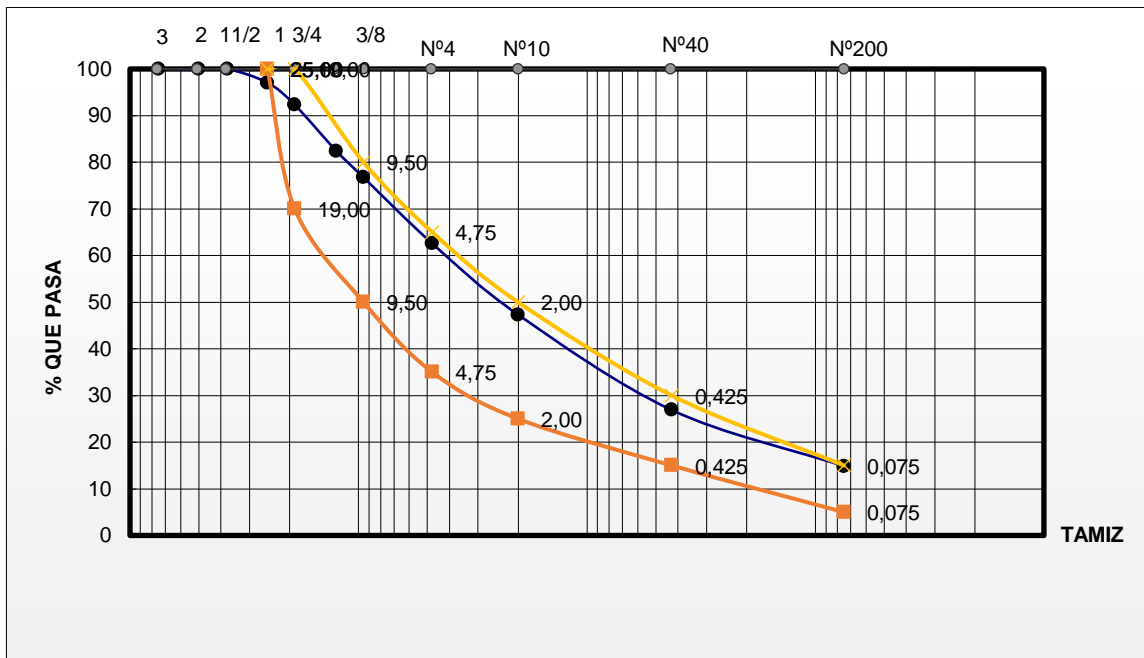
Tabla N°4.1: Clasificación de suelo y propiedades físicas del material granular en estado natural.

| Muestra N° | % Que pasa la malla 200 | Límite liquido (%) | Límite Plástico (%) | Índice de plasticidad (%) | Contenido de Humedad (%) | Clasificación SUCS | Clasificación AASHTO |
|------------|-------------------------|--------------------|---------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------|----------------------|
| 1 | 14,30 | NP | NP | NP | 3,11 | GM | A-1-a (0) |
| 2 | 14,03 | NP | NP | NP | 2,80 | SM | A-1-a (0) |
| 3 | 16,21 | NP | NP | NP | 3,13 | SM | A-1-b (0) |
| Promedio | 14,85 | NP | NP | NP | 3,01 | SM | A-1-a (0) |

Fuente: Elaboración propia.

Del análisis granulométrico, se determinó que el material granular utilizado para la investigación pertenece a la gradación TM-25 según las especificaciones del manual de la ABC.

Gráfico N°4.1: Curva granulométrica suelo natural.



Fuente: Elaboración propia

Una vez realizado la clasificación de suelo, se procede a realizar los ensayos de compactación con energía modificada, cuando se cuenta con los resultados de la máxima densidad máxima seca y el contenido de humedad óptimo se procede a realizar los ensayos de C.B.R.

Las propiedades mecánicas del material granular en estudio, en estado natural, se presenta en la siguiente tabla

Tabla N°4.2: Propiedades mecánicas del material granular en estado natural.

| Muestra N° | Máxima densidad seca (gr/cm ³) | Contenido de humedad optimo (%) | CBR (%) al 100% | Expansión (%) |
|------------|--|---------------------------------|-----------------|---------------|
| 1 | 2,247 | 7,38 | 40,15 | 0,26 |
| 2 | 2,247 | 7,02 | 40,45 | 0,24 |
| 3 | 2,243 | 7,45 | 42,04 | 0,23 |
| Promedio | 2,246 | 7,28 | 40,81 | 0,24 |

Fuente: Elaboración propia

De los resultados se observa que el material granular, está dentro de la gradación TM-25, del requerimiento granulométrico para sub bases y bases granulares presentando un porcentaje de 62,58% que pasa el tamiz N°4.

Se observa en general que todas las muestras en estado natural cumplen con algunas especificaciones generales de construcción para subbases y bases granulares y es material idóneo para ser utilizado en estabilización con cemento, según el manual de carreteras de la ABC, como también es idóneo para ser estabilizado con el multienzemático perma zyme según la tesis guía.

4.3 RESULTADOS CON PERMA ZYME

4.3.1 Límites de atterberg

Tabla N°4.3: Resumen de los resultados de límites de Atterberg.

| Perma Zyme | Sin aditivo | 0,8 lt. | 1 lt. | 1,5 lt. | 2 lt. |
|-----------------------|-------------|---------|-------|---------|-------|
| Límite liquido | 16,14 | - | - | - | - |
| Límite plástico | NP | NP | NP | NP | NP |
| Índice de plasticidad | NP | NP | NP | NP | NP |

Fuente: Elaboración propia.

En este ensayo no se pudo realizar una comparación de mejora por el motivo de que el material es un material no plástico se muestran imágenes del material no plástico.

Figura N°4.1: Muestra del material no plástico



Fuente: Elaboración propia

4.3.2 Compactación

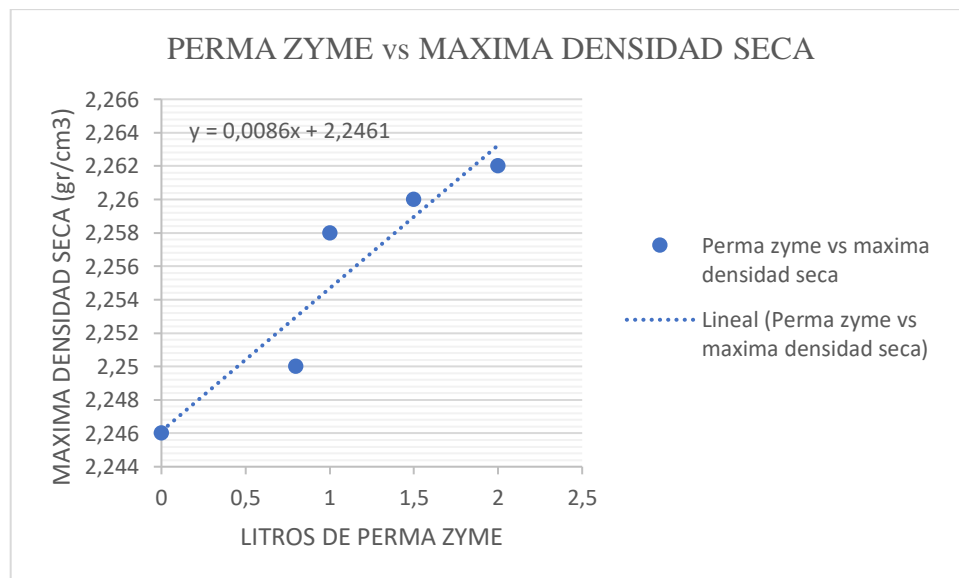
En el ensayo del Proctor modificado se trabajó con la relación del contenido de humedad en la muestra que son: 3%, 5%, 7% y 9% en cada dosificación de 0,8 lt; 1 lt; 1,5 lt y 2 lt de Perma zyme versión 30x en 30 m³ de suelo compactado, en la siguiente tabla se muestra la evolución de la densidad máxima seca.

Tabla N°4.4: Resumen de resultados de compactación.

| Perma zyme | Sin aditivo | PZ 0,8 lt. en 30 m ³ | PZ 1 lt en 30 m ³ | PZ 1,5 lt. en 30 m ³ | PZ 2 lt en 30 m ³ |
|---|-------------|---------------------------------|------------------------------|---------------------------------|------------------------------|
| Densidad máxima seca gr/cm ³ | 2,24 | 2,25 | 2,25 | 2,26 | 2,26 |
| Contenido de humedad optimo (%) | 7,28 | 7,20 | 7,03 | 6,84 | 6,78 |

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico N°4.2: Efecto de perma zyme en la máxima densidad seca.



Fuente: Elaboración propia.

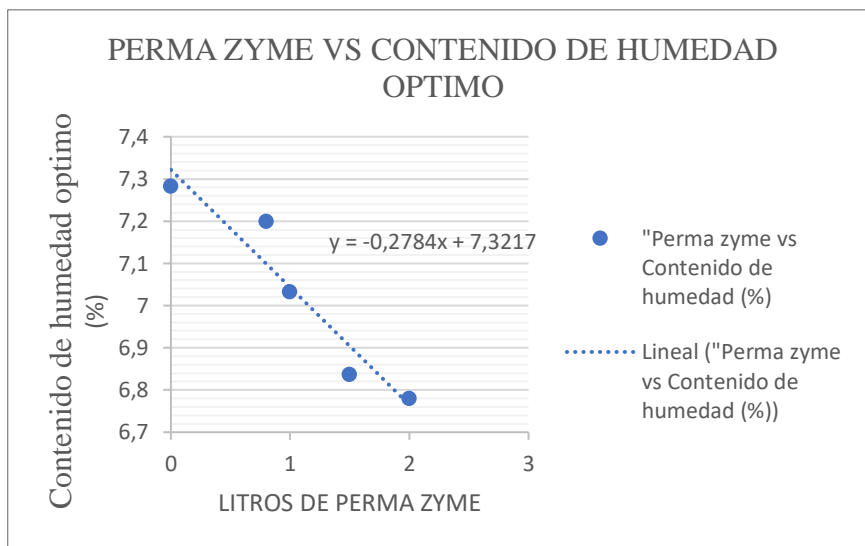
De la gráfica 4.3, se observa que al incrementar la adición de perma zyme al material granular, la máxima densidad seca aumenta en función del contenido de perma zyme adicionado. A medida que aumenta la densidad seca máxima de un suelo, se va a reducir el asentamiento y consecuentemente el cambio volumétrico de la capa del material granular que conforma la base de la carretera no pavimentada, amplificando con ello su resistencia, menor permeabilidad.

El efecto de perma zyme en la máxima densidad seca esta dado por la siguiente función:

$$Y= 0,0086 x + 2,2461$$

En la gráfica 4.4, se observa el efecto que produce el cemento en el contenido de humedad optimo del material granular.

Gráfico N°4.3: Efecto de perma zyme en el contenido de humedad.



Fuente: Elaboración propia.

Se observa que al incrementar la adición de perma zyme al material granular el contenido de humedad optimo disminuye en función del contenido de perma zyme.

El efecto de perma zyme en el contenido de humedad esta dado por la siguiente función:

$$Y= 7,3217 - 0,2784x$$

En las siguientes imágenes se muestra el uso del aditivo en la compactación:

Figura N°4.2: Producto perma zyme.



Fuente: Elaboración propia.

Figura N°4.3: Suelo granular compactado.



Fuente: Elaboración propia.

4.3.3 Relación de soporte de California C.B.R.

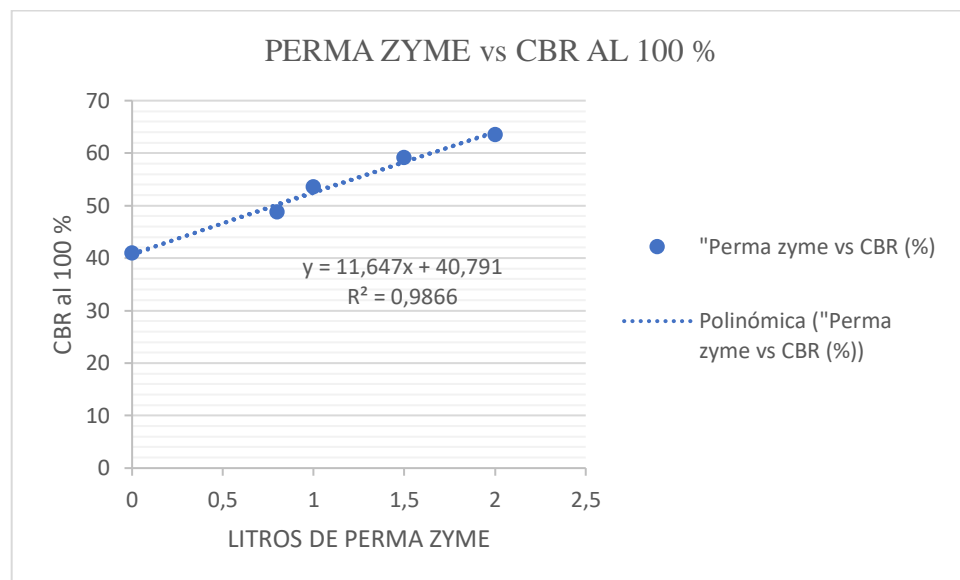
Al realizar este ensayo se tomó en cuenta la guía de laboratorio de este producto donde menciona el secado de 72 horas después del término de compactación, enrasado y registro de peso de la muestra en prueba para su reacción con el suelo y pasado este tiempo se tomó la lectura del extensómetro y sumergido en la poza de agua durante 96 horas para luego ser sometido a la prueba de carga.

Tabla N°4.5: Resumen de resultados de C.B.R.

| Perma zyme | Sin aditivo | PZ 0,8 lt. en 30 m3 | PZ 1 lt. en 30 m3 | PZ 1,5 lt. en 30 m3 | PZ 2 lt. en 30 m3 |
|--------------|-------------|---------------------|-------------------|---------------------|-------------------|
| CBR al 100 % | 40,88 | 48,72 | 53,49 | 59,14 | 63,46 |
| CBR al 95 % | 27,51 | 37,43 | 41,99 | 43,73 | 50,74 |
| Expansión | 0,24 | 0,19 | 0,15 | 0,12 | 0,10 |

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico N°4.2: Efecto de perma zyme en el C.B.R. al 100%.



Fuente: Elaboración propia.

De la gráfica 4.5, se observa que al incrementar la adición de perma zyme al material granular, el CBR al 100% de la máxima densidad seca aumenta en función del contenido de perma zyme adicionado, es decir la resistencia al corte del suelo aumenta.

El efecto del cemento en el contenido el CBR está dado por la siguiente función:

$$Y = 11,647x + 40,791$$

De los resultados se observa que esta propiedad aumenta considerablemente, en un rango de 0% a 23%, según este resultado es justificable adicionar perma zyme en cantidades de 0,8 litros por cada 30 m³ compactados y también de 1 litro por cada 30 m³ compactados los otros contenidos serian un poco antieconómicos por el costo que tiene el producto.

El C.B.R. en la mezcla de suelo perma zyme, especialmente los que contienen un porcentaje de material arcilloso que se dé un 15% a 35%

En las siguientes imágenes se muestra el uso del aditivo en el ensayo de C.B.R:

Figura N°4.4: Perma zyme diluido en agua.



Fuente: Elaboración propia.

Figura N°4.5: Moldes de C.B.R.



Fuente: Elaboración propia.

4.4 RESULTADOS CON CEMENTO PORTLAND TIPO I

Al material granular en estado natural, se le añade los porcentajes de cemento establecidos y se ejecuta los mismos ensayos para determinar los límites de consistencia, realizados al material en estado natural también se hará el análisis en cada ensayo al igual que con el anterior aditivo.

4.4.1 Límites de Atterberg

Tabla N°4.6: Resumen de los resultados de límites de Atterberg.

| Cemento | Sin aditivo | 0,5% | 1% | 2% | 4% |
|-----------------------|-------------|------|----|----|----|
| Límite líquido | 16,14 | - | - | - | - |
| Límite plástico | NP | NP | NP | NP | NP |
| Índice de plasticidad | NP | NP | NP | NP | NP |

Fuente: Elaboración propia.

La comparación tampoco se puede realizar por el motivo que como dice la guía de ABC Todo material que no posee uno de los dos límites es considerado no plástico en tal caso el material es no plástico.

Figura N°4.6: Muestra con cemento no plástica



Fuente: Elaboración propia

4.4.2 Compactación

El aplicar el aditivo cemento portland tipo I se ve el incremento de la densidad máxima seca, pero a la vez causa reducción en el contenido de humedad optimo según la cantidad añadida de este producto al suelo

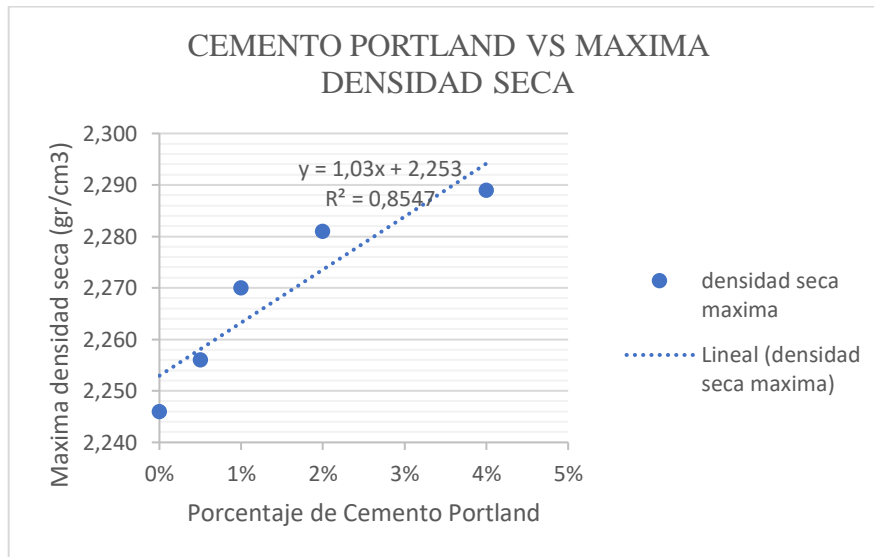
Tabla N°4.7: Resumen de resultados del ensayo de compactación.

| Cemento portland | Sin aditivo | 0,5 % | 1 % | 2 % | 4% |
|---|-------------|-------|------|------|------|
| Densidad máxima seca gr/cm ³ | 2,24 | 2,25 | 2,27 | 2,28 | 2,28 |
| Contenido de humedad optimo (%) | 7,28 | 7,06 | 6,84 | 6,61 | 6,17 |

Fuente: Elaboración propia.

Con los resultados de la tabla 4.7, se determina la tendencia del efecto que produce el cemento en la máxima densidad seca del material granular.

Gráfico N°4.5: Efecto del cemento portland tipo I en la máxima densidad máxima seca.



Fuente: Elaboración propia.

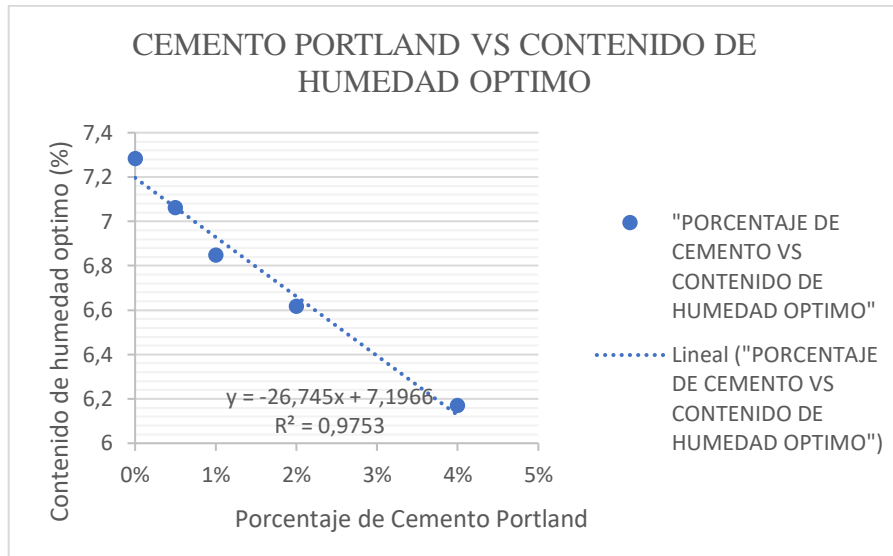
De la gráfica 4.7, se observa que al incrementar la adición de cemento al material granular, la máxima densidad seca aumenta en función del porcentaje de cemento adicionando. A medida que aumenta la densidad seca máxima de un suelo, se va a reducir el asentamiento y consecuentemente el cambio volumétrico de la capa del material granular que conforma la base de la carretera no pavimentada, amplificando con ello su resistencia, menor permeabilidad.

El efecto del cemento en la máxima densidad seca está dado por la siguiente función:

$$Y = 1.03x + 2.253$$

En la gráfica 4.8, se observa el efecto que produce el cemento en el contenido de humedad óptimo del material granular.

Gráfico N°4.6: Efecto del cemento portland tipo I en el contenido de humedad óptimo.



Fuente: Elaboración propia.

De la gráfica 4.8, se observa que al incrementar la adición de cemento al material granular, el contenido de humedad óptimo disminuye en función del porcentaje del cemento adicionado. El efecto del cemento en el contenido de humedad óptima este dado por la siguiente función:

$$Y = 7.1966 - 26.745x$$

En las siguientes imágenes se muestran el uso del cemento en la compactación:

Figura N°4.7: Material granular con cemento.



Fuente: Elaboración propia.

Figura N°4.8: Compactación del material granular con cemento.



Fuente: Elaboración propia.

4.4.3 Relación de soporte de California CBR.

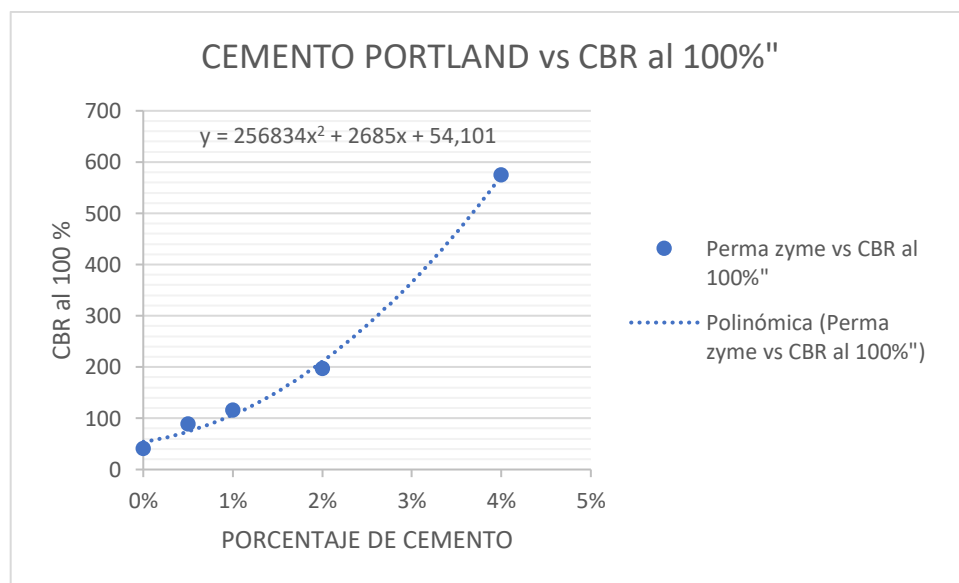
Tabla N°4.8: Resumen de resultados de C.B.R.

| Cemento Portland | Sin aditivo | 0,5 % | 1% | 2% | 4% |
|------------------|-------------|-------|--------|--------|--------|
| CBR al 100 % | 40,88 | 88,67 | 116,12 | 196,97 | 575,35 |
| CBR al 95 % | 27,51 | 63,83 | 80,74 | 159,64 | 414,15 |
| Expansión | 0,24 | 0,14 | 0,09 | 0,06 | 0 |

Fuente: Elaboración propia.

En la gráfica 4.9, se observa el efecto que produce el cemento en el CBR al 100% del material granular.

Gráfico N°4.7: Efecto del cemento portland tipo I en el C.B.R. al 100%.



Fuente: Elaboración propia.

De la gráfica 4.9, se observa que al incrementar la adición de cemento al material granular, el CBR al 100% aumenta en función del porcentaje del cemento adicionado, es decir la resistencia al corte del suelo aumenta.

El efecto del cemento en el contenido el CBR está dada por la siguiente función:

$$Y = 256834 x^2 + 2685 x + 54,101$$

De los resultados se observa que esta propiedad aumenta considerablemente, en un rango de 0% a 1306%, según este resultado no es justificable adicionar cemento en porcentajes mayores del 1%, por resultar antieconómico.

El C.B.R. en cualquier mezcla suelo cemento, especialmente los formados con suelos de material granular alcancen sistemáticamente valores tan altos de C.B.R, que su interpretación se hace poca clara.

En la siguiente imagen se muestra la lectura del equipo a una muestra con un porcentaje de cemento:

Figura N°4.9: Lectura del equipo de C.B.R.



Fuente: Elaboración propia.

4.5 TRATAMIENTO ESTADISTICO DE LOS RESULTADOS

Teniendo los resultados de las propiedades mecánicas provenientes del ensayo de C.B.R. variando los porcentajes de los aditivos, se procede a evaluar el comportamiento estadístico de los mismos.

4.5.1 C.B.R. con el porcentaje óptimo de los aditivos utilizados

Tabla N°4.9: Resumen de resultados de los C.B.R. del material granular añadiendo perma zyme y cemento.

| Descripción | Perma zyme (optimo 1 litro) C.B.R. al 100% | Cemento portland (optimo 0,5%) C.B.R. al 100% |
|------------------------|--|---|
| 1 | 56,28 | 80,92 |
| 2 | 54,42 | 86,64 |
| 3 | 49,76 | 98,45 |
| 4 | 51,28 | 88,65 |
| 5 | 53,92 | 82,38 |
| 6 | 57,10 | 81,69 |
| 7 | 53,02 | 83,75 |
| 8 | 50,89 | 87,48 |
| 9 | 55,35 | 85,17 |
| 10 | 52,63 | 90,53 |
| Media | 53,47 | 86,57 |
| Error probable Ep | 1,49 | 3,24 |
| Valor máximo (M+Ep) | 54,95 | 89,80 |
| Valor mínimo (M-Ep) | 51,98 | 83,33 |

Fuente: Elaboración propia.

4.5.2 Análisis del tratamiento estadístico de los resultados

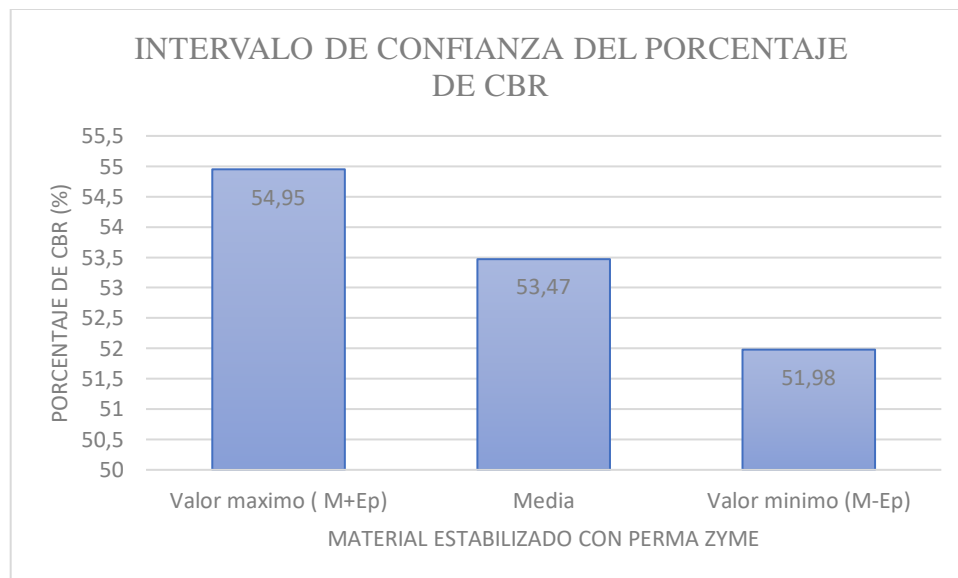
Como los resultados son muy próximos entre la media y los calculados se asumirá la media aritmética para continuar con el control y la evaluación de los resultados de los C.B.R. de la base granular de una carretera no pavimentada.

Tabla N°4.10: Resultados de los C.B.R. obtenidos en la estadística.

| N° | Descripción | CBR | |
|----|---|----------------------|------------------|
| | | 1Litro de Perma zyme | 0,5 % de cemento |
| 1 | Base granular estabilizada con 0,5% de cemento y con un litro de Perma zyme por cada 30m ³ | 53,47 | 86,57 |

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico N°4.8: Evaluación del porcentaje de C.B.R. estabilizado con perma zyme.

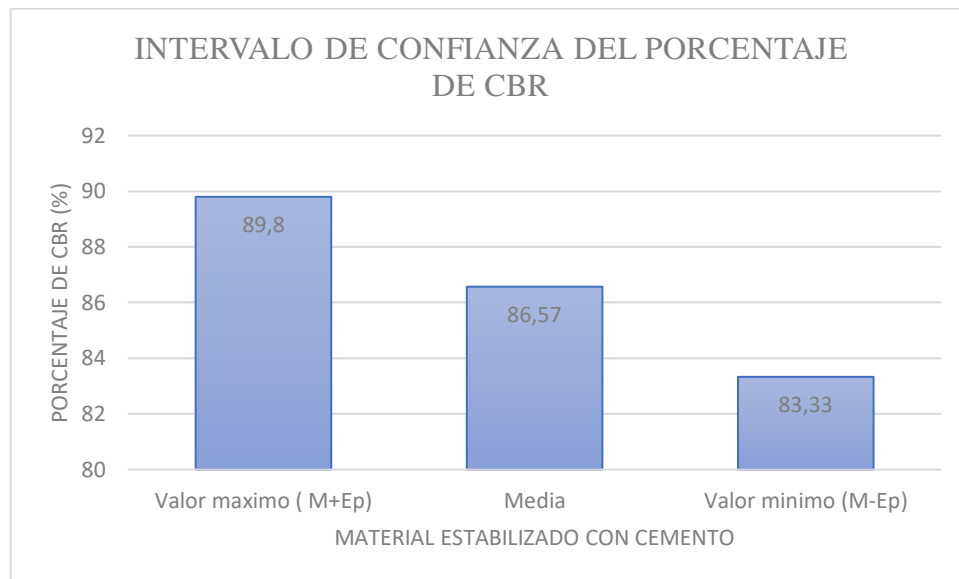


Fuente: Elaboración propia.

Análisis del resultado:

De acuerdo a la gráfica 4.10 se puede observar que el porcentaje de C.B.R. con el contenido óptimo del estabilizador de suelos perma zyme de 1 litro para 30 m³ de suelo compactado se encuentra dentro de unos valores no aceptados por el costo del producto no teniendo una excelente mejoría en la estabilización.

Gráfico N°4.9: Evaluación del porcentaje de CBR estabilizado con cemento.



Fuente: Elaboración propia.

Análisis del resultado:

De acuerdo a la gráfica 4.11 se puede observar que el porcentaje de C.B.R. con el contenido óptimo del cemento portland tipo I de 0,5% del material suelto se encuentra dentro de unos valores aceptados mostrando una excelente mejoría en la estabilización del material granular

4.6 RESULTADO DE LAS VARIABLES

4.6.1 Variables independientes

Teniendo en cuenta que en el punto 1.6.2 identificación de variables se dedujo para la presente investigación como variable independiente a las cantidades (porcentajes de cemento), (cantidad de perma zyme).

4.6.2 Variables dependientes

Como variables dependientes se tiene a las propiedades físico-mecánicas del material granular que son:

Índice de plasticidad, Densidad máxima seca, Relación de soporte CBR.

4.6.3 Relación y resumen de resultados de las variables.

Tabla N°4.11: Resultados y relación de variables.

| | | | Variables dependientes de las propiedades físico-mecánicas | | |
|--|-------------------------|---------|--|--|-----------------------------|
| | | | Índice de plasticidad (%) | Densidad máxima seca (gr/cm ³) | Relación de soporte CBR (%) |
| Variable independiente porcentajes del reemplazo de los estabilizadores | Perma zyme | 0,8 lt. | NP | 2,25 | 48,72 |
| | | 1 lt. | NP | 2,25 | 53,49 |
| | | 1,5 lt. | NP | 2,26 | 59,14 |
| | | 2 lt. | NP | 2,26 | 63,46 |
| | Cemento portland tipo I | 0.5% | NP | 2,25 | 88,67 |
| | | 1% | NP | 2,27 | 116,12 |
| | | 2% | NP | 2,28 | 196,98 |
| | | 4% | NP | 2,28 | 575,35 |

Fuente: Elaboración propia

En la presente tabla se muestra como es la variación de los porcentajes usados para la estabilización del material granular. Donde se remarca los resultados obtenidos del porcentaje óptimo para la estabilización del material granular.

4.7 VALIDACION DE HIPOTESIS

Dentro de la presente investigación se tiene las siguientes hipótesis.

“La utilización de los productos perma zyme y el cemento como agentes estabilizantes permitirá mejorar las propiedades físico mecánicas de la base granular de una carretera no pavimentada al ser analizados a partir de ensayos de laboratorio.”

Coefficiente de correlación por el método normal utilizando formula clásica

Determinación de covarianza:

Tabla N°4.12: Correlación de las variables de CBR por el método normal.

| Muestras | A | X | Y | AX | AY |
|----------|-------|-------|-------|---------|----------|
| 1 | 40,15 | 56,28 | 80,92 | 2259,64 | 3248,94 |
| 2 | 40,45 | 54,42 | 86,64 | 2201,29 | 3504,59 |
| 3 | 42,04 | 49,76 | 98,45 | 2091,91 | 4138,84 |
| | 40,88 | 53,49 | 88,67 | 6552,84 | 10892,37 |

Fuente: Elaboración propia.

$$\text{Covarianza suelo – perma zyme} = \frac{\sum AX}{N} - (A * X)$$

$$\text{Covarianza suelo – perma zyme} = \frac{6552,84}{3} - (40,88 * 53,49)$$

$$\text{Covarianza suelo perma zyme} = -2,39$$

$$\text{Covarianza suelo – cemento} = \frac{\sum AY}{N} - (A * Y)$$

$$\text{Covarianza suelo – cemento} = \frac{10892,37}{3} - (40,88 * 88,67)$$

$$\text{Covarianza suelo – cemento} = 5,96$$

Tabla N°4.13: Interpretación de coeficientes de correlación.

| Valor | Significado |
|--------------|--------------------------------------|
| -1 | Correlación negativa grande perfecta |
| -0,9 a 0,99 | Correlación negativa muy alta |
| -0,7 a 0,89 | Correlación negativa alta |
| -0,4 a 0,69 | Correlación negativa moderada |
| -0,3 a 0,39 | Correlación negativa baja |
| -0,01 a 0,19 | Correlación negativa muy baja |
| 0 | Correlación nula |
| 0,01 a 0,19 | Correlación positiva muy baja |
| 0,2 a 0,39 | Correlación positiva baja |
| 0,4 a 0,69 | Correlación positiva moderada |
| 0,7 a 0,89 | Correlación positiva alta |
| 0,9 a 0,99 | Correlación positiva muy alta |
| 1 | Correlación positiva grande perfecta |

Fuente: M. Suarez, Correlación y regresión aplicando Excel y graph Ibarra-Ecuador.

4.8 VERIFICACION DE HIPOTESIS

Obtenidos los coeficientes de correlación, planteamos las siguientes hipótesis:

Ho= Los procesos de estabilización de suelo con perma zyme y suelo-cemento, no permiten mejorar las características físico-mecánicas de suelos granulares de base granular.

Hi= Los procesos de estabilización de suelo con perma zyme y suelo-cemento permiten mejorar las características físico-mecánicas de suelos granulares de base granular.

Para plantear los resultados en la hipótesis se utilizará la Tabla N° 4.13, de la siguiente manera obtenemos los valores aceptables para la correlación:

Hipótesis nula (Ho):

Si el coeficiente de correlación es positivo Ho= $r \leq 0,39$

Si el coeficiente de correlación es negativo Ho= $r \geq - 0,39$

Hipótesis alternativa (Hi):

Si el coeficiente de correlación es positivo $H_i = r \geq 0,39$

Si el coeficiente de correlación es negativo $H_i = r \leq -0,39$

El coeficiente de correlación es -2,39 para la estabilización de suelo con perma zyme mientras que de 5,96 para la estabilización de suelo cemento.

Podemos decir que:

Hipótesis nula:

$$r \geq -0,39$$

$$-2,39 \geq -0,39$$

El valor negativo de correlación obtenido no resulta mayor que -0,39, se descarta la hipótesis nula.

Hipótesis alternativa:

$$r \leq -0,39$$

$$-2,39 \leq -0,39$$

El valor negativo de correlación obtenido resulta ser menor que -0,39, se mantiene la hipótesis alternativa.

Hipótesis nula:

$$r \leq 0,39$$

$$5,96 \leq 0,39$$

El valor de correlación obtenido no resulta menor que 0,39; se descarta la hipótesis nula.

Hipótesis alternativa:

$$r \geq 0,39$$

$$5,96 \geq 0,39$$

El valor de correlación obtenido resulta ser mayor que 0,39, se mantiene la hipótesis alternativa.

Es así que para todos los casos de estabilización descritos en el proyecto de investigación se acepta la hipótesis alternativa (Hi), los procesos de estabilización de suelo con perma

zyme y suelo cemento, permiten mejorar las características físico – mecánicas de un suelo granular de la base de una vía.

4.9 COSTO DE ESTABILIZACION

En el presente subtítulo se analizará los costos para la estabilización con perma zyme y cemento en la base granular que conforma la vía, está a la vez carpeta de rodadura en una carretera no pavimentada de 3 kilómetros de longitud considerado como un tramo de prueba considerando un espesor de 0,20 centímetros y ancho promedio de 8 metros.

4.9.1 Estabilización con perma zyme

A continuación, mostraremos el costo de estabilización con este producto en una longitud de 3 km, con ancho promedio de 8 m y espesor de 0,20 m.

Entonces el volumen de suelo compactado es:

$$V_{\text{Suelo compactado}} = 3000 \text{ m} * 0.20 \text{ m} * 8 \text{ m} = 4800 \text{ m}^3$$

Dosificación de 1 lt. de perma zyme:

1 lt. de perma zyme.....30 m³ de suelo compactado
 X lt. perma zyme.....4800 m³ de suelo compactado

$$X = \frac{4800 \text{ m}^3 * 1 \text{ lt. de perma zyme}}{30 \text{ m}^3} = 160 \text{ lt. de perma zyme}$$

Entonces el costo de estabilización con 1 lt. de perma zyme es:

1 lt. de perma zyme 188 dólares
 160 lt. de perma zymeX dólares

$$X = \frac{188 \text{ dolares} * 160 \text{ lt. de perma zyme}}{1 \text{ lt. de perma zyme}} = 30.080 \text{ dólares} = 209.356,8 \text{ bolivianos}$$

4.9.2 Estabilización con cemento portland tipo I

Con el uso del cemento necesitamos el peso de suelo suelto seco para así mostrar el costo de estabilización con este producto en una longitud de 3 km, con ancho promedio de 8 m y espesor de 0,20 m.

$$V_{\text{Suelo compactado}} = 3.000 \text{ m} * 0.20 * 8 = 4.800 \text{ m}^3.$$

Dosificación con el 0,5 % de cemento portland.

Densidad máxima seca = 2,246 gr/cm³.

Contenido de humedad optimo = 7,28%.

1 m³ de suelo compactado..... 2246 kg de suelo suelto

4800 m³ de suelo compactado X kg de suelo suelto

$$X = \frac{4800 \text{ m}^3 * 2246 \text{ kg}}{1 \text{ m}^3} = 10.780.800 \text{ kg de suelo suelto.}$$

El peso del suelo seco será menos el contenido de agua.

$$X + 7.28\% (X) = 10.780.800 \text{ kg.}, \text{ donde } x \text{ es el peso del suelo suelto seco.}$$

$$X = 10.049.217 \text{ kg de suelo suelto seco.}$$

Entonces el peso de cemento con 0,5% de suelo suelto es:

$$P_{\text{cemento}} = 0,5\% * (10.049.217 \text{ kg de suelo suelto seco}).$$

$$P_{\text{cemento}} = 50.246,085 \text{ kg de cemento.}$$

Por lo tanto, el costo con 0,5 % de cemento es:

50 kg de cemento 50 bolivianos

50.246,085 kg de cemento.....X bolivianos

$$X = \frac{50 \text{ bolivianos} * 50.246,085 \text{ kg de cemento}}{50 \text{ kg de cemento}} = 50.246,085 \text{ bolivianos} = 7.219,265 \text{ dólares}$$

4.10 EVALUACIÓN TÉCNICA.

Teniendo el material y añadiendo los aditivos para su mejora, se hizo una evaluación técnica de las propiedades físico mecánicas resultantes al estabilizar el suelo que conforma la base de la carretera no pavimentada está a la vez carpeta de rodadura mostrando la alternativa preferible, a continuación se muestra en la tabla, los resultados y comparación entre ambos aditivos y a la vez con los requisitos que debe cumplir el suelo en esta clase de carretera según el manual de carreteras del manual de la ABC, donde se menciona que el límite líquido es de 35% como máximo, el índice de plasticidad máximo 6 y CBR 40% como mínimo, referido al 100 % de la densidad máxima seca y una penetración de carga de 0,1”.

4.10.1 Límites de Atterberg.

En la siguiente tabla mostraremos el comportamiento del límite líquido, límite plástico, y por consiguiente el índice de plasticidad.

Tabla N°4.14: Resumen de valores de los límites de Atterberg.

| Propiedad física | Sin aditivo | Perma zyme | | | | Cemento | | | |
|------------------|-------------|------------|-------|---------|-------|---------|----|----|----|
| | | 0,8 lt. | 1 lt. | 1,5 lt. | 2 lt. | 0,5% | 1% | 2% | 4% |
| L.L | 16,14 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| L.P | NP | NP | NP | NP | NP | NP | NP | NP | NP |
| I.P. | NP | NP | NP | NP | NP | NP | NP | NP | NP |
| Requisitos | Cumple | Cumple | | | | Cumple | | | |

Fuente: Elaboración propia.

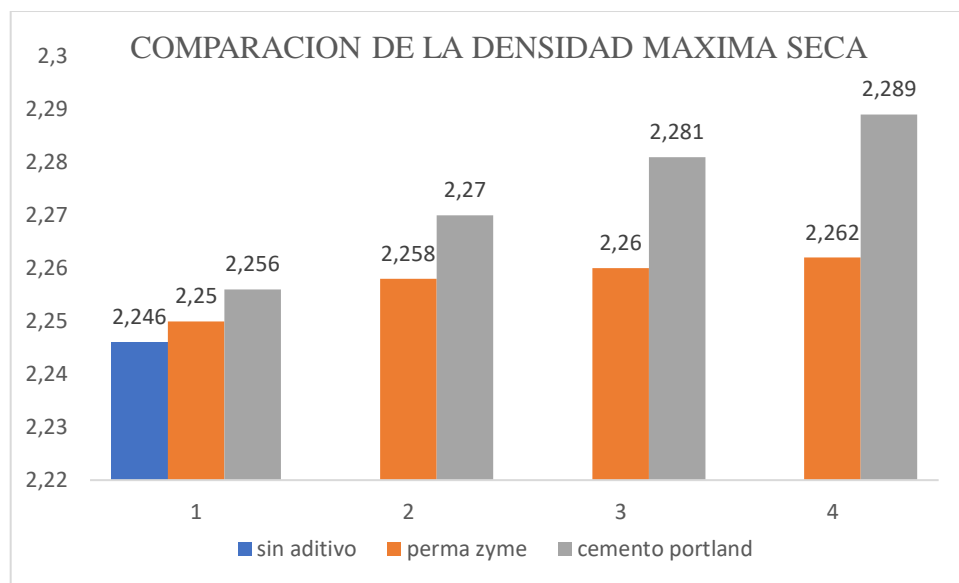
4.10.2 Compactación

Tabla N°4.15: Resumen de valores del ensayo de compactación.

| Propiedad mecánica | Sin aditivo | Perma zyme | | | | Cemento portland | | | |
|--------------------|-------------|------------|-------|---------|-------|------------------|------|------|------|
| | | 0,8 lt. | 1 lt. | 1,5 lt. | 2 lt. | 0,5% | 1% | 2% | 4% |
| D.M.S. | 2,24 | 2,25 | 2,25 | 2,26 | 2,26 | 2,25 | 2,27 | 2,28 | 2,28 |
| C.H.O. | 7,28 | 7,20 | 7,03 | 6,83 | 6,78 | 7,06 | 6,84 | 6,61 | 6,17 |

Fuente: Elaboración propia.

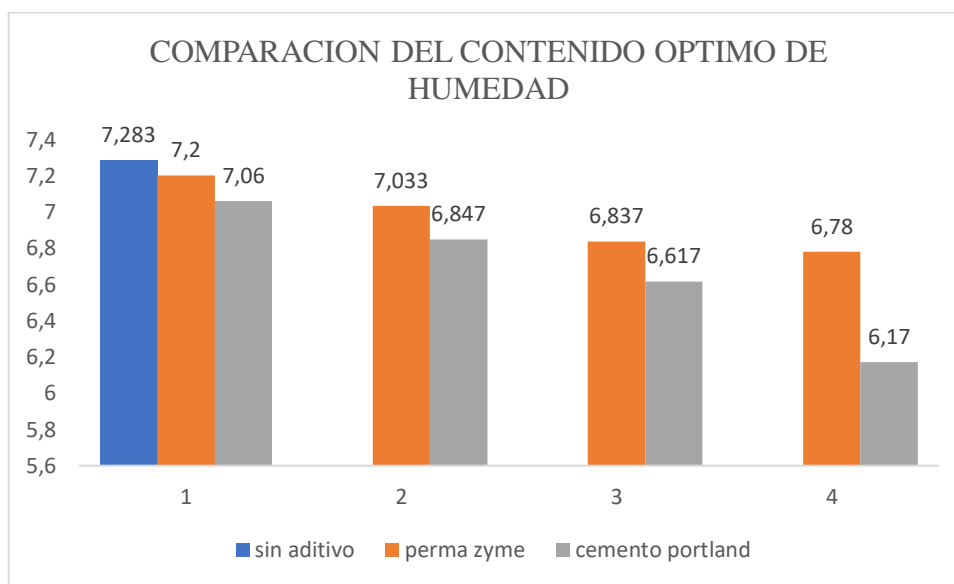
Gráfico N°4.10: Comparación de la densidad máxima seca entre los dos aditivos.



Fuente: Elaboración propia.

El aumento de la densidad seca máxima respecto a la muestra sin aditivo obtenido aplicando el producto perma zyme en el material adiciona un 0,18%; 0,53%; 0,62%; 0,71% y con la aplicación de cemento portland aumenta la densidad seca máxima en 0,44%; 1,06%; 1,56%; 1,91%, entonces así queda demostrado que a más dosificación del producto perma zyme, mas es el aumento de la densidad seca máxima, pero esto también ocurre con la aplicación del cemento portland, pero este lo hace en mayor porcentaje como se puede observar en la gráfica N°4.13.

Gráfico N°4.11: Comparación del contenido óptimo de humedad entre los dos aditivos.



Fuente: Elaboración propia.

La disminución del contenido de humedad óptimo en la muestra sin aditivo obtenido aplicando el producto perma zyme en el material disminuye en 1,09%; 3,39%; 6,09%; 6,87%, respectivamente a la dosificación ascendente y con la aplicación del cemento portland la reducción del contenido de humedad disminuye en 3,02%; 5,95%; 9,10%; 15,25%, con esto queda demostrado que a mayor dosificación del producto perma zyme, se reduce el contenido de humedad óptimo, esto también pasa con la adición del cemento portland a mayor dosificación disminuye el contenido de humedad óptimo pero en mayor porcentaje como se muestra en la gráfica.

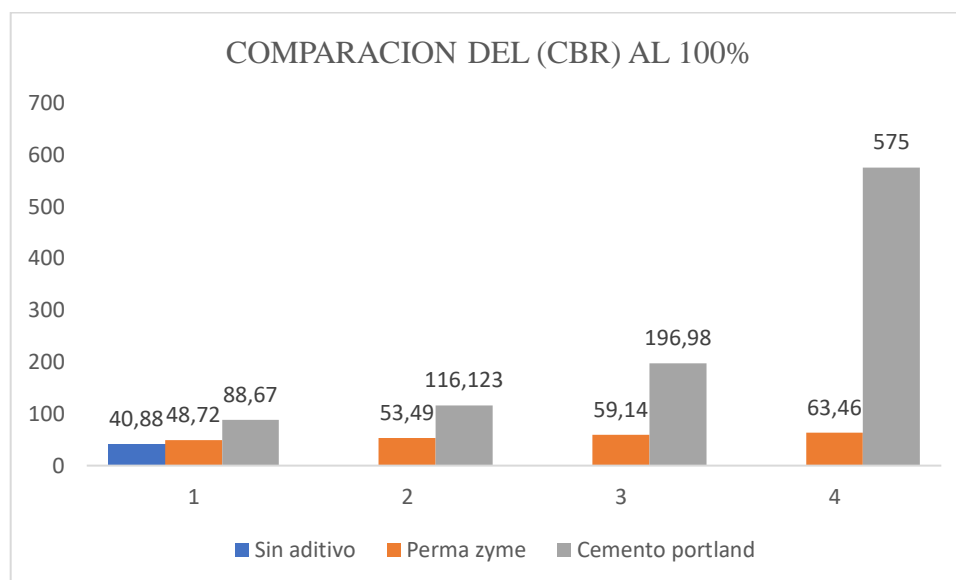
4.10.3 Relación de soporte de California CBR.

Tabla N°4.16: Resumen de valores obtenidos del ensayo CBR.

| Propiedad mecánica | Sin aditivo | Perma zyme | | | | Cemento portland | | | |
|--------------------|-------------|------------|-------|---------|-------|------------------|--------|--------|--------|
| | | 0,8 lt. | 1 lt. | 1,5 lt. | 2 lt. | 0,5% | 1% | 2% | 4% |
| CBR100% | 40,88 | 48,72 | 53,49 | 59,14 | 63,46 | 88,67 | 116,12 | 196,98 | 575,35 |
| CBR 95% | 27,51 | 37,43 | 41,99 | 43,73 | 50,74 | 63,83 | 80,74 | 159,64 | 414,15 |
| Requisito | Cumple | Cumple | | | | Cumple | | | |

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico N°4.12: Comparación del C.B.R. al 100% entre los dos aditivos.



Fuente: Elaboración propia.

El aumento del valor de soporte relativo C.B.R. al 100% de la densidad seca máxima respecto a la muestra sin aditivo obtenido aplicando el producto perma zyme en el material adiciona en 19,17%; 30,85%; 44,67%; 55,23%, y con la aplicación del cemento portland en 116,9%; 184,05%; 381,85%; 1306,55%; mostrando así que a más dosificación de estos

aditivos mayor es el resultado del valor del C.B.R. el cálculo se realizó respecto a los datos obtenidos del suelo sin aditivo inicial.

4.11 EVALUACIÓN ECONÓMICA.

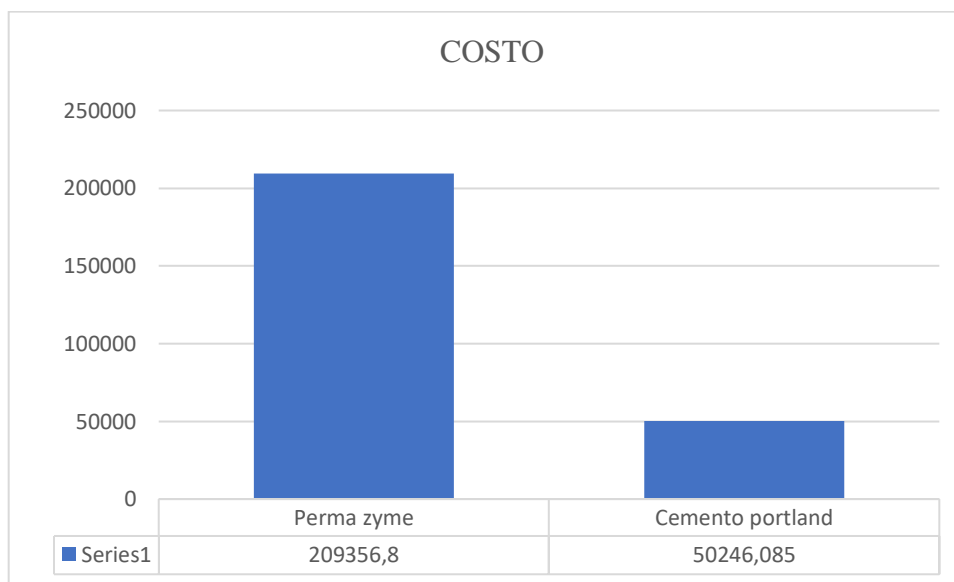
La evaluación económica se basará solo al costo de los aditivos aplicados a un tramo de prueba en la base y/o superficie de rodadura de la carretera no pavimentada, el cual fue calculado anteriormente teniendo así un resultado de 4800 m³ de suelo compactado.

Tabla N°4.17: Resumen de resultados de comparación de costos de estabilización.

| Aditivos | Dosificación optima | Precio en bolivianos |
|------------------|------------------------------------|----------------------|
| Perma zyme | 1 litro por cada 30 m ³ | 209.356,8 Bs. |
| Cemento portland | 0.5 % de cemento | 50.246,085 Bs. |

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico N°4.3: Costo de los aditivos a utilizar para 3 km de camino.



Fuente: Elaboración propia.

El costo de la aplicación del producto perma zyme en la estabilización del suelo es mucho mayor, respecto al uso del aditivo de cemento portland.

4.12 COMPARACION TÉCNICA

Teniendo el material y añadiendo los aditivos para su mejora, se hizo una comparación técnica de las propiedades físico mecánicas resultantes al estabilizar el suelo que conforma la base de la carretera no pavimentada está a la vez carpeta de rodadura mostrando la alternativa preferible, a continuación, se muestra en la tabla, una comparación técnica de un material de banco con un material de cantera estabilizado.

Tabla N°4.18: Comparación de propiedades físicas y mecánicas.

| Material de banco | Material de cantera estabilizado |
|--|---|
| No se permite el empleo de los suelos de la zona si estos no cumplen con los requisitos que se necesitan | Permite el empleo de los suelos de la zona, mejorando sus características hasta el grado deseado |
| Su resistencia a la deformación está determinada casi exclusivamente | Material que no cumple la resistencia para uso vial pero que puede ser usado con éxito |
| Los agregados granulares para cualquier capa de un pavimento deben ser caracterizados para establecer su idoneidad | Los agregados obtenidos no necesariamente deben cumplir ya que estos se puedan modificar viendo siempre lo económico |
| Obtener información útil para el diseño estructural del pavimento | Se recomienda obtener la información para ver si necesita una mejora en la parte técnica |
| Tiene que ser una Gradación uniforme, gradación buena, gradaciones discontinuas | La granulometría no es tan estricta como en un material de banco, pero si cumplir algunos requisitos |
| Determinar partículas aplanadas y alargadas 35% max. | No es necesario obtener esto |
| Es necesario obtener el Índice plástico para determinar su clasificación Limite liquido 0% Índice plástico 6% max. | Se necesita obtener índice plástico para su determinada clasificación Limite liquido 35% máx. Índice plástico 9% máx. |
| Es necesario obtener el equivalente de arena 30% min. Desgaste de los ángeles 35% max. | Si es necesario cumplir con algunos de estos Desgaste de los ángeles 50% máx. |
| Solidez bajo la acción de sulfatos 12% max. | Por los equipos necesarios no es tan necesario |
| CBR 80% min. | CBR 40 min. |

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la tabla N°4.17 algunas especificaciones técnicas que deben de tener una base granular de banco en esta tabla se comparan solo algunas de estas especificaciones técnicas que fueron descritas en esta investigación. De estas

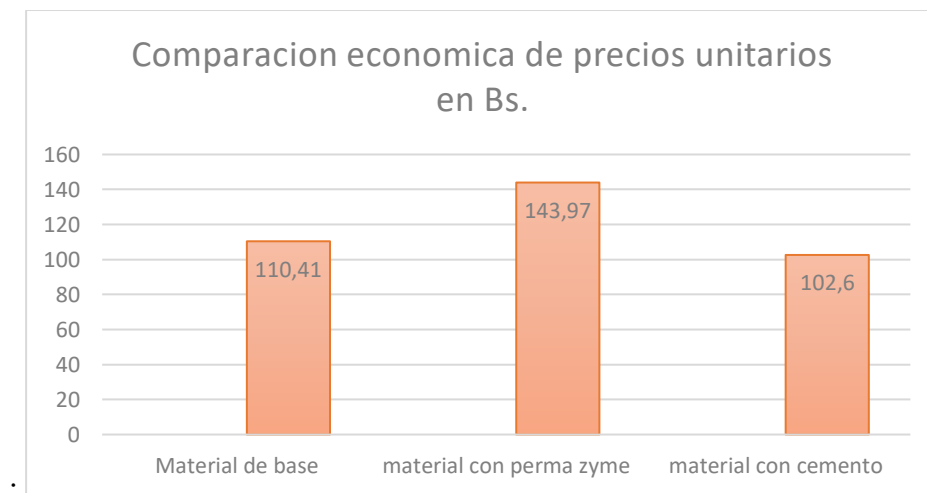
especificaciones podemos decir que la base de rodadura estabilizada con cemento tiene una mejora importante en su resistencia de CBR y la base de rodadura estabilizada con perma zyme tiene una mejora considerable para el uso de una base de rodadura de bajo tráfico.

4.13 COMPARACION ECONOMICA

Las siguientes tablas resumen los costos por m³ de Camino hecho con material granular o un afirmado sin estabilizar con Base Granular A y otro con el mismo material, pero estabilizado con Cemento para suelo natural y perma zyme para suelo natural y con condiciones de tráfico bajo.

Analizando los precios unitarios que se encuentran en el ANEXO 6 se hizo la siguiente grafica para poder ver los resultados y comparar estos:

Gráfico N° 4.4: Análisis de precios unitarios.



Fuente: Elaboración propia.

Según la gráfica se puede observar que en lo económico un material estabilizado con cemento utilizado como rodadura granular es más económico que una base granular de banco también una que fue estabilizado con perma zyme es un poco más económicamente hablando, ya que sus especificaciones técnicas de un material de banco son mejores que los materiales estabilizados y usados como rodadura granular.

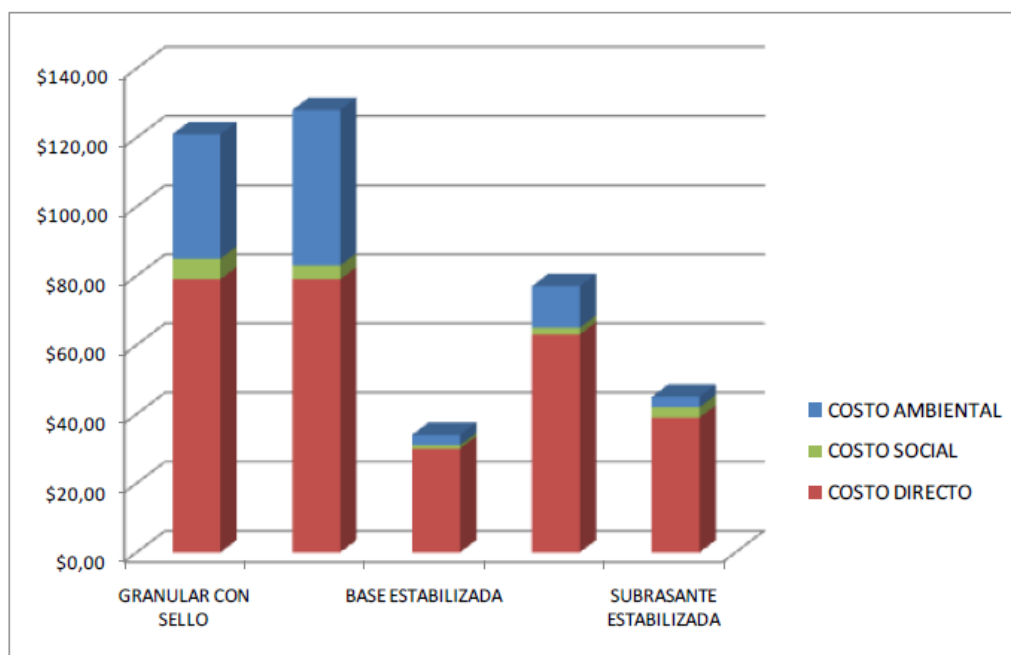
4.14 COMPARACION AMBIENTAL

Las bases granulares presentan, bajos impactos ambientales en su extracción y producción; sin embargo, el transporte de agregados, influye significativamente en el impacto al ambiente y su impacto es directamente proporcional a la distancia de acarreo.

En el caso de Suelos tratado con ligantes hidráulicos, la producción de cemento o cal presentan un alto impacto al medioambiente, sin embargo, su baja proporción en el tratamiento del suelo, así como las cantidades reducidas de transporte, generan menores impactos que las bases granulares.

En el año 2004 en Australia, basado en su interés de determinar mediante un estudio la sumatoria de costos, no solo del punto de vista constructivo sino costos sociales y ambientales, Tom Wilmott de la asociación de pavimentos estabilizados preparo un trabajo en el cual determino tal como lo pueden observar en la figura, que la estabilización de bases o subrasantes representan el 50% en costo de los métodos constructivos tradicionales.

Figura N°4.10: Comparación de costos directos, sociales, ambientales (Wilmot 2004).



Fuente: Congreso mexicano del asfalto.

Comparación que muestra que los materiales y procedimientos de concreto demandan mayor cantidad de energía que las mezclas de asfalto en caliente; sin embargo, el estudio también concluye que la estabilización de suelos en sitio y reciclado de pavimentos son los procesos que menos energía requieren como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla N°4.19: Comparación ambiental entre un material de banco con un material de cantera estabilizado

| Material de Banco | Material de Cantera estabilizado |
|--|--|
| <p>Aire. - No existe mucha contaminación en su extracción por lo tanto la contaminación al aire es mínima ya que se trabaja de manera más segura.</p> | <p>Aire. –Las emisiones ocurren debido que en la etapa de explotación se produce cierta cantidad de partículas y gases que quedan suspendidos en el aire y liberan sustancias contaminantes El transporte también hace que el material se disperse si no se encuentra humectada</p> |
| <p>Suelo. - en materiales de banco se ve la sobre explotación del material en una zona indicada también causando erosión</p> <p>En el empleo de suelos o materiales disponibles en lugares respectivos evita explotar nuevos yacimientos</p> | <p>Suelo. - en este aspecto se puede ver el deterioro de los paisajes, disminución de la vegetación. En algunos momentos y debido a la erosión estas vibraciones ocasionan deslizamientos. Se disminuye la cantidad de agua en el suelo Cambio de las propiedades físicas del suelo</p> |
| <p>Sonido. - el uso de la maquinaria utilizada y los equipos generan un ruido moderado por los lugares donde se ubican</p> <p>En el acarreo y colocado del material si genera un ruido que incomoda a la población es directamente proporcional a la distancia de acarreo</p> | <p>Sonido Los niveles de ruido altos los cuales se encuentran en la etapa de explotación El uso de explosivos a cielo abierto se constituye se constituye por una onda de sonido que puede afectar a los habitantes Las emisiones de ruido presentes en esta zona de explotación son los equipos utilizados para transporte y perforación que son necesarios para la extracción de materiales</p> |

Fuente: Elaboración propia

Si tomamos en cuenta los costos sociales, se mantiene la misma tendencia de hasta un 50 % de reducción de costos; sin embargo, en el caso de los costos ambientales los mismo representan una gran de diferencia.

Comparación que muestra que los materiales y procedimientos de concreto demandan mayor cantidad de energía que las mezclas de asfalto en caliente; sin embargo, el estudio también concluye que la estabilización de suelos en sitio y reciclado de pavimentos son los procesos que menos energía requieren como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla N°4.20: Uso total de energía para los materiales de construcción de pavimentos. (Chappat y Bilal, 2003).

| Producto | Aglomerantes | Agregados | Manufactura | Transporte | Colocación | Total (MJ/t) |
|--|---------------------|------------------|--------------------|-------------------|-------------------|---------------------|
| Concreto bituminoso | 279 | 38 | 275 | 79 | 9 | 680 |
| Concretos asfálticos de alto modulo | 284 | 38 | 289 | 79 | 9 | 699 |
| Mezcla de asfalto en frio | 314 | 36 | 14 | 86 | 6 | 457 |
| Material granular sin tratamiento | 0 | 40 | - | 68 | 6 | 113 |
| Tratamientos de suelos in situ | 63 | 0 | - | 7 | 12 | 81 |

Fuente: Congreso mexicano del asfalto.

Es importante resaltar que tanto para el consumo de energía como para la emisión de gases de invernadero; la base granular presenta mayores consumos y emisiones de CO₂ que el tratamiento de suelos en sitio mediante el uso de agentes estabilizantes como la cal y el cemento portland y otros.

Una tonelada de base granular sin tratamiento consume un 40% más de energía que una tonelada de suelo estabilizado en sitio. Esto sin tomar en cuenta que 1cm de base granular aporta un 50% menos de capacidad estructural que 1cm de material estabilizado, lo que implica que al cuantificar los consumos de una estructura de pavimento los ahorros de energía serán mayores a un 40%.

Una tonelada de base granular sin tratamiento genera un 7% más de gases de invernadero que una tonelada de suelo estabilizado en sitio. Esto sin tomar en lo explicado anteriormente con relación a la capacidad estructural.

4.15 COMPARACION SOCIAL

Tabla N°4.21: Comparación social de un material de banco y un material de cantera.

| Material de banco | Material de cantera estabilizado |
|--|--|
| Desde el punto de vista económico construir con este tipo de material genera un costo para el lugar | Con este material la inversión no sería tan elevada reduciría el costo y se podrían unir más comunidades |
| Por el costo que generan estas carreteras no se las realiza en muchos lugares de bajo tráfico y esto evita la reactivación económica de los comunarios de alguna comunidad | Al encontrar material en el lugar y con la mejora de sus propiedades la reactivación de los pueblos aislados por falta de comunicación sería mucho mejor para un desarrollo más sostenible |
| Con este tipo de material se construirán pocos caminos por el costo que llegarían a tener y pocos pueblos podrán mejorar su calidad de vida por no activar una economía en su región | Con este tipo de material se podrá llegar a más comunidades y mejorar su calidad de vida de estas así mismo la comunicación en más comunidades mejorará |

Fuente: Elaboración propia.

Desde el punto de vista económico los caminos de bajo volumen de tránsito amplían el mercado nacional, promueven la producción local al posibilitar las salidas de las mismas. Las comunidades aisladas no pueden prosperar, las satisfacciones que necesitan sus pobladores son difíciles de conseguir y los caminos en mal estado elevan los costos de transporte y los costos de producción.

Si se tratará de construir un solo camino o unos pocos caminos para unir las comunidades, la inversión no sería tan elevada. Pero si se tratase de construir decenas de miles de kilómetros para unir comunidades; el relativo bajo costo de un camino o de un kilómetro de camino, se tendría que multiplicar por decena de miles de kilómetros, lo que conlleva a un problema financiero, si se optase por asfaltar dichos caminos. De ahí el interés por parte del Ministerio del Transporte y Comunicaciones (MTC) por apostar en mejorar las carreteras de bajo volumen de tránsito, aplicando estabilización asfáltica. Inversión pequeña, comparado con la inversión que conlleva al construir carreteras asfaltadas.

Es ahí, que luego de conceptualizar el problema de inversión en carretas asfaltadas, y viendo la respuesta del MTC por estabilizar las carreteras de bajo volumen de tránsito con emulsión asfáltica, que nos indujo a realizar la investigación relacionada a este tema, con fines de comprobación, si en verdad estabilizar con Emulsión Asfáltica era la mejor opción a utilizar en las carreteras peruanas de bajo volumen de tránsito, que si se aplicase otro tipo de estabilizador, que para nuestro caso fueron los utilizados la cal y el cemento. Realizando para tal estudio, cálculos de las propiedades físicas de los materiales (cantera), cálculos de las resistencias esperadas; todo ello, a fin de obtener parámetros que nos lleven a determinar el tipo de estabilizador, que según características particulares del tramo elegido en la investigación es el indicado. Conociendo el porcentaje de participación del estabilizador en la mezcla con el material de cantera y determinado tanto los valores de Compresión simple, valores del CBR de los suelos mezclados con los diferentes estabilizadores, valores de Tracción Indirecta, se realiza el diseño estructural para cada uno de los suelos estabilizados, obteniendo así el espesor en metros que se debería construir en el caso de ser factible, entre los tres tipos de diseños estructurales, decisión que depende no solo por realizar un análisis técnico sino también por realizar un análisis de costos y ver cuán beneficiosa podría resultarnos dicha elección. Elección muchas veces mal realizada, reflejándose ello, en las malas condiciones de servicio que presentan las carreteras sin que antes cumplieran el periodo de vida útil a la cual fueron diseñadas.

Para encarar la solución de los problemas sociales y económicos del País, y en particular para mejorar la calidad de vida de las poblaciones rurales, así como para restablecer las comunicaciones entre el campo y la ciudad, propiciando el retorno de la población campesina a sus comunidades de origen, el Estado ha fijado metas concretas para lo cual ha adoptado políticas que incluyen objetivos a corto, mediano y largo plazo, dentro del marco de la descentralización. Una de estas políticas de descentralización consiste en incrementar la inversión en la rehabilitación de la infraestructura rural de transporte que haga posible la reactivación de económica de pueblos aislados por la falta de comunicación con las grandes ciudades que propicien su desarrollo sostenible en el tiempo. Para concretar la realización de estos objetivos, se tiene previsto realizar inversiones significativas en carreteras y caminos no solamente comprendidos en la red Nacional, sino también en las vías pertenecientes a la red Departamental y a la red Vecinal,

para lo cual el Estado ha solicitado el apoyo del Banco Mundial- BIRF y del Banco Interamericano de Desarrollo- BID, para continuar con el Programa de Transporte Rural Descentralizado a cargo del Proyecto Especial de Infraestructura de Transporte Descentralizado, La inversión pública debe estar orientada a mejorar la capacidad prestadora de servicios públicos del Estado de forma que estos se brinden a los ciudadanos de manera oportuna y eficaz. La mejora de la calidad de la inversión debe orientarse a lograr que cada nuevo boliviano invertido produzca el mayor bienestar social. Esto se consigue con proyectos sostenibles, que operen y brinden servicios a la comunidad ininterrumpidamente. Hay diferentes actores en el SNIP y cada uno de ellos es responsable de cumplir determinadas funciones a lo largo de la preparación, evaluación ex ante, priorización, ejecución y evaluación ex post de un proyecto.

CAPITULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

Una vez terminada la investigación se tiene las siguientes conclusiones:

- Se concluyó que la presente investigación cumplió con los objetivos planteados ya que se puede verificar la influencia positiva de los dos estabilizantes.
- De acuerdo a la hipótesis planteada se verificó en la investigación que las propiedades mecánicas del material granular, si se incrementan al añadir distintos porcentajes de los aditivos al suelo granular, se trabajó con un contenido óptimo tanto en lo económico como en lo técnico y en ambos se pudo observar mejoras.
- La muestra de suelo granular utilizado en la investigación y en los ensayos se tomó de tal forma que no se hizo ningún cambio, es decir que no se modificó por material de mejores características y por tal razón los resultados obtenidos se reflejan en los ensayos obtenidos, de eso se trató la realización de este proyecto estudiándolo en condiciones naturales.
- Dentro de los ensayos de caracterización del suelo granular natural se pudo verificar mediante el ensayo de límites que el suelo tenía un límite líquido y no así un límite plástico por lo que se consideró material no plástico.
- En los resultados de relación de soporte C.B.R. obtenidos en los especímenes del material natural, con perma zyme, suelo cemento, se pudo ver claramente una diferencia entre los valores. El material natural dio un C.B.R. de 40,88% y al ser modificado con perma zyme presentó un valor de CBR de 53,49% y para las muestras de suelo-cemento arrojó un C.B.R. de 88,67% respectivamente, lo que quiere decir que tuvo un incremento de 13%; 48% igualmente se puede comentar que el perma zyme no tuvo los resultados esperados.
- Con el porcentaje de cemento óptimo 0,5%, se hace una comparación entre las densidades seca máxima del material en estado natural, perma zyme y cemento, mostrando como resultados lo siguiente la densidad máxima del material natural fue de 2,24 gr/cm³ y su humedad óptima 7,28%, para las mezclas de perma zyme estos valores fueron de 2,25gr/cm³ y una humedad de 7,03%, y por último las mezclas de

suelo cemento su densidad máxima fue de 2,25gr/cm³, y una humedad de 7,06% viendo una distancia muy corta entre el uno y el otro.

- La utilización del multienzimático perma zyme permite la conservación del medio ambiente, reacciona bien con un suelo fino, en esta investigación el material granular no tenía mucho contenido de suelo fino esto afectó en mejores resultados de este estabilizante.
- Podemos ver claramente en esta investigación que el costo del cemento es mucho menor que el de perma zyme, debido a que la dosificación del perma zyme según su manual técnico dice que se debe usar un litro de perma zyme para tratar 30m³ de material, lo cual tiene un costo de 188 dólares. Mientras que el cemento el contenido óptimo para este material granular fue de 0,5% para esta investigación generando un costo demasiado bajo, debido a que para los mismos 30m³ de material se necesitan 0.165m³ de cemento que corresponden a 7,5 bolsas de cemento, que el costo es de 54 dólares, lo cual indica que es más económico estabilizar con cemento.
- Podemos constatar que la base de rodadura es un afirmado de material granular que en algunas especificaciones técnicas para base granular y subbase puede cumplir, pero no en todas por tal motivo se hizo una comparación con un material de banco con las especificaciones que se pudieron mejorar

5.2 RECOMENDACIONES

Una vez concluido el trabajo de investigación se tiene las siguientes recomendaciones:

- Es necesario tener en cuenta, para la elaboración de proyectos de investigación sobre estabilizaciones en bases granulares donde incluyan productos innovadores, que mejoren su comportamiento como material constitutivo de un pavimento, se establezca una investigación previa referente al tema, con el fin de evitar inconsistencias en el continuo desarrollo del proyecto.
- Es necesario tener en cuenta de tener mucha más información y datos acerca de los estabilizantes datos como el costo del producto, donde se encuentra mayormente quienes lo distribuyen así para no tener problemas en el desarrollo del proyecto.
- Se pide realizar un muestreo mucho más amplio en el cual intervengan, no solo los parámetros que se variaron en este trabajo si no también utilizar bases granulares de carreteras no pavimentadas que actúan como capa de rodadura que contengan mayor contenido de suelo fino para ver una mejor acción del estabilizante perma zyme.
- Compañeros que deseen adelantar investigaciones al respecto, deben enfocar sus ideas a la consecución del desarrollo de este tema, implementando nuevos productos innovadores por ser de gran utilidad al adelanto ingenieril en cuanto a estabilizaciones se refiere para bases, subbases, de carreteras no pavimentadas que sirven como capa de rodadura.
- Se recomienda establecer parámetros comparativos de costos entre los diferentes tipos de agentes estabilizantes disponibles en el mercado y el perma zyme utilizado en la presente investigación, para determinar qué tan viable es económicamente el producto.
- Se recomienda realizar pruebas usando perma zyme como agente estabilizador en materiales de diferentes suelos de nuestro departamento para tener más resultados sobre este estabilizante, también analizar su impacto ambiental con la aplicación de este.
- Se recomienda usar otros estabilizadores químicos, en caso de que el costo de adición sea demasiado elevado con los aditivos de la investigación