

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



**PAVIMENTOS ESTRUCTURALES BIOTECNOLÓGICOS DE LARGA VIDA,
EMPLEANDO EL ADITIVO ECOLÓGICO PERMAZYME 11X EN VÍAS
AFIRMADAS Y SU APLICACIÓN EN LA PISTA DE PRUEBA DEL INSTITUTO
DE BIOTECNOLOGÍA MOLECULAR Y REPRODUCTIVA ANIMAL IBMRA-
UPAO**

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

LINEA DE INVESTIGACION: TRANSPORTES

AUTORES : BR. CHRISTIAN ANDREÉ, FERNÁNDEZ VÍLCHEZ.
BR. WAGNER SALAZAR PULCE

ASESOR : ING. GERMÁN SAGÁSTEGUI VÁSQUEZ.

**TRUJILLO – PERÚ
2015**

PRESENTACIÓN

Señores Miembros del jurado:

De conformidad y en cumplimiento con los requisitos estipulados en el reglamento de grados y Títulos de la Universidad Privada Antenor Orrego y el Reglamento del Programa Académico de Tesis Asistida de la Facultad de Ingeniería, ponemos a vuestra disposición el presente Trabajo de Suficiencia Profesional titulado: “Pavimentos Estructurales Biotecnológicos de Larga Vida, empleando el Aditivo Ecológico PERMAZYME 11X en Vías Afirmadas y su Aplicación en la Pista de Prueba del Instituto de Biotecnología Molecular y Reproductiva Animal IBMRA-UPAO” para obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil.

El contenido del presente trabajo ha sido desarrollado tomando como marco de referencia las Normas Técnicas Peruanas establecidas por el Ministerio de Transporte y Comunicaciones según la línea de investigación, las normas establecidas en la AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) aplicando los conocimientos adquiridos durante la formación profesional en la universidad, consulta de fuentes bibliográficas especializadas y con la experiencia del asesor.

Los Autores.

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación representa todo el esfuerzo de una etapa muy importante en mi vida académica, el cual se lo dedico en primer lugar a Dios, que siempre me ilumina para superar los obstáculos presentes día a día y que sin él nada sería posible; y a las siguientes personas que sin duda alguna fueron piezas fundamentales para lograr alcanzar esta meta que hoy es una realidad:

A mi abuela: Elisa Rita Campos Sánchez y a mi madre María Antonieta Vílchez Campos, mis dos ángeles protectores, que desde el cielo me bendicen y me dan fortaleza para seguir adelante; y por nunca abandonarme en los momentos más difíciles y poder así alcanzar mis metas trazadas siguiendo sus consejos y enseñanzas que me dieron en vida.

A mi padre: Carlos Andrés Fernández Reyes y a mis hermanos: Carlos Antonio Fernández Vílchez y Karla Elisa Fernández Vílchez por apoyarme y ser parte de esta maravillosa experiencia y por siempre creer en mí, dándome ánimos en todo momento.

A mis sobrinos: Esteban Malpica Fernández y Mateo Malpica Fernández por ser como mis hijos y por siempre darme su cariño y poder ser un ejemplo para ellos.

A mis tías: Magna Vílchez Campos, Cecil Vílchez Campos y María Esther Vílchez Campos por creer en mí e impulsarme a alcanzar el éxito y continuar así hasta lograr mis metas.

A mi prima: Grecia Valentina Bautista Vílchez por ser mi hermana y mi mejor amiga y brindarme sus palabras de aliento y creer en mí en todo momento.

A mi primo: Víctor Andrés Fernández Peláez por ser mi hermano, mi mejor amigo y mi consejero siendo un ejemplo para mí y por su apoyo incondicional en esta etapa tan importante de mi vida

A mis primos: Diego Renato Bautista Vílchez y Luis Alberto Pérez Vílchez por ser mis hermanos y amigos, por apoyo incondicional y por impulsarme a alcanzar mis metas.

Finalmente dedicarle esta tesis a mis amigos: Oriana Maldonado Cabada, Ledy Carbajal Cueva, Marco Antonio Lucano Rodríguez y Javier Alex Morales Leiva por brindarme su apoyo y amistad durante mi época académica en la Universidad.

Br. Christian Andreé Fernández Vílchez

DEDICATORIA

Este presente trabajo de investigación en primer lugar se la dedico a mi Dios quién supo guiarme por el buen camino, darme fuerzas para seguir adelante y no desbordarme ante los problemas que se me presentaban, enseñándome a encarar cada adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento.

A mi madre: Lilia Pulce Vega por haber apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien y más que todo por infinito amor.

A mi padre: Severo Salazar Puerta a quien le debo todo en la vida considerándolo como mi hermano, le agradezco el cariño, la comprensión, la paciencia y el apoyo que me brindó para culminar mi carrera profesional.

A mis hermanos: Natalia Salazar Pulce, Russley Salazar Pulce por tenerlos siempre en mi compañía y confiar en mí, en una de esta etapa importante de mi vida y a ti Ángel Salazar Pulce por ser mi motivación para seguir escalando en la vida con tus travesuras y ocurrencias .

A mis familiares: Que siempre estuvieron ahí presentes dándome cada uno de sus consejos como un granito de mostaza alentándome a seguir adelante, me resulta difícil poder nombrarlos en tan poco espacio a cada uno, sin embargo ustedes saben quiénes son.

A nuestro Co Asesor y maestro: Gracias Ingeniero Juan Paul Edward Henríquez Ulloa por creer en Christian y en mí, y habernos brindado la oportunidad de desarrollar nuestra tesis profesional.

A mis amigos: Por confiar y creer en mí y haber hecho de mi etapa universitaria un trayecto de viviendas que nunca olvidaré.

Finalmente a mi amigo, hermano y compañero de tesis Christian por haber sido un excelente compañero de tesis, por haberme tenido paciencia y motivarme a seguir adelante en los momentos de desesperación.

Br. Wagner Salazar Pulce

AGRADECIMIENTO

Agradecemos en primer lugar a nuestros padres y hermanos por su apoyo constante e incondicional y por sus palabras de aliento en esta etapa importante de nuestras vidas.

A nuestro Co Asesor: Ing. Juan Paul Edward Henríquez Ulloa por su apoyo profesional, por su orientación académica en el desarrollo de esta tesis y por siempre impulsarnos a alcanzar el éxito.

A nuestro asesor: Ing. Germán Sagástegui Vásquez por su colaboración y apoyo en la culminación de la tesis.

Agradecemos al Ing. Ernesto Neyra, gerente general de la empresa CONTECH SRL, por creer en nosotros, brindarnos su amistad y apoyarnos con la logística en la obtención del aditivo.

Agradecemos al Ing. Jesús Risco Guevara, por su amistad y su apoyo; además de podernos permitir elaborar nuestra pista de prueba en el proyecto de la Universidad Privada Antenor Orrego: Instituto de Biotecnología Molecular y Reproductiva Animal IBMRA-UPAO

Agradecemos también al Señor Carlos Alayo, maestro de obra del proyecto de la Universidad Privada Antenor Orrego: Instituto de Biotecnología Molecular y Reproductiva Animal IBMRA-UPAO por apoyarnos en la ejecución de la pista de prueba y por compartirnos su conocimiento gracias a su experiencia en trabajos de campo.

A nuestros docentes de la Escuela profesional de Ingeniería Civil por inculcarnos sus enseñanzas a lo largo de nuestra formación académica.

Finalmente agradecer a la Universidad Privada Antenor Orrego, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, por permitirnos el desarrollo de nuestro trabajo en el laboratorio de mecánica de suelos y poder así culminar nuestra tesis con éxito.

RESUMEN

El desarrollo de esta tesis de investigación titulada: Pavimentos Estructurales Biotecnológicos de Larga Vida, Empleando el Aditivo Ecológico PERMAZYME 11X en Vías Afirmadas y su Aplicación en la Pista de Prueba del Instituto de Biotecnología Molecular y Reproductiva Animal IBMRA-UPAO se orientó en la búsqueda de algunas situaciones que limitan la buena estabilización de bases granulares. Esto implica a que se planteen soluciones ingenieriles que ayuden a mejorar dichas propiedades, mediante ensayos de laboratorio, aportando con esta investigación a la implementación de un producto innovador estabilizante y beneficioso que mejore la optimización de las propiedades físico-mecánicas ; de esta manera se ayudaría a resolver problemas generados en vías inestables.

La investigación va enfocada a realizar una comparación de resistencia y capacidad de soporte de un afirmado con gran cantidad de finos sin tratamiento, con un afirmado con gran cantidad de finos tratado con el estabilizador ecológico PERMA-ZYME 11X, ambos trabajados de manera convencional. El tipo de suelo seleccionado para el estudio fue un afirmado puesto en obra ubicado en el Lote de Área Reservada GRLL-10 Etapa II, Sector 5, Valle Moche; el cual se estabilizó in situ al igual que en los ensayos de CBR de laboratorio.

La intención es mejorar algunas de sus características físico-mecánicas a la hora de trabajar con el estabilizante multienzimático (PERMAZYME 11X), ya utilizada en diferentes áreas en la aplicación de la ingeniería de pavimentos; estableciendo un análisis comparativo entre los afirmados sin tratamiento y con tratamiento en donde se busca conocer cuál de los dos es más eficiente en el momento de cambiar las propiedades anteriormente mencionadas, y cual es más práctico en su ejecución y cuan resistente sería siendo estabilizado.

ABSTRACT

The development of this thesis of investigation entitled: Biotechnology in Structural Pavements of Long Life using ecological additive PERMAZYME 11x in roads Affirmed and its Application to Test Track in the INSTITUTO DE BIOTECNOLOGÍA MOLECULAR Y REPRODUCTIVA ANIMAL - IBMRA-UPAO was oriented in some limited situations, searching solutions to improve good granular materials stabilized. The above implies propose engineering solutions to help improve these properties, through laboratory testing, contributing to this research the implementation of an innovative product stabilizer, economic and beneficial to improve the optimization of the properties mentioned above; thus we will can help solve problems generated in unstable.

The investigation is focused on results of comparison of resistance and bearing capacity, between granular materials with many clays without treatment versus a granular material with many clays, stabilized and treated with PERMAZYME 11X; both executed conventionally. The soil type selected for the study is located in Lote de Área Reservada GRLL-10 Etapa II, Sector 5, Valle Moche; it stabilized in situ as in the laboratory CBR tests.

The intention is to improve some of its physical-mechanical when working with multi-enzyme stabilizer (PERMAZYME 11X), already used in different application areas in pavement engineering characteristics; establishing a comparative analysis between the granular material without treatment versus the granular material with treatment, where it seeks to know which one is more efficient at the time of changing the above properties, and which of these is more practical in its execution and if it would stabilize how would improve their resistance.

INDICE

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN:

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA:	10
1.2 Delimitación del Problema:	12
1.3 Antecedentes de la Investigación:	12
1.4 Formulación del problema:	16
1.5 Hipótesis:	16
1.6 Objetivos:	16
1.7 Justificación de la investigación:	17

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO:

2.1 Estabilización química de suelos:	18
2.2 Estabilizador de suelos:	18
2.3 BASE ESTABILIZADA CON EL PRODUCTO MULTIENZIMÁTICO PERMA-ZYME 11X:	20
2.4 EJECUCIÓN DE LOS TRABAJOS:	23
2.5 VENTAJAS DEL USO DE PERMA-ZYME 11X EN LA ESTABILIZACION DE SUELOS:	34

CAPÍTULO III: MATERIALES Y EQUIPOS EMPLEADOS:

3.1 MATERIALES:	36
3.2 INSTRUMENTOS Y EQUIPOS EMPLEADOS:	40

CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA:

4.1 INTRODUCCIÓN:	49
4.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN:	50
4.3 VARIABLES Y OPERACIONALIZACIÓN:	51
4.4 INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS:	51
4.5 TÉCNICAS DE PROCEDIMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS:	51

CAPÍTULO V: DESARROLLO EXPERIMENTAL:

5.1 INTRODUCCIÓN:	52
5.2 ESTUDIOS PREVIOS A LA APLICACIÓN DEL ADITIVO ECOLÓGICO PERMAZYME 11X	53
5.3 CALCULOS PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS DEL AFIRMADO EN LABORATORIO Y CAMPO CON ADITIVO ECOLÓGICO PERMAZYME 11X	65

CAPITULO VI: RESULTADOS EXPERIMENTALES Y DISCUSIÓN	
6.1 ENSAYO DE CBR EN LABORATORIO SIN ADITIVO SUMERGIDO	76
6.2 ENSAYO DE CBR EN LABORATORIO CON ADITIVO SUMERGIDO	81
6.3 ENSAYO DE CBR EN LABORATORIO CON ADITIVO Y SIN ADITIVO SIN SUMERGIR	88
6.4 ENSAYO DE CBR EN LABORATORIO CON ADITIVO SIN SUMERGIR	90
6.5 ENSAYO DE CBR EN IN SITU	93
6.5.1 ENSAYO DE CBR IN SITU DE AFIRMADO PARA SUB BASE SIN ADITIVO PERMA ZYME 11X	94
6.5.2 ENSAYO DE CBR IN SITU DE AFIRMADO PARA SUB BASE CON ADITIVO PERMA ZYME 11X	95
6.5.3 COMPARACIÓN DE COSTOS ENTRE LA COLOCACION DE UN AFIRMADO NUEVO PUESTO EN OBRA CON LA ESTABILIZACION DE LA VIA CON PERMAZYME 11X	96
CAPITULO VII: CONCLUSIONES	98
CAPITULO VIII: RECOMENDACIONES	102
CAPITULO XI: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	101
ANEXOS	103

CAPITULO I:

1 INTRODUCCIÓN:

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA:

Actualmente la construcción de vías con los sistemas tradicionales, involucra una serie de limitantes tales como los altos costos, la dificultad para conseguir materiales cercanos a la obra (que cumplan con las especificaciones solicitadas), el daño ambiental por la remoción de materiales en las canteras, las condiciones climatológicas, entre otras.

Desde hace cerca de 30 años a nivel internacional se ha venido trabajando en la investigación de alternativas más económicas en los procesos constructivos de carreteras con suelo inestable (vías afirmadas), que generen un mínimo o ningún impacto ambiental en las zonas de construcción y lo más importante, que cumplan las especificaciones técnicas requeridas para su servicio a largo plazo.

De esta manera se incursionó en el tema de los compuestos multienzimáticos como una alternativa para presentar soluciones certeras a los problemas mencionados anteriormente, es así que en la actualidad se encuentran diversos productos en el mercado que cumplen con estas necesidades abordando internacionalmente.

Uno de estos productos expuestos en el mercado del cual haremos uso para la ejecución de nuestro proyecto es el aditivo ecológico PERMAZYME 11X; siendo éste, un gran estabilizador de óptima calidad para la construcción de: Base de Autopistas y Carreteras de Concreto o Asfalto, Carreteras Secundarias, Vecinales, Rehabilitaciones, Pozos de Relave, Silos y Estanques.

PERMA-ZYME 11X es un producto NO PELIGROSO – NO TÓXICO – ECOLOGICO creado desde hace más de 25 años en Estados Unidos, el cual hasta la actualidad sigue siendo usado con excelentes resultados en su aplicación, logrando así mejorar la calidad de suelos inestables, disminuyendo costos en la construcción de carreteras, costos en su mantenimiento, y evitando gran impacto ambiental. Países como La India, México y Holanda que son algunos países con mayor impacto ambiental en el planeta, están haciendo uso de este producto para contribuir con el medio ambiente.

En algunos países de Sudamérica como Colombia, Argentina, Brasil, Chile y Ecuador, desde hace más de 10 años se viene investigando sobre productos estabilizadores ecológicos de suelos con poca resistencia, siendo PERMAZYME 11 X uno de los productos más usados, en donde se ha obtenido grandes resultados en la construcción de carreteras con suelo inestable. Cabe mencionar que los países citados anteriormente, presentan grandes áreas de suelos arcillosos, inestables para la construcción de carreteras, en donde anteriormente se usaba estabilizadores químicos que afectaban el medio ambiente.

En el Perú los caminos Transversales en afirmado corresponde la mayor longitud dentro de nuestra Infraestructura Vial, y su construcción es continua, la información e investigación sobre los aditivos ecológicos es casi nula siendo el aditivo PERMAZYME 11X uno de los estabilizadores ecológicos más usado por las empresas privadas en la construcción de carreteras. Las municipalidades y gobiernos regionales desconocen de las ventajas de este producto que son necesarias para la estabilización de suelos, disminución de costos en construcción de carreteras y su mantenimiento así como la contribución con el medio ambiente; tomando en cuenta que nuestro país además de presentar grandes problemas en su economía; también es uno de los países con mayor impacto ambiental en el planeta.

1.2 Delimitación del Problema:

La presente tesis pretende hacer un análisis de comparación entre un afirmado con gran cantidad de finos sin ningún aditivo y un afirmado con gran cantidad de finos mezclado con el estabilizador ecológico PERMAZYME 11X, basándose en la Norma Americana ASTM D-422-2487 y en la Norma Peruana MTC E 132-2000, además pretende dar mayor alcance de los beneficios al mejorar la resistencia de los suelos o afirmados con gran cantidad de finos y reducir la contaminación ambiental logrando así un desarrollo sostenible.

1.3 Antecedentes de la Investigación:

1.3.1 “ESTABILIZACIÓN QUÍMICA DE CARRETERAS NO PAVIMENTADAS EN EL PERU Y VENTAJAS COMPARATIVAS DEL CLORURO DE MAGNESIO (BISCHOFITA) FRENTE AL CLORURO DE CALCIO”

Autores: CARLOS ALBERTO GUTIÉRREZ MONTES

Ciudad - País: LIMA – PERÚ

Año: 2010

La inestabilidad de los suelos es uno de los principales problemas que presentan las carreteras no pavimentadas; para corregir este problema se usan variadas técnicas de estabilización de suelos; una de las formas de estabilización de suelos, es aquella que se realiza utilizando productos químicos no tóxicos que dotan a estos suelos (carreteras) un mejor comportamiento en servicio; para tal efecto existe en el mercado un variado grupo de empresas dedicadas a la producción de productos químicos estabilizadores, los cuales a su vez buscan promocionar las bondades de sus respectivos productos y el menor costo en el que se incurriría si se optara por usar dichos productos.

Cuando las empresas productoras y comercializadoras de productos químicos estabilizadores comparan las ventajas de usar un aditivo químico, cloruro de sodio (sal) frente al cloruro de magnesio (Bischofita) o al cloruro de calcio, suelen destacar las ventajas de la Bischofita pero por lo general referenciándola incidentemente con el cloruro de sodio y con menos incidencia frente al cloruro de calcio. Basado en este hecho es que se planteó la presente tesis titulada “Estabilización Química de Carreteras no Pavimentadas en el Perú y Ventajas Comparativas del Cloruro de Magnesio (Bischofita) frente al Cloruro de Calcio”, la cual tiene por objetivo determinar que el cloruro de magnesio es la opción que ofrece mayores ventajas técnicas, económicas y ambientales frente al cloruro de calcio y consecuentemente frente a los demás aditivos (sales) con los cuales suele compararse.

La presente investigación es importante porque permite conocer las ventajas técnicas, económicas y ambientales de los productos químicos estabilizadores, estableciendo líneas de acción a seguir al momento de optar por una u otra alternativa de estabilización de una carretera no pavimentada ubicada en la costa peruana.

1.3.2 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIZACIÓN DE UNA BASE GRANULAR, A TRAVÉS DE DOS ELEMENTOS QUÍMICOS COMO EL MULTIENZEMATICO PERMA-ZYME11X, Y CEMENTO EN UN SUELO DE BOGOTÁ D.C.

Autores: HIALMAR IVAN ROJAS GONZALEZ.

JOHN HENRY BARRERA GARCIA.

CARLOS MAURICIO PIRACON SANCHEZ.

Ciudad - País: BOGOTÁ – COLOMBIA

Año: 2007.

RESUMEN:

Algunos de los problemas que presenta el suelo en cuanto a estructura vial de Bogotá se refiere, están presentes en algunas de sus propiedades de resistencia y durabilidad. El desarrollo de este proyecto de investigación se orientó a la búsqueda de algunas situaciones que limitan la buena estabilización de bases granulares. Lo anterior implica a que se planteen 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 ya mencionadas; de esta manera se ayudaría a resolver problemas generados en las vías de Bogotá.

La investigación va enfocada a indagar las condiciones que conllevan a que se produzca un frecuente deterioro del suelo granular que conforma la estructura de un pavimento; es decir, en cuanto a resistencia y capacidad de soporte. El tipo de suelo seleccionado para el estudio está ubicado en la calle 133B con transversal 40, en el barrio San José de Sprint en la localidad 11; el cual se estabilizó tal como estaba in situ; la intención es mejorar algunas de sus características físicas mecánicas a la hora de trabajar con los estabilizantes multienzimático (PERMAZYME 11X) y cemento como técnica ya utilizada en diferentes áreas en la aplicación de la ingeniería de pavimentos; estableciendo un análisis comparativo para conocer cuál de los dos es más eficiente en el momento de cambiar las propiedades anteriormente mencionadas, y cuál es más económico y práctico al momento de utilizarlo en la rehabilitación vial.

1.3.3 “ESTABILIZACIÓN DE SUELOS MEDIANTE EL QUÍMICO GT-24X EN SUELOS DE SUBRASANTE DE LA CIUDAD DE CONCEPCIÓN.”

Autores: FELIPE ANDRES FUENTES CRISOSTOMO.

Ciudad - País: CONCEPCIÓN – CHILE

Año: 2013.

RESUMEN:

Actualmente, existen 19.435 kilómetros de caminos de tierra en Chile que presentan conectividad con pueblos o simplemente de uso forestal, agrícola entre otros, estos no siempre se encuentran en buen estado, lo cual crea la necesidad de encontrar nuevas técnicas y productos que favorezcan la elaboración de vías terrestres con mayores estándares y de fácil mantención.

Las condiciones señaladas dan pie para realizar estudios con químicos innovadores, como lo son los de naturaleza enzimática, estos producen un efecto aglutinante de las partículas plástico arcilloso de los suelos, mejorando su capacidad de soporte.

Bajo esta premisa se plantea el desarrollo de un estudio experimental que tiene por objetivo identificar el efecto que provoca la adición de GT-24X en suelos de subrasante comunes en concepción desde un enfoque geomecánico, tomando como referencia el valor de la razón de soporte que experimentan distintas configuraciones de aditivo.

Para lograr los propósitos planteados, se elaboró una serie de configuraciones de mezcla entre suelo y GT-24X, los cuales fueron sometidos a todos los ensayos requeridos para determinar el valor del CBR. Los resultados exhiben que en el tipo de suelo arena arcilloso presente en este estudio, toman una tendencia al incremento de la razón de soporte cuando se añade el químico. Por el contrario, en una arena limosa no se distingue la funcionalidad del aditivo, debido a que no se presenta un claro aumento en el valor del CBR.

1.4 Formulación del problema:

¿En qué medida la aplicación del estabilizador ecológico PERMAZYME 11X influye en el mejoramiento de un afirmado arcilloso en sus parámetros de durabilidad, y resistencia?

1.5 Hipótesis:

La diferencia significativa de las vías afirmadas estabilizadas con PERMAZYME 11X en comparación con una vía afirmada convencional con gran cantidad de finos.

1.6 Objetivos:

1.6.1 Objetivo General:

Determinar los parámetros físico - mecánicos de una vía afirmada estabilizada con PERMAZYME 11X en comparación con un afirmado convencional inestable.

1.6.2 Objetivos Específicos:

- Realizar ensayos en laboratorio geotécnicos y de materiales a la muestra mejorada sin aditivo.
- Realizar ensayos en laboratorio geotécnicos y de materiales a la muestra mejorada con aditivo.

- Realizar los ensayos de campo en la pista de prueba afirmada con material estabilizado.
- Adquirir información sobre estabilizaciones con productos ecológicos, que contribuyan al buen desarrollo de un proyecto de investigación.
- Estabilizar una base granular en condiciones desfavorables, permitiendo aprovechar el material existente en la vía.
- Analizar y comparar los resultados obtenidos.

1.7 Justificación de la investigación:

1.7.1 Justificación académica:

Académicamente se justifica, porque se busca ampliar la investigación en el tema de estabilización de suelos evitando usar productos químicos que afectan el medio ambiente, ya que hoy en día en nuestro país se debe generar un desarrollo sostenible.

1.7.2 Justificación técnica:

Este proyecto de investigación se justifica porque se busca mejorar la resistencia de suelos inestables (suelos arcillosos) usando el estabilizador ecológico PERMAZYME 11X proporcionado por nuestro auspiciador, comparando los resultados de los análisis de laboratorio de un afirmado arcilloso sin tratamiento con un afirmado mezclado con PERMAZYME 11X y explicando además la fácil aplicación de este aditivo en un afirmado arcilloso con excelentes resultados.

CAPITULO II:

2 MARCO TEÓRICO:

2.1 Estabilización química de suelos:

La estabilización química de suelos es una tecnología que se basa en la aplicación de un producto químico, genéricamente denominado estabilizador químico, el cual se debe mezclar íntima y homogéneamente con el suelo a tratar y curar de acuerdo a especificaciones técnicas propias del producto.

2.2 Estabilizador de suelos:

Producto químico, natural o sintético, que por su acción y/o combinación con el suelo, mejora una o más de sus propiedades de comportamiento.

2.2.1 Tipos de estabilizadores de suelos:

2.2.1.1 Estabilizadores naturales:

Son los estabilizadores disponibles en la naturaleza comúnmente usados en construcciones tradicionales, algunos de estos estabilizadores son:

- ◆ Paja y fibras de plantas.
- ◆ Jugos de plantas (savia látex, aceites)
- ◆ Cenizas de Madera
- ◆ Excremento de animal (principalmente estiércol y orina de caballo)

2.2.1.2 Estabilizadores sintéticos:

Son aquellos estabilizadores que son productos y subproductos de las industrias locales o de los grandes procesos industriales. Algunos de estos son:

- Cal y puzolana
- Cemento Portland
- Yeso
- Asfalto
- Estabilizadores de suelo comerciales (Ligeramente Tóxicos)
- Silicato de Sodio ("Vidrio soluble")
- Resinas
- Sueros (Caseína)
- Melaza

2.2.1.3 Estabilizador ecológico PERMAZYME 11X:

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 capa 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.

Desarrollada y probada por años en terrenos inestables, PERMAZYME 11X entrega ventajas adicionales a constructores de caminos, comunidades y a la ecología por ser no-tóxico y ambientalmente seguro.

Una enzima es un compuesto natural orgánico similar a las proteínas que actúa como un catalizador. Su gran estructura molecular contiene elementos activos que ayudan al enlace e interacción molecular. La formulación de PERMAZYME 11X aumenta la acción humectante del agua permitiendo una mejor penetración de ésta ayudando así a la compactación y logrando mayores densidades de los suelos. PERMAZYME 11X acelera el enlace cohesivo de las partículas del suelo, creando un estrato firme, denso y permanente que resiste la infiltración de agua, la acción del clima y del tránsito.

2.3 BASE ESTABILIZADA CON EL PRODUCTO MULTIENZIMÁTICO PERMAZYME 11X:

2.3.1 DESCRIPCIÓN:

Este trabajo consiste en la construcción de una capa conformada por material existente resultante de la escarificación de la capa superficial, o por una adición de material en su totalidad o una mezcla de ambos, estabilizándolos con PERMAZYME 11X (compuesto multienzimático orgánico), de acuerdo con los diseños elaborados y entregados por Superficies Ecológicas y Caminos S.A. (SECSA) al Contratista y / o la Entidad Contratante.

2.3.2 MATERIALES:

2.3.2.1 AGREGADOS PÉTREOS:

Los materiales por estabilizar podrán ser triturados, clasificados o una mezcla de ambos y deberán estar exentos de materia orgánica y cualquier otra sustancia perjudicial. Además, deberán cumplir los siguientes requisitos:

A) Granulometría:

Se tendrá que tomar los materiales necesarios de acuerdo a la banda granulométrica y tolerancia indicadas en la tabla 1.3, entregando a SECSA SA o a la Entidad Contratante los certificados de ensayo que acreditan su cumplimiento, previo al inicio de las obras. Otras granulometrías pueden adoptarse, siempre que sea autorizada por SECSA SA y que en todo caso cumpla con el porcentaje que pasa por el tamiz No. 200, indicada en la tabla.

TABLA 1.3: BANDA GRANULOMÉTRICA
PERMA-ZYME 11X Vs. CAPITULO 3 – BASES Y SUB-BASES/ SECCION 308 - MTC

TAMIZ		BANDA PERMAZYME 11X (% PASA)	MANUAL EG 200 BASES Y SUB-BASES/ SECCION 308 - MTC
Normal	Alternativo		PORCENTAJE QUE PASA
37.5 mm	1 1/2"	-	-
25.0 mm	1"	100	100
19.0 mm	3/4"	92-96	-
12.5 mm	1/2"	81-89	-
9.5 mm	3/8"	75-83	-
4.75 mm	No.4	58-66	30-65
2.00 mm	No.10	49-57	25-50
1.18 mm	No.16	44-52	-
425 µm	No.40	34-44	-
75 µm	No.200	18-30	10-35

Durante la ejecución de las obras, la granulometría se controlará en terreno tomando el material acordonando antes de procesarlo.

B) Plasticidad:

La fracción inferior del tamiz de 425 μm ($^{\circ}40$) deberá presentar un Índice Plástico, cuando menos de 6 (seis) pero no superior a 12%.

2.3.3 COMPUESTO MULTIENTZIMÁTICO ORGÁNICO:

PERMAZYME 11X se presenta en forma líquida y no implica riesgos de contaminación, ni peligro para la salud de seres vivos. Suministrado por SECSA SA, al Contratista o La Entidad Contratante.

2.3.4 AGUA:

El agua para mezclado y compactación deberán ser limpia, libre de materia orgánica y cualquier otra sustancia perjudicial.

2.3.5 EQUIPOS:

Los equipos necesarios para la ejecución de los trabajos básicamente son; una moto niveladora con escarificadores, carro tanque provisto de bomba hidráulica y flauta de irrigación, vibro compactador puede ser de rodillo a llanta. Todos los elementos de los equipos que se vayan a emplear deberán tener aprobación previa de SECSA SA y encontrarse en condiciones satisfactorias hasta la terminación de los trabajos. Si durante el transcurso de éstos se observaren deficiencias o mal funcionamiento en el equipo utilizado, SECSA SA podrá ordenar su retiro o reemplazo.

2.4 EJECUCIÓN DE LOS TRABAJOS:

2.4.1 DISEÑO DE LA MEZCLA:

Con suficiente antelación al inicio de los trabajos, el Constructor entregará a SECSA SA, para su verificación, muestras de los materiales que se propone utilizar, avaladas por los resultados de ensayos de granulometría, norma MTC E-107 – 2000 y NTP 339.128; límites de plasticidad, norma MTC E-110 - 2000 y norma MTC E - 111 – 2000 y NTP 339.129 ; Proctor modificado, norma MTC E-115 – 2000 y NTP 339.141 y relación de soporte del suelo en el laboratorio (CBR de Laboratorio), norma MTC E-132 – 2000 y NTP 339.145. Para determinar el CBR de laboratorio del material estabilizado, hay que seguir las instrucciones descritas en las especificaciones que requiere PERMAZYME 11X; en donde demuestran la conveniencia de utilizarlos e igualmente presenta el diseño de la mezcla.

2.4.1.1 ENSAYOS DE GRANULOMETRÍA - NORMA MTC E-107 Y NTP 339.128:

Este Modo Operativo está basado en las Normas ASTM D 422 y AASHTO T88, las mismas que se han adaptado al nivel de implementación y a las condiciones propias de nuestra realidad. Cabe indicar que este Modo Operativo está sujeto a revisión y actualización continua.

Esta norma describe el método para determinar los porcentajes de suelo que pasan por los distintos tamices de la serie empleada en el ensayo, hasta el de 74 mm (N° 200).

2.4.1.2 ENSAYO DE LÍMITES DE PLASTICIDAD - NTP 339.129:

2.4.1.2.1 NORMA MTC E-110 – 2000 – DETERMINACION DEL LIMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS:

Este Modo Operativo está basado en las Normas ASTM D 4318 y AASHTO T89, las mismas que se han adaptado al nivel de implementación ya las condiciones propias de nuestra realidad. Cabe indicar que este Modo Operativo está sujeto a revisión y actualización continua.

Este Modo Operativo no propone los requisitos concernientes a seguridad. Es responsabilidad del Usuario establecer las cláusulas de seguridad y salubridad correspondientes, y determinar además las obligaciones de su uso e interpretación.

✓ OBJETIVO:

El límite líquido de un suelo es el contenido de humedad expresado en porcentaje del suelo secado en el horno, cuando éste se halla en el límite entre el estado plástico y el estado líquido. El valor calculado deberá aproximarse al centésimo.

2.4.1.2.2 NORMA MTC E-111 – 2000 – DETERMINACION DEL LIMITE PLÁSTICO DE LOS SUELOS:

Este Modo Operativo está basado en las Normas ASTM D 4318 y AASHTO T90, las mismas que se han adaptado al nivel de implementación ya las condiciones propias de nuestra realidad. Cabe indicar que este Modo Operativo está sujeto a revisión y actualización continua.

Este Modo Operativo no propone los requisitos concernientes a seguridad. Es responsabilidad del Usuario establecer las cláusulas de seguridad y salubridad correspondientes, y determinar además las obligaciones de su uso e interpretación.

✓ **OBJETIVOS:**

Es la determinación en el laboratorio del límite plástico de un suelo y el cálculo del índice de plasticidad (I.P.) si se conoce el límite líquido (L.L.) del mismo suelo.

Se denomina límite plástico (L.P.) a la humedad más baja con la que pueden formarse barritas de suelo de unos 3,2 mm (1/8") de diámetro, rodando dicho suelo entre la palma de la mano y una superficie lisa (vidrio esmerilado), sin que dichas barritas se desmoronen.

2.4.1.3 ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO - NORMA MTC E-115 – 2000 Y NTP 339.141:

Este Modo Operativo está basado en la Norma ASTM D1557, la misma que se ha adaptado al nivel de implementación y a las condiciones propias de nuestra realidad. Cabe indicar que este Modo Operativo está sujeto a revisión y actualización continua.

Este Modo Operativo no propone los requisitos concernientes a seguridad. Es responsabilidad del Usuario establecer las cláusulas de seguridad y salubridad correspondientes, y determinar además las obligaciones de su uso e interpretación.

✓ **OBJETIVOS:**

- (a) Este ensayo abarca los procedimientos de compactación usados en Laboratorio, para determinar la relación entre el Contenido de Agua y Peso Unitario Seco de los suelos (curva de compactación) compactados en un molde de 4 ó 6 pulgadas (101,6 ó 152,4 mm) de

diámetro con un pisón de 10 lbf (44,5 N) que cae de una altura de 18 pulgadas (457 mm), produciendo una Energía de Compactación de 56 000 lb-pie/pie³ (2 700 kN-m/m³).

- (b) Este ensayo se aplica sólo para suelos que tienen 30% ó menos en peso de sus partículas retenidas en el tamiz de 3/4" pulg (19,0 mm).
- (c) Se proporciona 3 métodos alternativos. El método usado debe ser indicado en las especificaciones del material a ser ensayado. Si el método no está especificado, la elección se basará en la gradación del material.
- (d) Si el espécimen de prueba contiene más de 5% en peso de fracción extra dimensionada (fracción gruesa) y el material no será incluido en la prueba se deben hacer correcciones al Peso Unitario y Contenido de Agua del espécimen de ensayo o la densidad de campo usando el método de ensayo ASTM D-4718.
- (e) Este método de prueba generalmente producirá un Peso Unitario Seco Máximo bien definido para suelos que no drenan libremente. Si el método es usado para suelos que drenan libremente el máximo Peso Unitario Seco no estará bien definida y puede ser menor que la obtenida usando el Método de Prueba ASTM D-4253 (Maximum Index Density and Unit Weight of Soil Using a Vibratory Table).
- (f) Los valores de las unidades en pulgadas-libras son reconocidos como estándar. Los valores dados en unidades del S.I. son proporcionados sólo como información.
- (g) Esta norma no hace referencia a todos los riesgos relacionadas con este uso, si los hubiera. Es responsabilidad del usuario establecer la

seguridad apropiada y prácticas o pruebas confiables y así determinar la aplicabilidad de limitaciones regulatorias antes de su uso.

2.4.1.4 ENSAYO DE CBR EN LABORATORIO (RELACIÓN DE SOPORTE DEL SUELO EN EL LABORATORIO) - NORMA MTC E-132 – 2000 Y NTP 339.145:

Este Modo Operativo está basado en las Normas ASTM D 1883 y AASHTO T193, las mismas que se han adaptado al nivel de implementación ya las condiciones propias de nuestra realidad. Cabe indicar que este Modo Operativo está sujeto a revisión y actualización continua.

Este Modo Operativo no propone los requisitos concernientes a seguridad. Es responsabilidad del Usuario establecer las cláusulas de seguridad y salubridad correspondientes, y determinar además las obligaciones de su uso e interpretación.

✓ OBJETIVOS:

- i. Describe el procedimiento de ensayo para la determinación de un índice de resistencia de los suelos denominado valor de la relación de soporte, que es muy conocido, como CBR (California Bearing Ratio). El 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.
- ii. Este índice se utiliza para evaluar la capacidad de soporte de los suelos de subrasante y de las capas de base, subbase y de afirmado.

- iii. Este modo operativo hace referencia a los ensayos para determinación de las relaciones de Peso Unitario - Humedad, usando un equipo modificado.

2.4.2 PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE EXISTENTE:

Si el material por estabilizar es totalmente de aporte, antes de construir la base estabilizada se comprobará que la superficie que va a servir de apoyo tenga la densidad y lisura apropiadas. En caso de que la construcción se vaya a realizar únicamente con el suelo existente, éste se deberá escarificar en todo el ancho de la capa que se va a estabilizar, hasta la profundidad de diseño. Si se contempla la adición de un suelo de aporte para mejorar el existente, este deberá colocarse en la vía antes de iniciar la distribución del estabilizador. En todos los casos en que el proceso involucre el suelo del lugar, parcial o totalmente, deberá comprobarse que el material que se encuentre bajo el espesor por estabilizar presente adecuadas condiciones de resistencia y, en caso de no tenerlas, SECSA SA ordenará las modificaciones previas que considere necesarias.

2.4.3 TRANSPORTE DE AGREGADOS:

Este debe cumplir con la Sección 308: Suelo Estabilizado con Compuestos Multienzimáticos Orgánicos – CAPITULO 3: SUBASES Y BASES del manual EG 2000 de las especificaciones del MTC, “Cuando la estabilización incluya agregados de aporte, ellos se transportarán a la vía o a la planta de mezcla protegidos con lonas u otros protectores adecuados, asegurados a la carrocería, de manera de impedir que parte del material caiga sobre las vías por donde transitan los vehículos. Igual precaución deberá tomarse durante el transporte a la vía de las mezclas elaboradas en planta. Durante el transporte de los suelos y agregados, estos serán protegidos con lonas u otros cobertores adecuados, asegurados a la carrocería y humedecidos, a fin de impedir que el material caiga a la vía y así minimizar los impactos al aire.”.

2.4.4 CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS CON FINES DE ESTABILIZACIÓN:

Se debe tener en cuenta que el suelo debido a su gran “heterogeneidad y variabilidad intrínseca, presenta problemas muy serios que ordinariamente no se encuentran en otros materiales de construcción. En los suelos estabilizados es necesario tener un conocimiento teórico práctico de los principales tipos de suelos naturales y sus propiedades”.

Generalmente se ha enmarcado a los suelos como gravas, arenas y arcillas o limos. Los primeros intentos de clasificación se basaban precisamente en dicha enmarcación; pero en la actualidad no resultan adecuados en trabajos muy especializados como los de estabilización de suelos, ya que es de suma importancia el prever la forma en que el suelo responderá a la estabilización. Se han desarrollado clasificaciones “genéticas” de los suelos, es decir, clasificaciones en donde se toma en cuenta a la roca que dio origen al suelo. Sin embargo, los propósitos ingenieriles de carreteras tienen un uso muy marginado de este tipo de clasificaciones.

Uno de los sistemas más ampliamente utilizado es el propuesto por Casagrande, que posteriormente fue modificado y designado como Sistema Unificado de Clasificación de Suelos. Esta clasificación se basa, primer término, en la identificación de un suelo como grava, arena, limo, arcilla o suelo orgánico y en segundo término, en la determinación del porcentaje de finos y su plasticidad. Este sistema ha resultado muy útil, pero existen otros factores que se pueden mencionar a la presencia en la zona de estudio como aguas cargadas de sales, ácidos orgánicos, álcalis, etc...Que pueden atacar al suelo tratado. Para todo es razonable pensar que mientras mejor se conozcan las características físicas y químicas de un suelo mejor se puede emprender el estudio de la estabilización.

2.4.5 SUB-BASE GRANULAR:

Es la capa colocada sobre la subrasante y subyace a la base; está constituida por materiales seleccionados cuya principal función es transmitir a la subrasante los esfuerzos que el tránsito le impone a través de la base, proporcionando resistencia adecuada a tales solicitaciones; por las características granulométricas de sus materiales pueden servir como elemento de drenaje y de su propio peso contrarrestar cambios volumétricos en la subrasante asociados con la presencia en ella de materiales de naturaleza expansiva.

2.4.6 BASE GRANULAR:

Es una capa de materiales seleccionados colocados sobre la sub-base, “en algunas ocasiones se construye directamente sobre la subrasante, tiene como función principal transmitir las cargas recibidas del tránsito con intensidades adecuadas a los elementos subyacentes. Las bases granulares pueden constituirse de material de origen aluvial o de cantera, triturados, y gravas arenosas en general. Sobre la base se construyen las capas asfálticas de un pavimento flexible y por tal motivo debe cumplirse estrictamente las especificaciones correspondientes.

2.4.7 APLICACIÓN DE PERMAZYME 11X:

PERMAZYME 11X se aplica diluido en el agua necesaria para alcanzar la humedad óptima de compactación con una tolerancia de hasta -2% de humedad, esta mezcla de enzima / agua debe ser aplicada a razón de 1,0 litro por cada 30 m³ ó 33 m³ de material compacto, regando la solución de enzima / agua uniformemente al material escarificado por medio de un carro tanque irrigador.

2.4.8 MEZCLA:

Después de aplicar la mezcla de enzima / agua, se efectúa la mezcla en todo el espesor indicado en los diseños elaborados por SECSA SA, empleando para ello la moto niveladora, moviéndolo de un lado al otro de la vía, conformando un cordón en el extremo de la vía, luego se pasará el cordón al extremo opuesto; este procedimiento se debe repetir hasta que la mezcla este lo más homogéneamente posible.

Si durante el proceso de homogenización de la mezcla de suelo más aditivo se observa húmedo, debe dejarse orear; si por el contrario está demasiado seco, se le añadirá agua para lograr la humedad óptima de compactación. Si durante la construcción del tramo, y en el proceso de homogenización de la mezcla se presente cualquier tipo de inconveniente, este mezcla de suelo más aditivo, puede dejarse acordonada al extremo de la vía no más de 72 horas, en caso que se requiera humedad después de las 72 horas, se debe aplicar una solución de enzima / agua a razón de 1:10.000 para reactivar la enzima aplicada con anterioridad. El número de pasadas de la moto-niveladora conformando el cordón de material será el necesario para obtener una mezcla homogénea. Una vez el material se observe homogéneo se traslada el material del extremo de la vía al centro de la misma, para conformar la base estabilizada garantizando las pendientes requeridas antes de proceder a la compactación.

Cualquier otro procedimiento que se adopte para la mezcla del material durante la ejecución de los trabajos por parte del Contratista, deberá ser aprobado por SECSA SA de común acuerdo con La Entidad Contratante.

2.4.9 COMPACTACIÓN:

Después de extendida la base tratada, ésta será compactada longitudinalmente, empezando por el borde externo o inferior y desplazando el rodillo vibratorio hacia la parte superior del camino. Cada pasada deberá traslapar por lo menos en 1/3 longitud de tambor vibratorio. La primera pasada que se realice con el vibrocompactador debe ser sin la energía de compactación con el fin de planchar la base tratada y corregir las irregularidades en la vía. Se utilizará la vibración sólo hasta 2 pasadas, procediendo posteriormente sólo al planchado del material. Un rodillo de ruedas neumáticas puede dar una buena terminación y densificación adicional.

El porcentaje de humedad del material de base durante su compactación deberá ser aproximadamente 2 puntos / porcentuales bajo la humedad óptima determinada en el laboratorio. El extendido y compactado deberá ejecutarse dentro de las 14 horas siguientes al mezclado del material granular con la solución enzima / agua.

2.4.10 JUNTAS DE TRABAJO:

Las juntas entre trabajos realizados en días sucesivos deberán cuidarse para proteger la continuidad de la base estabilizada en la jornada anterior. Al efecto, al inicio de la jornada siguiente se debe ir profundizando en la escarificación el material compactado el día anterior por lo menos dos metros atrás del inicio de la jornada.

2.4.11 CURADO:

Una vez terminados los procesos de homogenización y compactación de la base tratada, y si esta se va a convertir en superficie de rodado, se debe colocar un riego de enzima / agua a razón de 1:10.000; este riego será colocado después de haber transcurrido el período de curado de 72 horas. Si se desea utilizar asfalto u otro material superficial como superficie de rodado, se logrará una mejor cohesión entre las capas humedeciendo la superficie ya compactada, diluyendo PERMAZYME 11X en agua a razón de 1:10.000. Esta aplicación superficial puede ser realizada luego de un período de curado de 72 horas. En el caso que por necesidades constructivas la base estabilizada se compacte en más de dos capas, antes de extender y compactar la capa siguiente, se debe humedecer la capa compactada con una solución de enzima / agua a razón de 1:10.000; para luego extender la siguiente capa y proceder a compactar.

2.4.12 APERTURA DEL TRANSITO:

Una vez que la superficie de la vía se encuentre compactada a la densidad de diseño, está lista para ser utilizada, los suelos tratados con PERMAZYME 11X, alcanzan su mayor capacidad estructural en el momento de su compactación y durante las 72 horas subsecuentes. La apertura del tráfico una vez se terminen los trabajos de compactación mejorará el sellado de la vía.

2.4.13 LIMITACIONES CLIMÁTICAS:

Las bases tratadas con PERMAZYME 11X no deben colocarse cuando la temperatura ambiente está bajo los 4° C, o cuando las condiciones indiquen que la temperatura puede bajar de 1° C, dentro de las 24 horas siguientes. Así mismo cuando la Sub-rasante y/o los agregados pétreos presenten grado de congelamiento, no podrá ejecutarse el tratamiento de la base.

2.4.14 ENSAYO DE CBR EN CAMPO – NORMA MTC E 133 Y NTP 339.135:

- ✓ Esta norma establece el procedimiento que se debe seguir para determinar la relación de soporte de California (CBR, California Bearing Ratio), de un suelo ensayado "in situ", mediante la comparación entre la carga de penetración del suelo y la de un material estándar de referencia.
- ✓ Este método de ensayo cubre la evaluación de la calidad relativa de los suelos de la sub-rasante, pero también es aplicable a materiales de sub-base y algunos de base. El método está establecido para materiales in situ y corresponde a la norma sobre especímenes de laboratorio, norma MTC E – 148.
- ✓ Los valores se deben expresar en libras – pulgada en esta norma.
- ✓ Esta norma no considera los problemas de seguridad asociados con su uso. Es responsabilidad de quien la emplee, establecer prácticas apropiadas de seguridad y salubridad y el determinar la aplicabilidad de limitaciones regulatorias antes de su empleo.

2.5 VENTAJAS DEL USO DE PERMAZYME 11X EN LA ESTABILIZACION DE SUELOS:

- 2.5.1** 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.
- 2.5.2** Mayor nivel de servicio y vida útil de las terracerías lo que representa un menor o a veces nulo mantenimiento.

2.5.3 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 pavimento 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.

2.5.4 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.

CAPITULO III:

3 MATERIALES Y EQUIPOS EMPLEADOS:

3.1 MATERIALES:

Los materiales empleados para el desarrollo de nuestra investigación fueron los siguientes:

3.1.1 PERMAZYME 11X:

Para los ensayos de laboratorio y pista de prueba en el proyecto: INSTITUTO DE BIOTECNOLOGÍA MOLECULAR Y REPRODUCTIVA ANIMAL IBMRA-UPAO, se utilizó la cantidad adecuada de PERMAZYME 11X según las especificaciones otorgadas por la empresa SECSA SA, empresa distribuidora de este producto estabilizador con mayor venta en toda Sudamérica. A continuación se presentan algunas propiedades físicas y químicas del aditivo y su aspecto en la **Figura 3.1.1.**

Propiedades:

- **Característica Física:** Líquido
- **Color:** Café
- **Inflamable:** No
- **Tóxico:** No
- **Corrosivo:** No Corrosivo
- **Gravedad Específica:** 1.4146



Figura 3.1.1 Estabilizador Ecológico PERMAZYME 11X

3.1.1.1 Dosificación:

PERMAZYME 11X es usado con una dosificación de 1 litro por 30 o 33 m³ de material compactado.

3.1.2 AFIRMADO PUESTO EN OBRA:

El afirmado que se utilizó para el desarrollo de nuestra investigación es proveniente de la cantera: “SAN SEBASTIAN II” ubicada en el KM 453.5 a un costado panamericana norte - Alto Salaverry. Distrito de Salaverry, Provincia de Trujillo, Departamento de la Libertad. A continuación se muestra en la figura 3.1.2 la Ubicación de la Cantera mencionada anteriormente.



Figura 3.1.2 - Ubicación de la Cantera “SAN SEBASTIAN II”

Las características del Afirmado puesto en obra son las siguientes (Tabla 3.1.2):

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL AFIRMADO	UNIDAD	CANTIDAD
Peso Específico de los Sólidos	-	2,64
Contenido de Humedad	Porcentaje	6,36
Límite líquido	-	19,85
Límite plástico	-	11,24
Índice de Plasticidad	-	8,61
Cantidad de Finos	Porcentaje	15,38

Tabla 3.1.2 Características Físicas del Afirmado puesto en obra. Fuente Propia.

3.1.3 AFIRMADO MEJORADO:

El afirmado mejorado que se utilizó para el desarrollo de nuestra investigación es el AFIRMADO PUESTO EN OBRA + ARCILLA, aumentando así la cantidad de finos que requiere las especificaciones para el uso adecuado de PERMAZYME 11X. Es así que se mezcló el afirmado puesto en obra con arcilla traída de la cantera SANTA ROSA. Habiendo obtenido los siguientes resultados del nuevo Afirmado Mejorado, para el desarrollo de nuestra investigación.

Las características del Afirmado Mejorado son las siguientes (Tabla 3.1.3):

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL AFIRMADO	UNIDAD	CANTIDAD
Peso Específico de los Sólidos	-	2,49
Contenido de Humedad	Porcentaje	6,45
Límite líquido	-	22,32
Límite plástico	-	13,34
Índice de Plasticidad	-	8,98
Cantidad de Finos	Porcentaje	23,79

Tabla 3.1.3 Características Físicas del Afirmado Mejorado. Fuente Propia

- Todos los ensayos se realizaron según las siguientes normas:

a. Contenido de humedad:

Se determinó el contenido de humedad de este material de acuerdo a las especificaciones de la Norma Técnica Peruana NTP 339.127 - Método De Ensayo para Determinar el Contenido de Humedad de un Suelo.

b. Índice de Plasticidad:

Se determinó el límite líquido, límite plástico y el índice de plasticidad de este material de acuerdo a las especificaciones de la Norma Técnica Peruana NTP 339.129 - Método de Ensayo para Determinar el Límite Líquido, Límite Plástico, e Índice de Plasticidad de Suelos.

c. Análisis Granulométrico:

Se determinó la cantidad de finos de este material de acuerdo a las especificaciones de la Norma Técnica Peruana NTP 339.128 – Método de Ensayo para el Análisis Granulométrico.

3.1.4 Agua:

El agua empleada para la preparación y curado del Afirmado Mejorado es abastecida por el proveedor del proyecto: INSTITUTO DE BIOTECNOLOGÍA MOLECULAR Y REPRODUCTIVA ANIMAL IBMRA-UPAO, proviniendo esta agua de la planta del GRUPO SERVINORT TRUJILLO EIRL- Distrito Trujillo – Provincia Trujillo – Departamento La Libertad, siendo esta agua limpia de impurezas y utilizada para el afirmado en la pista de prueba.

Además para los ensayos de laboratorio, se usó agua potable del laboratorio de Mecánica de Suelos de la Universidad Privada Antenor Orrego – UPAO – Distrito Trujillo – Provincia Trujillo – Departamento La Libertad.



Figura 3.1.4 Agua abastecida por proveedor de la planta Grupo SERVINORT Trujillo EIRL

3.2 INSTRUMENTOS Y EQUIPOS EMPLEADOS:

En el desarrollo de este proyecto se emplearon equipos especializados en la caracterización y tratamiento de afirmados estabilizados con PERMAZYME 11X, los cuales hacen parte de distintos laboratorios de ingeniería química e ingeniería civil.

3.2.1 Horno de calentamiento:

Se usaron 2 hornos de calentamiento para el desarrollo de todos los ensayos de laboratorio. La precisión de los hornos de calentamiento es de $\pm 0,01$ °C o $\pm 0,01$ °F. En las figuras 3.2.2.1 y 3.2.2.2 podemos apreciar los hornos utilizados para los ensayos.



Figura 3.2.1.1 – Horno de Calentamiento



Figura 3.2.2.2 - Horno de Calentamiento 2

3.2.2 Balanzas electrónicas:

Las balanzas empleadas para el desarrollo de todos los ensayos de laboratorio presentan las siguientes precisiones: Balanza 1 - Precisión: $\pm 0,01$ gr y balanza 2 - Precisión $\pm 0,1$ gr. Figuras 3.2.3.1 y 3.2.3.2 respectivamente.



Figura 3.2.2.1



Figura 3.2.2.2

3.2.3 Equipo de Tamizado:

Se usaron 18 tamices para el desarrollo del ensayo de Análisis Granulométrico que van desde la Malla 2 ½” hasta la Malla N° 200. A continuación se muestran los tamices utilizados. Figura 3.2.4.1, figura 3.2.4.2 y figura 3.2.4.3



Figura 3.2.3.1 – Tamiz Malla 2 ½”



Figura 3.2.3.2 – Tamiz Malla N° 200



Figura 3.2.3.3 – 18 Tamices: Mallas: 2 ½”, 2”, 1½”, 1”, ¾”, ½”, 3/8”, N°4, N°8, N°10, N°16, N°20, N°30, N°40, N°50, N°80, N°100, N°200

3.2.4 Copa Casagrande eléctrica:

Se usó un equipo llamado “Copa de Casagrande” el cual se utiliza para el desarrollo del ensayo de Límite de Plasticidad. A continuación mostramos las características y los detalles del instrumento como se aprecia en la Figura 3.2.5

- Marca: ELE.
- Cuenta golpes de cinco dígitos.
- Leva y copa fabricados en bronce.
- Mecanismo de ajuste de altura de la copa.
- La base cumple con el requisito de resiliencia exigido por la norma ASTM D4318; AASHTO T89.
- Dispositivo con componentes mecanizados y ensamblados de alta precisión.



Figura 3.2.4 – Copa de Casagrande Eléctrica

3.2.5 Compactador automático de suelos para ensayo de Proctor y CBR:

Características:

- El sistema de golpeo prefijado asegura una compactación uniforme.
- Los controles de estado sólido permiten su fiabilidad y facilidad de mantenimiento.
- Reposición automática del contador después del sistema de golpeo.

Especificaciones:

Martillo	De cara circular, pie de 51 mm (2,0") de diámetro; ajustable a un peso de 2,5 kg (5,5 libras) a 4,5 kg (10 libras).
Caída	Ajustable a 305 mm (12") ó 457 mm (18").
Controles	Sistema de contador digital, conmutador de selección para ensayo proctor estándar o "proctor"/CBR modificado.
Dimensiones	250 mm ancho x 430 mm largo x 1.400 mm alt. (10" x 17" x 55").
Peso Neto	190 kg (419 libras).



Figura 3.2.5 - Compactador automático de suelos para ensayo de Proctor y CBR.

3.2.6 Máquina o prensa de carga para ensayo de CBR en laboratorio

La prensa de carga CBR, se utiliza para forzar la penetración del pistón en la muestra compactada CBR. La carga se puede aplicar a través de un gato de tipo mecánico o de con funcionamiento electrónico. La relación de engranaje del gato ha sido seleccionada para proporcionar una velocidad que a mano puede mantenerse cómoda, particularmente con suelos de alta resistencia CBR. Incluye avance rápido para aproximación o retroceso.

Características:

Especificaciones:

Capacidad máxima	50 kN exactitud 0.5% del valor de la fuerza
Uso	Manual y electrónico
Material	Fabricado en acero de alta resistencia con columnas roscadas para la graduación de la altura.
Anillo de carga	Anillo de carga de 30 kN ó 50kN
Pistón de penetración	50 mm de diámetro y longitud mínima de 100mm
Accesorios opcionales	Moldes marshall



Figura 3.2.6.1 - Compactador automático de suelos para ensayo de Proctor y CBR.



Figura 3.2.6.2 – Moldes Marshall para ensayo de CBR en laboratorio



Figura 3.2.6.3 – Diales de Deformación



Figura 3.2.6.4 – Balanza electrónica

3.2.7 Prensa de carga para ensayo de CBR IN SITU – Fig. 3.2.7.1

La prensa de carga de CBR IN SITU, se utiliza para forzar la penetración del pistón en la zona compactada CBR IN SITU; en este caso en la pista de prueba. La carga se aplica a través de un gato de tipo mecánico. La relación de engranaje del gato ha sido seleccionada para proporcionar una velocidad que a mano puede mantenerse cómoda, particularmente con suelos de alta resistencia CBR.

Datos Técnicos:

- Capacidad de carga de gato hidráulico: - KN
- Ergómetro: 50-60KN
- Diámetro de varilla de penetración: 50mm, longitud: 200mm
- Placa de carga: 1.25 kg/piezas 4 piezas
- Penetración de prueba del valor de dispositivo de línea de placa de trabajo.



Fig. 3.2.7.1 Prensa de Carga para ensayo de CBR IN SITU

CAPITULO IV:

4 METODOLOGÍA

4.1 INTRODUCCIÓN:

El procedimiento de diseño de las mezclas se desarrolló de acuerdo con el estudio de las propiedades físicas del afirmado, logrando cumplir con las especificaciones del aditivo estabilizador de suelos.

Previo a la elaboración de cada muestra, se realizó un muestreo del afirmado para conocer su análisis granulométrico e índice de plasticidad para posteriormente poder aplicar la cantidad requerida de aditivo. Partiendo de las recomendaciones otorgadas por la empresa SECSA SA el cual nos proporcionó la información adecuada en sus guías para ensayos de laboratorio y guía para estabilización de suelos en campo.

El trabajo experimental de laboratorio consistió, primero en realizar los ensayos previos para cada una de las diferentes muestras de afirmado mejorado uno tratado con Aditivo estabilizador PERMAZYME 11X y otro sin tratamiento, posteriormente se realizó también un trabajo experimental en campo añadiéndole el aditivo estabilizador ecológico.

Finalmente tanto en los trabajos de laboratorio como en el de campo se realizaron ensayos de CBR, obteniendo así resultados para las comparaciones respectivas entre un afirmado estabilizado con uno sin estabilizar.

4.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN:

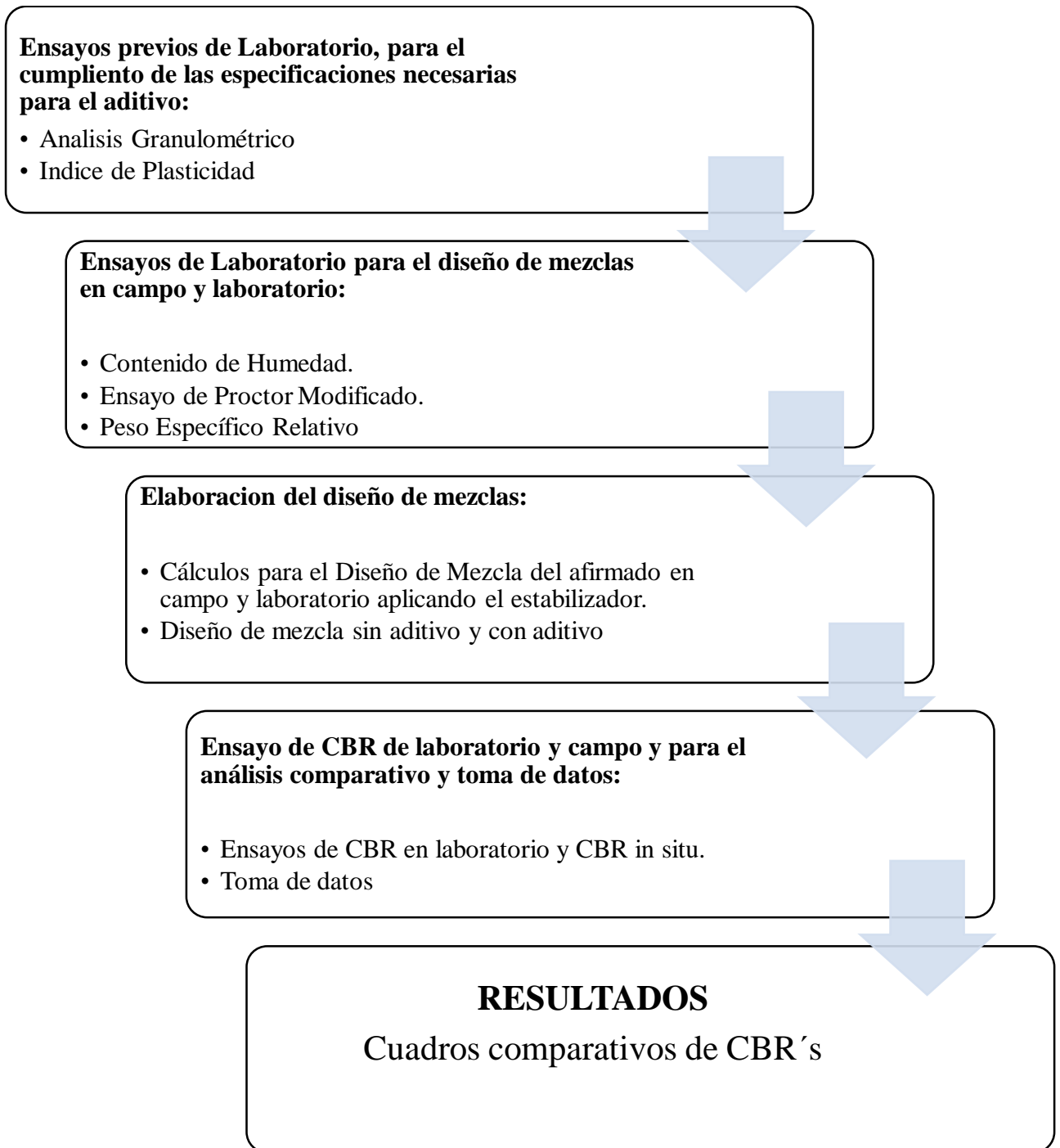


Figura 4.2: Diseño de la investigación para la elaboración de las muestras de afirmado con aditivo y sin aditivo PERMAZYME 11X y su análisis comparativo.

4.3 VARIABLES Y OPERACIONALIZACIÓN:

4.3.1 VARIABLES:

4.3.1.1 VARIABLE INDEPENDIENTE (V1) :

- Estabilizador ecológico de suelos PERMAZYME 11X

4.3.1.2 VARIABLE DEPENDIENTE (V2) :

- Mejoramiento en sus propiedades físicas y mecánicas.

4.3.2 OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES:

VARIABLE	Indicador	Medición
(V1)	Estabilizador ecológico de suelos PERMAZYME 11X	Litros
(V2)	Cantidad de Finos que pasan la malla N° 200	Porcentaje
	Índice de plasticidad	-
	CBR	Porcentaje

Tabla 4.3.2 – Operacionalización de las variables - Fuente Propia

4.4 INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS:

Las técnicas de recolección de información básica para la presente investigación se obtuvieron de los ensayos experimentales de laboratorio con la metodología planteada, cumpliendo con las normas precisadas para cada ensayo que nos ayudará a obtener resultados veraces.

4.5 TÉCNICAS DE PROCEDIMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS:

Primero se clasificaron los datos obtenidos de los ensayos, luego se tabularon y graficaron los resultados comparando los afirmados con aditivo y sin aditivo. Por último se hará una correlación de los resultados obtenidos para cada muestra.

CAPITULO V:

5 DESARROLLO EXPERIMENTAL

5.1 Introducción:

El desarrollo experimental de esta investigación se inició con los estudios previos del afirmado en campo, el cual tenía que cumplir con los requisitos presentes en la guía para ensayos de laboratorio y guía para estabilización de suelos en campo, proporcionados por la empresa SECSA S.A. Posteriormente habiendo cumplido con los requisitos solicitados continuamos con el diseño de mezclas para los ensayos de laboratorio y en campo; dichos ensayos son: UN ENSAYO DE CBR EN CAMPO Y SEIS ENSAYOS DE CBR EN LABORATORIO.

Para el ensayo de CBR se agrupó 6 muestras de afirmado arcilloso las cuales se compactaron y ensayaron según las especificaciones del ensayo de CBR. Antes de compactar las muestras, se separó 3 muestras a la cual le añadimos el aditivo ecológico PERMAZYME 11X y las otras 3 muestras en su forma natural, previamente ambos grupos fueron compactados habiéndole agregado la humedad óptima requerida.

Finalmente los resultados de los ensayos de CBR de ambas muestras fueron comparadas de acuerdo a su compactación de 12, 25 y 56 golpes en donde se evidenció cuanto varió su % de CBR; además de confrontar los ensayos de CBR en laboratorio con el ensayo de CBR en campo.

5.2 ESTUDIOS PREVIOS A LA APLICACIÓN DEL ADITIVO ECOLÓGICO PERMAZYME 11X

Para la aplicación del aditivo ecológico PERMAZYME 11X, se tuvo que realizar estudios previos para comprobar si el afirmado cumplía con las características requeridas por el estabilizante, las cuales se encontraron en la guía para ensayos de laboratorio y guía para estabilización de suelos en campo:

Para obtener los resultados de las características físicas y mecánicas del afirmado se realizaron los siguientes ensayos los cuales serán detallados a continuación:

5.2.1 ENSAYO PARA CONTENIDO NATURAL DE HUMEDAD - NTP 339.127 (Ver Anexo 5)

Para determinar el contenido natural de humedad del afirmado se siguieron los pasos presentes en la norma NTP 339.127. A continuación hicimos un resumen de la norma NTP 339.127

- 1.** Tamizamos una cierta cantidad de afirmado obteniendo el TMN (tamaño máximo nominal), el cual nos indicó cual sería la cantidad de muestra adecuada que debíamos analizar. En el caso de nuestro afirmado el TMN fue de 2", por lo cual la cantidad mínima que requeríamos fue de **1000 gr.**
- 2.** Luego de conocer la cantidad mínima requerida de nuestro material, decidimos tomar 4 muestras de afirmado, en donde una vez que obtuvimos el contenido de humedad de cada una de las muestra, al final la promediamos para obtener un preciso contenido de humedad. Siendo las cantidades de muestra de afirmado, en estado natural que se tomaron: **2504.70 gr, 2393.00 gr, 3003.10 gr, 3337.00 gr.**

3. Cada muestra de afirmado, previamente pesada en cada uno de sus respectivos recipientes fueron colocados en el horno a 104 °C ó 219.20 °F aproximadamente, alrededor de 24 horas.
4. Pasada las 24 horas, retiramos las muestras en sus respectivos recipientes, e inmediatamente después lo dejamos reposar por 10 ó 15 min aproximadamente pesándolo nuevamente y tomando nota de cada valor obtenido. Los pesos de cada muestra seca fueron **2359.00 gr, 2241.10 gr, 2816.10 gr, 3164.80 gr.** habiendo obtenido los siguientes resultados:

Muestra:	M-01		M-02	
Recipiente:	1	2	3	4
Peso Recipiente :	152.40	131.20	231.30	294.20
Peso Recipiente + Muestra Humeda :	2,657.10	2,524.20	3,234.40	3,631.20
Peso Recipiente + Muestra Seca :	2,511.40	2,372.30	3,047.40	3,459.00
Peso Agua :	145.70	151.90	187.00	172.20
Peso Seco :	2,359.00	2,241.10	2,816.10	3,164.80
W%:	6.18	6.78	6.64	5.44
W_{promedio} %:	6.26			

5. Finalmente el contenido natural de humedad obtenido fue de: **6.26 %**

**Luego de obtenido el contenido natural de humedad, tomamos alrededor de 60 Kg de muestra separada en 2 bandejas de aproximadamente 30 Kg en cada bandeja, los cuales las llevamos al horno por 24 horas ya que posteriormente nos sirvieron para el desarrollo de los ensayos que serán mencionados y explicados a continuación:

5.2.2 ENSAYO DE ANÁLISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO - NTP 339.128 (Ver Anexo 5)

Uno de los requisitos para aplicar el aditivo PERMAZYME 11X fueron la cantidad de finos que debe tener el material el cual debió encontrarse entre 18 % y 30 %, por tanto se tuvo que realizar el ensayo de Análisis Granulométrico por Tamizado; siguiendo los pasos detallados en la norma NTP 339.128. Al igual que para el contenido natural de humedad, explicaremos a continuación en forma breve el procedimiento que se siguió para la obtención de los resultados requeridos del análisis granulométrico por tamizado:

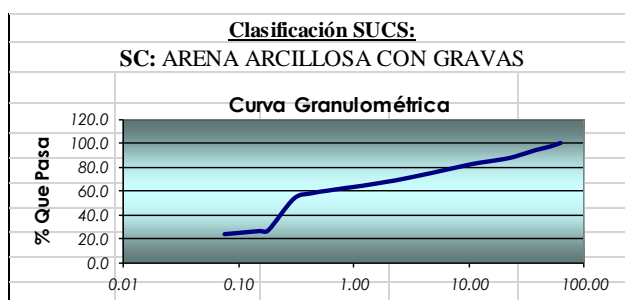
1. Como el TMN de la muestra de afirmado se obtuvo del ensayo anterior (Contenido Natural de Humedad), tenemos que: para 2” de TMN según la norma NTP 339.128 o la norma MTC E 107- 2000, se requieren **4000 gr** como mínimo para el ensayo de Análisis Granulométrico por Tamizado. Por lo tanto la cantidad que se tomó para el desarrollo de nuestro ensayo fue de **6000 gr. de muestra seca sin contar el peso del recipiente, siendo el peso del recipiente 325.30 gr.**
2. Luego de haber tomado nota del peso seco de la muestra; ésta fue lavada a través del tamiz N° 200, para así eliminar la máxima cantidad de finos.
3. Una vez lavada la muestra a través del tamiz N° 200, el material retenido en dicho tamiz se colocó en un recipiente el cual fue llevado al horno por 24 horas aproximadamente.
4. Pasada las 24 horas se retiró el recipiente conteniendo la muestra lavada y secada, para luego de 15 min pesarlo en la balanza y descontarle el peso del recipiente. Por lo tanto el peso obtenido de nuestra muestra lavada y seca al horno

fue de: **4572.60 gr** habiéndole descontado previamente el peso del recipiente.

5. Posteriormente se colocaron los tamices desde la malla N°200 hasta el tamiz de malla de 2 ½” de abertura, colocando los tamices uno encima de otro en donde se colocaron el tamiz de malla más pequeña (malla N°200) en la parte inferior encima del plato hasta llegar al tamiz de malla de 2 ½” de abertura en la parte superior. A continuación se procedió a tamizar la muestra lavada y seca alrededor de 25 a 30 min colocando poco a poco parte ésta, hasta llegar a tamizar toda la muestra.
6. Una vez terminado el tamizado de la muestra seca, se pesaron las cantidades retenidas en cada malla, habiendo obtenido los siguientes resultados:

Tamiz N°	Abert. (mm)	Peso Retenido	% Peso Ret	% Peso Ret Ac	% Que Pasa
2 1/2"	62.7000	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.0000	188.80	3.15	3.15	96.85
1 1/2"	37.5000	178.40	2.97	6.12	93.88
1"	25.0000	319.90	5.33	11.45	88.55
3/4"	19.0000	143.60	2.39	13.85	86.16
1/2"	12.7000	150.60	2.51	16.36	83.65
3/8"	9.5000	135.60	2.26	18.62	81.39
N° 4	4.7500	385.60	6.43	25.04	74.96
N° 8	2.3800	357.50	5.96	31.00	69.00
N° 10	2.0000	71.60	1.19	32.19	67.81
N° 16	1.1900	212.60	3.54	35.74	64.26
N° 20	0.8400	115.90	1.93	37.67	62.33
N° 30	0.5900	132.20	2.20	39.87	60.13
N° 40	0.4250	133.00	2.22	42.09	57.91
N° 50	0.3000	269.80	4.50	46.59	53.42
N° 80	0.1800	1585.20	26.42	73.01	27.00
N° 100	0.1500	37.70	0.63	73.63	26.37
N° 200	0.0750	154.60	2.58	76.21	23.79
Plato		1427.40	23.79	100.0	0.00
Σ		6,000.00	100.00		

Datos de la Muestra:		
P antes secado:	6,000.00	gr
P tamizado:	4,572.60	gr



7. Finalmente la cantidad de finos que presentó la muestra de afirmado fue de: **23.79 %** aproximadamente

5.2.3 ENSAYO PARA LA DETERMINACIÓN DE LIMITE LIQUIDO, LIMITE PLÁSTICO E INDICE DE PLASTICIDAD - NTP 339.129 - MTC E 110 – 2000/ MTC E 111 – 2000 (Ver Anexo 5)

Otro de los requisitos requeridos para la aplicación de PERMAZYME 11X fue: EL INDICE DE PLASTICIDAD de la cantidad de afirmado de la cantidad que pasa la malla N°4, el cual tenía que encontrarse entre 6 y 20 ($6 < IP < 20$), habiendo seguido la norma NTP 339.129 – MTC E 110 – 2000/ MTC E 111 – 2000. A continuación se hicieron los siguientes pasos:

A) Para la determinación del límite líquido:

1. Se tamizó una cierta cantidad de muestra seca que pasó por la malla N°4 hasta lograr una cantidad aproximadamente de **400 gr** para los ensayos para la determinación de límite de plasticidad, limite plástico e índice de plasticidad.
2. Luego de tener la muestra seca tamizada en el recipiente se añadió cierta cantidad de agua de a pocos en donde se tuvo que lograr que la muestra adopte una consistencia tipo pasta o puré; ajustando el contenido de agua del suelo para llevarlo a una consistencia que requiera 25 a 35 golpes en el dispositivo de límite líquido para cerrar la ranura. Una vez obtenida esta muestra húmeda, se cubrió el recipiente con la muestra el cual se dejó reposar alrededor de 16 horas.
3. Una vez que pasada las 16 horas, re-mezclamos todo el suelo húmedo previo a la muestra, luego se dividió la muestra húmeda en el recipiente en 4 partes casi iguales. Luego se tomó una cantidad de muestra de una cuarta, la cual se colocó haciendo una pequeña presión en el recipiente conocido como copa de Casagrande colocando

en la mitad de la copa y enrasando de manera uniforme hasta una profundidad de aproximadamente 10 mm en su punto más profundo, formando una superficie aproximadamente horizontal, luego usando un acanalador hicimos una ranura de alrededor de 13 mm de espesor en la mitad de la muestra húmeda colocada en la copa siguiendo la línea del punto más alto al punto más bajo, inmediatamente se puso en función la copa de Casagrande eléctrica, la misma que generó golpes a una velocidad de 1.9 a 2.1 golpes por segundo de arriba hacia abajo logrando el cierre de dicha ranura, en donde se tomó nota del número de golpes en el cual se cerró la ranura, previamente habiendo detenido el golpeteo de la copa de Casagrande. Nuestro resultado del número de golpes del cierre de la ranura de este primer ensayo fue: **14 golpes**.

4. Luego se tomó una pequeña cantidad de muestra con una pequeña espátula siendo la muestra aproximadamente del tamaño de la espátula, precisamente en donde se cerró la ranura, la cual se colocó en un recipiente previamente pesado, para luego pesar ambos (recipiente + muestra) en la balanza.
5. Finalmente una vez pesada la pequeña muestra, se colocó ésta con su respectivo recipiente en el horno, en donde se dejó secar alrededor de 24 horas.
6. Pasada las 24 horas se dejó reposar la muestra seca 15 min fuera del horno la cual se pesó nuevamente y se tomó nota del peso seco.
7. Sucesivamente se realizaron 3 ensayos similares siguiendo los pasos mencionados anteriormente, con las otras partes de la muestra que se dividió en cuartas, en donde los golpes

que generaron el cierre de las ranuras fueron: 19, 24 y 30 golpes.

A continuación se muestran los resultados del cálculo del límite líquido:

LIMITE LIQUIDO				
RECIPIENTE N°	1	2	3	4
N° DE GOLPES	14	19	24	30
Peso Tara + Peso Muestra Humeda =	34.38	39.49	39.10	40.87
Peso Tara + Peso Muestra Seca =	31.10	35.91	35.38	37.29
PESO AGUA	3.28	3.58	3.72	3.58
PESO Tara	16.92	19.55	19.59	20.01
Peso Muestra Seca	14.18	16.36	15.79	17.28
% DE HUMEDAD	23.13	21.88	23.56	20.72

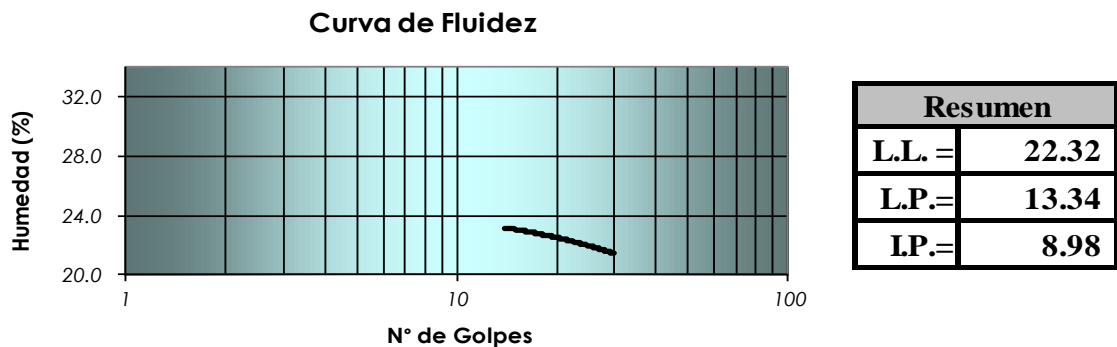
A) Para la determinación del límite plástico:

1. De la muestra sobrante del ensayo para la determinación del límite líquido se tomaron dos pequeñas muestras las cuales se tuvieron que amasar de tal forma que para ambas se debieron crear pequeños bastoncillos de 3.2 mm (1/8 pulg.) de diámetro en no más de 2 minutos, al instante de hacer los bastoncillos y llegar al diámetro descrito se generaron inmediatamente pequeñas grietas que hicieron que los bastoncillos se partieran.
2. Una vez creados estos bastoncillos y habiéndose partido como se mencionó anteriormente, éstos se colocaron en pequeñas taras pesadas previamente, para luego volver a ser pesadas en sus respectivos recipientes logrando alcanzar alrededor de 6 gr de muestra descontando el peso del recipiente.
3. Luego, se colocaron los 6 gr de cada muestra en sus respectivas taras en el horno, alrededor de 24 horas.

4. Finalmente pasada las 24 horas se retiraron las muestras en sus respectivos recipientes, dejándose reposar 15 min para luego pesarlos y tomar nota de su peso seco; habiendo obtenido los siguientes resultados:

LIMITE PLASTICO		
	1	2
Peso Tara + Peso Muestra Humeda =	33.25	22.48
Peso Tara + Peso Muestra seca =	32.44	21.88
PESO AGUA	0.81	0.60
PESO Tara	27.23	16.49
Peso Muestra Seca	5.21	5.39
% DE HUMEDAD	15.55	11.13

Una vez obtenidos los límites líquido y plástico, se obtuvo gracias a éstos el Índice de Plasticidad (IP) de nuestra muestra. Siendo estos los resultados:



5.2.4 ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

Para el ensayo de proctor modificado se siguieron estos pasos:

1. De la muestra de afirmado secada, la cual se mencionó anteriormente, se tomó una cierta cantidad de la bandeja de 30 Kg el cual se tamizó por las mallas: 3/4", 3/8" y N°4. Tomando nota de los pesos de cada material retenido en cada tamiz mencionados anteriormente además de tomar

nota del peso de la cantidad de muestra que pasa por la malla N° 4; a excepción del material retenido en la malla 3/4” el cual debe ser eliminado, para los demás tamices debemos tomar nota de sus pesos calculados. Habiendo obtenido los siguientes resultados:

Peso Retenido en la Malla N° 3/8”:	472.30 gr
Peso Retenido en la Malla N° 4	: 525.90 gr
Peso que pasa la Malla N° 4	: <u>5512.10 gr</u>
Peso Total	: 6510.30 gr

2. Luego de obtener las cantidades de los pesos retenidos en las mallas 3/8” y N° 4 y del peso que pasa la Malla N° 4, obtuvimos los porcentajes requeridos para el ensayo de proctor modificado:

$$\% \text{Retenido en la malla N}^\circ 3/8": \frac{472.30}{6510.30} \times 100 = 7.25\% = 7\%$$

$$\% \text{Retenido en la malla N}^\circ 4: \frac{525.90}{6510.30} \times 100 = 8.08\% = 8\%$$

$$\% \text{Que pasa la malla N}^\circ 4": \frac{5512.10}{6510.30} \times 100 = 84.67\% = 85\%$$

3. Una vez obtenido los porcentajes requeridos para el ensayo de proctor modificado, utilizamos dichos porcentajes para la elaboración de la mezcla que serán compactadas en los 4 moldes que serán compactados con 56 golpes cada uno, habiéndole incorporado previamente cierta cantidad de agua estimada en porcentajes.

4. Ahora, conociendo los porcentajes de cada material requerido, colocamos al horno aproximadamente 50 Kg de muestra en dos bandejas de 25 Kg cada una por 24 horas para eliminar aproximadamente toda la humedad que se encontró presente en cada muestra.
5. Pasada las 24 horas se dejó reposar alrededor de 30 min para luego tamizar por las mallas mencionadas inicialmente de acuerdo a los porcentajes obtenidos, habiéndole añadido ciertos porcentajes de agua de: 5%, 7%, 9% y 11% de la muestra total que se tuvo que colocar en cada molde para el ensayo de proctor.
6. Cada molde contiene aproximadamente 5500 gr. Por lo tanto las cantidades de muestras requeridas fueron:

Peso Retenido en la Malla N° 3/8" (7%):	385.00 gr
Peso Retenido en la Malla N° 4 (8%)	: 440.00 gr
Peso que pasa la Malla N° 4 (85%)	: <u>4675.00 gr</u>
Peso Total	: 5500.00 gr

7. Luego de haber obtenido las 4 muestras secas de 5500 gr ya mezcladas, se añadieron a éstas las cantidades de agua requeridas para el ensayo. Teniendo como referencia lo siguiente:

Para 5% de agua a añadir: $5\% \times 5500 = 275 \text{ ml de agua}$

Para 7% de agua a añadir: $7\% \times 5500 = 385 \text{ ml de agua}$

Para 9% de agua a añadir: $9\% \times 5500 = 495 \text{ ml de agua}$

Para 11% e agua a añadir: $11\% \times 5500 = 495 \text{ ml de agua}$

8. Una vez obtenida la cantidad de agua a añadir, estas se mezclaron homogéneamente con los 5500 gr de cada muestra, cada una por separado.

9. Luego de obtenida las 4 muestras de 5500 gr cada una con las cantidad de agua requerida. Se distribuyeron cada muestra en una bandeja rectangular de manera uniforme, habiéndolas dividido cada muestra en 5 partes de manera casi equitativa, para luego haber colocado cada parte de la muestra en la bandeja, en un molde para realizar la compactación que se requería.

* Para la compactación requerida se colocaron las 5 capas una encima de otra después de ser compactadas cada capa con **56 golpes** provenientes de la maquina compactadora electrónica.

10. Terminada la compactación con las 5 capas, se enrasó la parte superior del molde habiendo retirado previamente el aro que iba enroscado en la base del molde para proctor. Una vez enrasada la muestra compactada en el molde, éste se llevó a pesar en la balanza.

11. Una vez pesada la muestra en su molde, se retiró la muestra del molde para luego pesar el molde sin la muestra incorporada.

12. Finalmente se tomaron 2 partes de la muestra desmoldada que fueron colocadas en 2 recipientes, las cuales se colocaron en el horno por 24 horas aproximadamente en sus respectivos recipientes previamente pesados para el cálculo correcto de su humedad.

13. Posteriormente a este primer ensayo se realizaron los 3 ensayos faltantes con 7 %, 9% y 11% de contenido de humedad, habiendo obtenido los siguientes resultados:

ENSAYO DE COMPACTACIÓN

N.T.P. 339.141

A. DATOS GENERALES

Proyecto: "PISTA DE PRUEBA DEL INSTITUTO DE BIOTECNOLOGIA MOLECULAR Y REPRODUCTIVA ANIMAL IBMRA-UPAO".

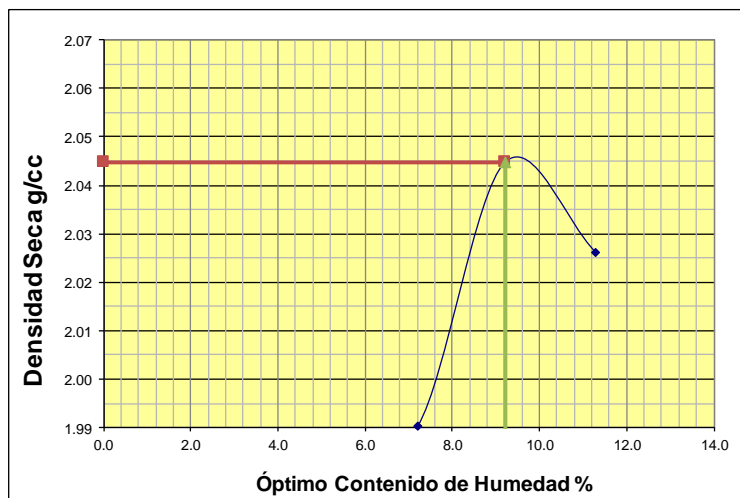
Ubicación: AREA RESERVADA GRLL-10-ETAPA II, SECTOR 5 , VALLE MOCHE, ALTO SALAVERRY

Muestra: AFIRMADO ARCILLOSO PUESTO EN OBRA

Fecha : TRUJILLO, 20 DE JULIO DEL 2015.

B. DATOS TÉCNICOS

N° DE ENSAYO	1		2		3		4	
Peso molde+Suelo Húmedo (g)	7263.00		7354.00		7568.00		7616.00	
Peso del Molde (g)	2745.00		2745.00		2745.00		2745.00	
Peso Suelo Húmedo (g)	4518.00		4609.00		4823.00		4871.00	
Volúmen del molde (cc)	2160.00		2160.00		2160.00		2160.00	
Densidad Suelo humedo (g/cc)	2.092		2.134		2.233		2.255	
Número de Tarro	1	2	3	4	5	6	7	8
Cantidad de H ₂ O agregada	5%		7%		9%		11%	
Peso Tarro +Suelo humedo (g)	158.02	354.56	116.91	119.09	373.20	168.52	235.16	237.02
Peso Tarro + Suelo Seco (g)	152.82	348.25	112.58	114.66	361.16	158.80	216.40	222.39
Peso Tarro (g)	52.38	231.47	51.84	53.91	231.46	52.37	51.83	91.71
Peso del agua	5.20	6.31	4.33	4.43	12.04	9.72	18.76	14.63
Peso de suelo seco	100.44	116.78	60.74	60.75	129.70	106.43	164.57	130.68
Humedad (%)	5.2	5.4	7.1	7.3	9.3	9.1	11.4	11.2
Humedad promedio (%)	5.290		7.210		9.208		11.297	
Densidad Seca (g/cc)	1.987		1.990		2.045		2.026	



METODO	C
NUMERO DE CAPAS	5
NUMERO DE GOLPES	56
DSM (g/cm ³)	2.05
OCH (%)	9.21

DATOS DEL MOLDE	
N°:	1
PESO(g):	2745.0
VOLUMEN(cc):	2160.0

Concluyendo con los ensayos previos al diseño de mezclas del afirmado en campo y laboratorio. Observamos que el material cumple con todas las especificaciones requeridas para la aplicación del aditivo, donde obtuvimos lo siguiente:

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL AFIRMADO	UNIDAD	CANTIDAD	CUMPLE CON LOS REQUERIMIENTOS
Contenido de Humedad	Porcentaje	6,26	-
Límite líquido	-	22,32	SI
Límite plástico	-	13,34	SI
Índice de Plasticidad	-	8,98	SI
Cantidad de Finos (Pasa la malla N°200)	Porcentaje	23,79	SI
Densidad Seca máxima	gr/cm ³	2.05	-
Óptimo contenido de Humedad	Porcentaje	9.21	-

5.3 CALCULOS PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS DEL AFIRMADO EN LABORATORIO Y CAMPO CON ADITIVO ECOLÓGICO PERMAZYME 11X

Una vez obtenido los resultados requeridos por el aditivo. Calculamos la cantidad de PERMAZYME 11X a añadir tanto para laboratorio como en campo. Siguiendo los pasos para el cálculo según la guía práctica de PERMAZYME 11X tanto para laboratorio como para campo

5.3.1 CALCULOS PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS DEL AFIRMADO EN LABORATORIO CON ADITIVO ECOLÓGICO PERMAZYME 11X

Para el diseño de mezclas del afirmado en laboratorio se siguieron estas indicaciones:

1. Se deberán tener datos de la humedad presente del suelo, del peso específico seco o densidad seca natural y humedad óptima; es posible obtener matemáticamente la cantidad de agua necesaria para adicionar al suelo y llegar a la humedad óptima.
2. Se debe tener claridad de la cantidad de suelo compacto "X", en m³, que se va a trabajar en la jornada. Esta cantidad de material se divide en 30 para saber cuánto PERMAZYME 11X en litros, se debe aplicar en el suelo, de la siguiente forma:

$$PZ = \frac{\text{Volumen de Suelo}}{30}$$

3. Como la cantidad de agua que se debe aplicar al suelo es proporcional al mismo si se quiere llegar a la humedad óptima, hemos obtenido la siguiente expresión para hallar la cantidad de agua necesaria:

$$V = \frac{\gamma(\omega_o - \omega_n)}{1 + (\gamma \times \omega_o)}$$

Donde:

V = Volumen de agua que se debe adicionar por cada m³ de suelo, en m³

γ = Peso específico seco del suelo o densidad seca natural del suelo, según el ensayo de Proctor, en ton/m³

ω_o = Humedad óptima del suelo, según el ensayo de Proctor, en %

ω_n = Humedad natural del suelo, en %

La cantidad de agua final que se debe adicionar al volumen de suelo, es: V multiplicada por el número de m³ del suelo compacto que se va a trabajar.

Por lo tanto, con los datos obtenidos previamente al diseño de mezclas de la muestra de afirmado con el aditivo PERMAZYME 11X, desarrollamos lo siguiente:

1. Calculo de PERMAZYME 11X a añadir para un volumen de suelo correspondiente a 5500 gr requeridos para el ensayo de CBR en laboratorio:

Volumen de suelo: 2120.40 cm³ o 0.0021204 m³

$$PZ = \frac{0.002120.40}{30} = 0.00007068 \text{ litros}$$

Luego para facilidad de procedimiento y diseño de mezclas la cantidad de PERMAZYME 11X la transformamos a mililitros, obteniendo lo siguiente: 0.00007068 litros = **0.07068 ml.**

2. Una vez calculada la cantidad de aditivo a añadir a la muestra, calculamos la cantidad de agua con los datos obtenidos para luego añadir el agua a la muestra que será compactada posteriormente; desarrollando el siguiente procedimiento:

Datos obtenidos: $\gamma = 2.05$ gr/cm³, $\omega_o = 9.21$ %, $\omega_n = 6.26$ %

$$V = \frac{(0.0921 - 0.0626)}{1 + (2.05 \times 0.0921)} = 0.02481$$

Luego el valor V se multiplica por el número de m³ del suelo compacto que se trabajará. Siendo el resultado el siguiente: Agua a adicionar: 0.02481 x 0.00212040 = **0.000052607 m³ o 52.61 ml de agua** que se mezclara con el aditivo PERMA-ZYME 11X.

Una vez obtenida las cantidades de agua y aditivo PERMAZYME 11X. Mezclamos homogéneamente con la muestra de afirmado para el ensayo de CBR en laboratorio. Basándonos en lo siguiente:

PREPARACIÓN DE LA MUESTRA CON PERMA ZYME 11X Y SU CURADO:

Una vez determinada la humedad óptima para el diseño de una mezcla apropiada debe prepararse un molde para la determinación del CBR. Antes de colocar el material en el molde, el material del recipiente debe humedecerse hasta su humedad óptima usando una mezcla de agua y PERMA ZYME 11X. PERMA ZYME 11X se agregará a razón de 0.28 mililitros por 4.000 gr de material. El material de base deberá ser mezclado perfectamente y su contenido de humedad revisado antes de su compactación y curado. Es recomendable cubrir el recipiente con un cobertor impermeable para evitar la pérdida de humedad durante la preparación de la muestra.

Con la mezcla preparada y ajustada de PERMA - ZYME 11X con el material en cuanto a su humedad, se preparará el molde. Este material tratado se compactará 24 horas después de su mezclado para garantizar que la enzima actúe sobre la mezcla según el Procedimiento C de ASTM D698-91, y se dejará en un lugar seco.

La muestra compactada será curada durante un mínimo de 72 hrs a temperatura ambiente. Si es posible, el tiempo de curado se incrementará a 120 hrs. (5 días) antes de someterla a cualquier ensayo de resistencia para permitir maximizar la resistencia de enlace en la muestra. Si se desea usar un horno para el proceso de curado, la temperatura de éste no debe superar los 37° Celsius.

5.3.1.1 ENSAYO DE RESISTENCIA DE LA MUESTRA DE LABORATORIO:

Si se desea, la muestra PERMAZYME 11X con material de base totalmente curada se puede ensayar a la resistencia relativa. Se recomienda ensayar C.B.R (California Bearing Ratio), según la norma ASTM D-1883. Como el ensayo CBR puede hacerse con una mezcla sumergida o no sumergida, se recomienda usar el segundo método para mayor veracidad y frecuencia de los resultados.

5.3.2 CALCULOS PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS DEL AFIRMADO EN CAMPO CON ADITIVO ECOLÓGICO PERMAZYME 11X

Para el diseño de mezclas del afirmado en laboratorio se siguieron estas indicaciones:

1. Se deberán tener al igual que el diseño de mezclas en laboratorio los datos de la humedad presente del suelo, del peso específico seco o densidad seca natural y humedad óptima; es posible obtener matemáticamente la cantidad de agua necesaria para adicionar al suelo y llegar a la humedad óptima.
2. Se debe tener claridad de la cantidad de suelo compacto "X", en m³, que se va a trabajar en la jornada. Esta cantidad de material se divide en 120 para saber cuánto

PERMAZYME 11X en galones, se debe aplicar en el suelo, de la siguiente forma:

$$PZ = \frac{\text{Volumen de Suelo}}{120}$$

3. Como la cantidad de agua que se debe aplicar al suelo es proporcional al mismo si se quiere llegar a la humedad óptima, hemos obtenido la siguiente expresión para hallar la cantidad de agua necesaria:

$$V = \frac{\gamma(\omega_o - \omega_n)}{1 + (\gamma \times \omega_o)}$$

Donde:

V = Volumen de agua que se debe adicionar por cada m³ de suelo, en m³

γ = Peso específico seco del suelo o densidad seca natural del suelo, según el ensayo de Proctor, en ton/m³

ω_o = Humedad óptima del suelo, según el ensayo de Proctor, en %

ω_n = Humedad natural del suelo, en %

La cantidad de agua final que se debe adicionar al volumen de suelo, es: **V** multiplicada por el número de m³ del suelo compacto que se va a trabajar.

Por lo tanto, con los datos obtenidos previamente al diseño de mezclas de la muestra de afirmado con el aditivo PERMAZYME 11X, desarrollamos lo siguiente:

1. Cálculo de PERMAZYME 11X a añadir para un volumen de suelo correspondiente a la Pista de Prueba del Instituto de Biotecnología Molecular y Reproductiva Animal IBMRA-UPAO. Siendo el tramo de 5 m de ancho, 60 m de largo y 0.15 m de espesor.

Teniendo un volumen total de: $5 \times 60 \times 0.15 = 45 \text{ m}^3$. Luego:

$$PZ = \frac{45}{120} = 0.38 \text{ galones} = 0.38 \times 3.7854 \\ = 1.4195 \text{ lts}$$

Luego la cantidad de PERMA ZYME 11X a añadir en litros es: **1.42 litros**

2. Una vez calculada la cantidad de aditivo a añadir a la pista de prueba, calculamos la cantidad de agua con los datos obtenidos para luego añadir el agua a la muestra que será compactada posteriormente; desarrollando el siguiente procedimiento:

Datos obtenidos: $\gamma = 2.05 \text{ gr/cm}^3$, $\omega = 9.21 \%$, $\omega_n = 6.26 \%$

$$V = \frac{(0.0921 - 0.0626)}{1 + (2.05 \times 0.0921)} = 0.02481$$

Luego el valor V se multiplica por el número de m³ del suelo compacto que se trabajará. Siendo el resultado el siguiente: Agua a adicionar: $0.02481 \times 45 = \mathbf{1.116 \text{ m}^3 \text{ de agua}}$ que se mezclará con el aditivo PERMA-ZYME 11X añadida al afirmado del tramo de la pista de prueba.

Una vez obtenida las cantidades de agua y aditivo PERMAZYME 11X. Mezclamos homogéneamente con la muestra de afirmado para el ensayo de CBR en laboratorio. Basándonos en lo siguiente:

5.3.2.1 METODOLOGÍAS DE ESTABILIZACIÓN:

El método con el cual se estabiliza el suelo depende de la maquinaria disponible y más que todo del plan de trabajo que se adopte para la obra y si el suelo que se va a estabilizar es apto para trabajar con PERMA ZYME 11X. A continuación se exponen algunas posibilidades de trabajo que pueden usarse para la estabilización de suelos con el multienzimático.

NOTA: El suelo es llevado a tal condición que cumpla con los requerimientos del multienzimático. Los parámetros principales como son granulometría e índice de plasticidad, ya se han establecido previamente por el fabricante de PERMA ZYME 11X; es importante recordar que la proporción de PERMA ZYME 11X respecto del suelo ya está establecida, por lo que no se debe cambiar dicha proporción.

5.3.2.1.1 Estabilización con material de aporte mezclado en otro sitio

Con este procedimiento el suelo a estabilizar inicialmente se encuentra en un sitio diferente al de disposición final; en este lugar se encuentra disgregado, se aplica la mezcla de agua + PERMAZYME 11X, se homogeniza y se transporta al sitio donde se dispondrá finalmente. Luego, en el sitio elegido donde se dispondrá el suelo estabilizado, se extiende la mezcla, se nivela y se compacta.

Este método de estabilización es eficiente en cuanto al ahorro de tiempo, pero siempre y cuando el volumen de estabilización sea grande y se cuente con los equipos de transporte y mezclado necesarios. Debido a que se trabajará con material de aporte, el suelo natural del sitio se considera como sub-rasante.

5.3.2.1.2 ENSAYOS DE CONTROL:

Como garantía tangible y medible de los trabajos de estabilización realizados, se deben realizar pruebas IN SITU o de laboratorio con los que se demuestra la acción de PERMAZYME 11X:

- Densidades o pesos unitarios secos en el terreno, por el método que se desee.
- CBR de laboratorio, CBR inalterado o CBR en el terreno (IN SITU).
- Compresiones de cilindros adicionando PERMAZYME 11X.
- Medida de deflexiones, por cualquier método.

CAPITULO VI

6 RESULTADOS EXPERIMENTALES Y DISCUSIÓN

En este capítulo se presentan los resultados de los ensayos de CBR con aditivo en comparación con la muestra sin aditivo sumergido y no sumergido en el laboratorio además de confrontarlo con los resultados en campo.

Para los ensayos de CBR del suelo compactado primero sin aditivo y con aditivo sumergidos, ensayamos el CBR de manera convencional (SUMERGIENDO LA MUESTRA COMPACTADA DESPUES DE COMPACTAR).

A continuación explicamos brevemente como se realizaron los ensayos de CBR convencionales:

- Se realizó el primer ensayo con el material seco, habiendo retirado el contenido de humedad previamente habiendo colocado la muestra en el horno. Luego se le agregó la cantidad de agua necesaria hasta llegar a su humedad óptima, en este caso como la humedad óptima del material es de 9.21% y la muestra fue de 5500 gr, le tuvimos que agregar 506.55 ml de agua limpia de impurezas, mezclando de manera homogénea.
- Una vez obtenida la muestra húmeda la dividimos en 5 partes iguales, para a continuación colocarla en capas en el molde Marshall para CBR para luego ser compactados en este primer caso con 56 golpes. Así sucesivamente habiéndolo hecho capa por capa hasta haber llegado a la 5ta capa.
- Luego de compactada la muestra se retira el anillo superior del molde de Marshall para a continuación enrasar el suelo compactado quitándole el exceso de suelo del molde. Al momento de eliminar el exceso de suelo, se colocan partes del suelo sobrante en 2 taras previamente pesadas, para enseguida pesarlas con las muestras extraídas y colocarlas en el horno por 24 horas.

- Enseguida tomamos el molde Marshall previamente pesado sin la muestra compactada y enrasada, para luego pesar nuevamente el molde pero esta vez con el suelo compactado y enrasado.
- Sucesivamente se realizan las siguientes compactaciones siguiendo el mismo procedimiento de la muestra compactada con 56 golpes, pero en estos casos con 25 y 12 golpes en su respectivo molde cada uno.
- Finalmente pasamos a los ensayos de **expansión y penetración** en donde se realizó lo siguiente:

Ensayo de expansión:

Se colocaron los 3 moldes con los suelos compactados sobre una plataforma asegurada con pernos, colocando 2 pesas de forma circular en la superficie de la muestra dentro del molde y luego sumergimos en agua libre de impurezas para finalmente colocar encima los diales de deformación dejándolos sumergidos con los diales sobrepuestos por 96 horas, tomando nota de los resultados obtenidos en los diales cada 24 horas hasta llegar a las 96 horas.

Ensayo de Penetración:

Una vez pasada las 96 horas de haber sumergido la muestra, se retiran los moldes con las muestras compactadas dejándose fuera del agua por alrededor de 20 min tratando de eliminar el exceso de agua en los moldes colocando los moldes de forma inclinada.

Finalmente pasado los 20 min, llevamos los moldes con las muestras húmedas para pasarlas por el ensayo de penetración usando la máquina para ensayo de CBR o prensa de carga en donde obtendremos los resultados de las cargas a través de la máquina, registrando las cargas proporcionales a los asentamientos del suelo después de ser penetradas por el pistón de carga en el centro del suelo compactado en el molde.

A continuación mostraremos los resultados de los ensayos realizados con la muestra sumergida sin aditivo PERMAZYME 11X y con aditivo PERMAZYME 11X

6.1 ENSAYO DE CBR EN LABORATORIO SIN ADITIVO SUMERGIDO

INFORME DE ENSAYO

PROYECTO : TESIS PERMA ZYME 11X
UBICACIÓN : TRUJILLO - LA LIBERTAD
FECHA : AGOSTO DE 2015

RAZON SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.) ASTM D-1883

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA

COMPACTACIÓN	MOLDES					
	SIN SUMERGIR		SUMERGIDO	SIN SUMERGIR		SUMERGIDO
CONDICIÓN						
Molde N°	1			2		3
Número de Capas	5			5		5
Número de golpes por capas	56			25		12
Sobrecarga (g.)	4530			4530		4530
Muestra húmeda + Molde (g.)	9589.20	12850	9257.80	12490	9034.70	12350
Peso del Molde (g.)	5113.00	8626	5024.00	8520	5048.00	8560
Peso de la Muestra húmeda (g.)	4476.20	4224	4233.80	3970	3986.70	3790
Volúmen de la Muestra (cm ³)	2118.00	2118	2119.60	2119	2120.40	2120
Densidad húmeda (g./cm ³)	2.113	1.994	1.997	1.873	1.880	1.788

CONTENIDO DE HUMEDAD (ASTM D 2216 / NTP 339.127)									
Tara N°	1	2	7	3	4	8	5	6	9
Muestra húmeda + Tara (g.)	276.20	258.40		289.50	225.50		282.50	269.20	
Muestra seca + Tara (g.)	258.10	240.50		269.60	206.30		264.10	250.10	
Peso del Agua (g.)	18.10	17.90		19.90	19.20		18.40	19.10	
Peso de la Tara (g.)	53.90	40.70		46.30	29.00		66.70	38.70	
Muestra Seca (g.)	204.20	199.80		223.30	177.30		197.40	211.40	
Contenido de Humedad (%)	8.86	8.96		8.91	10.83		9.32	9.04	
Cont. Humedad Prom.(%)	8.91			9.87			9.18		
DENSIDAD SECA (g./cm ³)	1.940			1.818			1.722		

Tabla 6.1.1: Datos tomados para el ensayo de CBR EN LABORATORIO SIN ADITIVO – SUMERGIDO.

La tabla 6.1.1 nos muestra cual es la densidad húmeda y la densidad seca máxima del suelo compactado con 56, 25 y 12 golpes, donde podemos observar lo siguiente:

- Para 56 golpes se obtuvo una densidad húmeda máxima de 2.133 gr/cm³ antes de sumergir y 1.994 gr/cm³ después de sumergido; además una densidad seca máxima de 1.940 gr/cm³.

- Para 25 golpes se obtuvo una densidad húmeda máxima de 1.977 gr/cm³ antes de sumergir y 1.873 gr/cm³ después de sumergido; además una densidad seca máxima de 1.818 gr/cm³.
- Para 12 golpes se obtuvo una densidad húmeda máxima de 1.88 gr/cm³ antes de sumergir y 1.788 gr/cm³ después de sumergido; además una densidad seca máxima de 1.722 gr/cm³.
- Finalmente los contenidos de humedad de cada muestra compactada con 56, 25 y 12 golpes fue de 8.91%, 9.87% y 9.18% respectivamente

EXPANSIÓN

Molde N°		1		2		3	
Sobrecarga (gr)		4530		4530		4530	
Fecha	Tiempo (horas)	Le c t u r a	Hinc h a m.	Le c t u r a	Hinc h a m.	Le c t u r a	Hinc h a m.
		dial	(mm)	dial	(mm)	dial	(mm)
10-feb	11.30 am	0	0	0	0	0	0
11-feb	11.30 am	24	40	1.016	52	1.321	1.422
12-feb	11.30 am	48	43	1.092	54	1.372	1.473
13-feb	11.30 am	72	47	1.194	56	1.422	1.499
14-feb	11.30 am	96	50	1.270	58	1.473	1.524

Tabla 6.1.2: RESULTADOS CBR DE ENSAYO DE EXPANSIÓN EN LABORATORIO SIN ADITIVO - SUMERGIDO.

En la tabla 6.1.2 podemos observar la expansión de la muestra compactada sin aditivo, habiéndolo sumergido durante 96 horas y habiendo tomado nota del hinchamiento en milímetros cada 24 horas, mostrando lo siguiente:

- Para una compactación de 56 golpes un hinchamiento inicial de 40 líneas en el dial que representan 1.016 mm y un hinchamiento máximo de 50 líneas en el dial que representa 1.27 mm

- Para una compactación de 25 golpes un hinchamiento inicial de 52 líneas en el dial que representan 1.321 mm y un hinchamiento máximo de 58 líneas en el dial que representa 1.473 mm
- Para una compactación de 12 golpes un hinchamiento inicial de 56 líneas en el dial que representan 1.422 mm y un hinchamiento máximo de 60 líneas en el dial que representa 1.524 mm

ENSAYO CARGA - PENETRACIÓN

PENETRACIÓN (mm)	(pulg)	Molde N° 01		Molde N° 02		Molde N° 03	
		Ensayo Carga		Ensayo Carga		Ensayo Carga	
		Carga (Kg)	kg/cm ²	Carga (Kg)	kg/cm ²	Carga (Kg)	kg/cm ²
0.64	0.025	26.10	1.3	20.30	1.05	20.30	1.05
1.27	0.050	47.50	2.5	33.80	1.75	58.80	3.04
1.91	0.075	130.20	6.7	89.10	4.61	102.90	5.32
2.54	0.100	313.90	16.23	143.00	7.39	134.20	6.94
3.81	0.150	445.00	23.0	165.10	8.53	170.80	8.83
5.08	0.200	619.40	32.02	217.50	11.24	198.60	10.27
6.35	0.250	714.10	36.9	306.20	15.83	227.00	11.73
7.62	0.300	920.90	47.6	345.60	17.86	278.50	14.40
12.7	0.500	1108.70	57.3	486.60	25.15	324.50	16.77

Tabla 6.1.3: RESULTADOS CBR –ENSAYO DE CARGA O PENETRACIÓN EN LABORATORIO SIN ADITIVO - SUMERGIDO.

En la tabla 6.1.3 podemos observar las cargas aplicadas a las muestras compactadas de los 3 moldes de 56, 25 y 12 golpes donde se muestran los soportes de cargas iniciales y finales de cada muestra siendo las cargas mínimas y máximas las siguientes:

- Para una compactación de 56 golpes inició con una carga mínima de 26.10 Kg con un fuerza equivalente a 1.30 Kg/cm² y una carga máxima de 1108.70 Kg con una fuerza equivalente de 57.30 Kg/cm².
- Para una compactación de 25 golpes inició con una carga mínima de 20.30 Kg con un fuerza equivalente a 1.05 Kg/cm² y una carga máxima de 486.60 Kg con una fuerza equivalente de 25.15 Kg/cm².

- Para una compactación de 12 golpes inició con una carga mínima de 20.30 Kg con un fuerza equivalente a 1.05 Kg/cm² y una carga máxima de 324.50 Kg con una fuerza equivalente de 16.77 Kg/cm².

CURVA DENSIDAD - C.B.R.

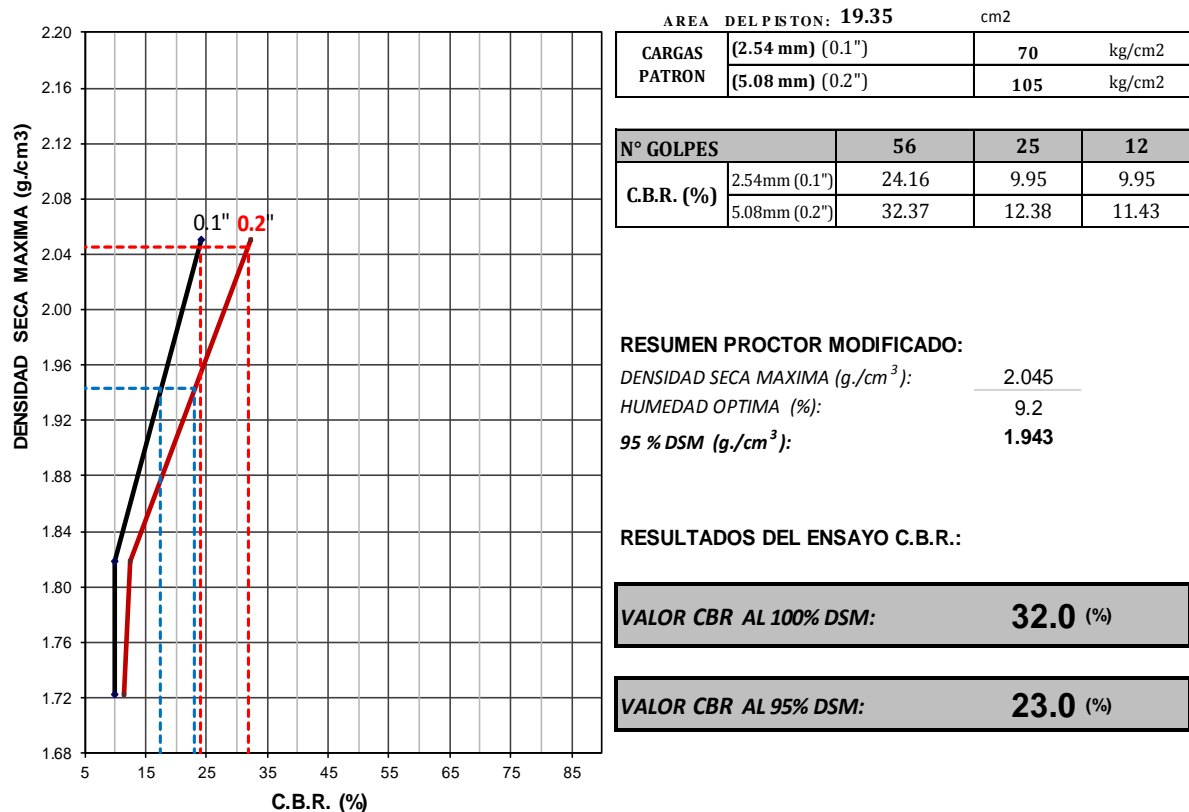
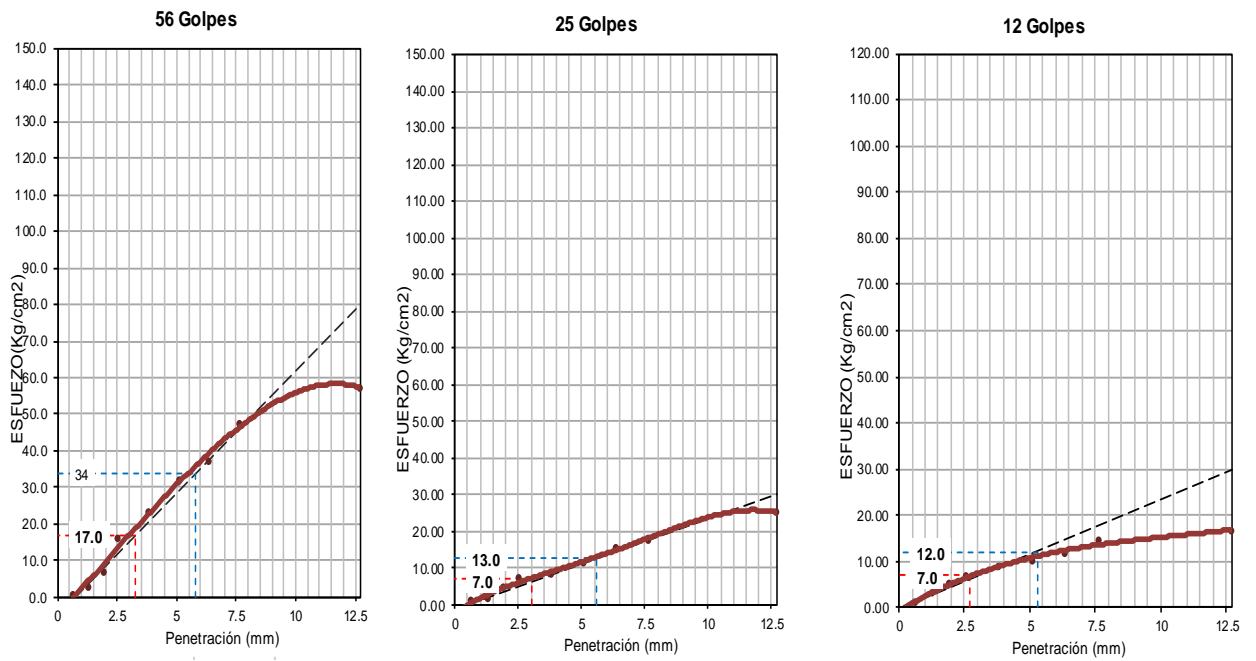


Figura 6.1.1: Curva Densidad – CBR al 95% y 100 % de muestra SIN ADITIVO – SUMERGIDO

En la figura 6.1.1 se grafican los CBR's alcanzados por las 3 muestras sin aditivo compactadas con 56, 25 y 12 golpes después de sumergirlos vs su densidad seca máxima, en donde obtenemos lo siguiente:

- Valor de CBR al 95%: CBR mínimo 17.5% y CBR máximo 23%
- Valor de CBR al 100%: CBR mínimo 24% y CBR máximo 32%



Figuras 6.1.2-6.1.3 y 6.1.4: Curva Esfuerzo vs Penetración de 56, 25 y 12 Golpes para ENSAYO EN LABORATORIO SIN ADITIVO - SUMERGIDO

En la figura 6.1.2, 6.1.3 y 6.1.4 se grafican las curvas de Penetración (mm) vs Esfuerzo (Kg/m²), donde podemos apreciar que los asentamientos (por la penetración - mm) del suelo requeridos por el ensayo de CBR no requieren de esfuerzos tan altos para su asentamiento inmediato.

6.2 ENSAYO DE CBR EN LABORATORIO CON ADITIVO SUMERGIDO

INFORME DE ENSAYO

PROYECTO : TESIS PERMA ZYME 11X
UBICACIÓN : TRUJILLO - LA LIBERTAD
FECHA : AGOSTO DE 2015

RAZON SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.) ASTMD-1883

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA

COMPACTACIÓN	MOLDES					
CONDICIÓN	SIN SUMERGIR		SUMERGIDO	SIN SUMERGIR		SUMERGIDO
Molde N°	1			2		3
Número de Capas	5			5		5
Número de golpes por capas	56			25		12
Sobrecarga (g.)	4530			4530		4530
Muestra húmeda + Molde (g.)	9591.00	12639		9097.00	12428	8767.20 12225
Peso del Molde (g.)	5113.00	8626		5024.00	8520	5048.00 8560
Peso de la Muestra húmeda (g.)	4478.00	4013		4073.00	3908	3719.20 3665
Volúmen de la Muestra (cm ³)	2118.00	2118		2119.60	2119	2120.40 2120
Densidad húmeda (g./cm ³)	2.114	1.895		1.922	1.844	1.754 1.729

CONTENIDO DE HUMEDAD (ASTM D 2216 / NTP 339.127)									
Tara N°	1	2	7	3	4	8	5	6	9
Muestra húmeda + Tara (g.)	261.10	283.20		212.70	245.00		311.00	291.00	
Muestra seca + Tara (g.)	250.40	272.10		202.70	232.30		296.40	276.80	
Peso del Agua (g.)	10.70	11.10		10.00	12.70		14.60	14.20	
Peso de la Tara (g.)	43.10	45.00		44.70	42.50		66.50	63.00	
Muestra Seca (g.)	207.30	227.10		158.00	189.80		229.90	213.80	
Contenido de Humedad (%)	5.16	4.89		6.33	6.69		6.35	6.64	
Cont. Humedad Prom.(%)	5.02			6.51			6.50		
DENSIDAD SECA (g./cm ³)	2.013			1.804			1.647		

Tabla 6.2.1: Datos tomados para el ensayo de CBR EN LABORATORIO CON ADITIVO - SUMERGIDO.

La tabla 6.2.1 nos muestra cual es la densidad húmeda y la densidad seca máxima del suelo compactado con 56, 25 y 12 golpes, donde podemos observar lo siguiente:

- Para 56 golpes se obtuvo una densidad húmeda máxima de 2.114 gr/cm³ antes de sumergir y 1.895 gr/cm³ después de sumergido; además una densidad seca máxima de 2.013 gr/cm³.
- Para 25 golpes se obtuvo una densidad húmeda máxima de 1.922 gr/cm³ antes de sumergir y 1.844 gr/cm³ después de sumergido; además una densidad seca máxima de 1.804 gr/cm³.

- Para 12 golpes se obtuvo una densidad húmeda máxima de 1.754 gr/cm³ antes de sumergir y 1.729 gr/cm³ después de sumergido; además una densidad seca máxima de 1.647 gr/cm³.
- Finalmente los contenidos de humedad de cada muestra compactada con 56, 25 y 12 golpes fue de 5.02%, 6.51% y 6.50% respectivamente

EXPANSIÓN

Molde N°		1			2		3	
Sobrecarga (gr)		4530			4530		4530	
Fecha		Tie mpo	Le c tura	Hinc ha m.	Le c tura	Hinc ha m.	Le c tura	Hinc ha m.
		(ho ras)	dia l	(mm)	dia l	(mm)	dia l	(mm)
10-feb	11.30 am	0	0	0	0	0	0	0
11-feb	11.30 am	24	7	0.178	21	0.533	42	1.067
12-feb	11.30 am	48	7	0.178	21	0.533	42	1.067
13-feb	11.30 am	72	7	0.178	21	0.533	42	1.067
14-feb	11.30 am	96	7	0.178	21	0.533	42	1.067

Tabla 6.2.2: RESULTADOS CBR DE ENSAYO DE EXPANSIÓN EN LABORATORIO CON ADITIVO - SUMERGIDO.

En la tabla 6.2.2 podemos observar la expansión de la muestra compactada con aditivo, habiéndolo sumergido durante 96 horas y habiendo tomado nota del hinchamiento en milímetros cada 24 horas, mostrando lo siguiente:

- Para una compactación de 56 golpes un hinchamiento inicial de 7 líneas en el dial que representan 0.178 mm el cual se mantuvo igual hasta pasar las 96 horas sumergido.
- Para una compactación de 25 golpes un hinchamiento inicial de 21 líneas en el dial que representan 0.53 mm el cual se mantuvo igual hasta pasar las 96 horas sumergido.
- Para una compactación de 12 golpes un hinchamiento inicial de 42 líneas en el dial que representan 1.067 mm el cual se mantuvo igual hasta pasar las 96 horas sumergido.

ENSAYO CARGA - PENETRACIÓN

PENETRACIÓN (mm)	(pulg)	Molde N° 01		Molde N° 02		Molde N° 03	
		Ensayo Carga		Ensayo Carga		Ensayo Carga	
		Carga (Kg)	kg/cm ²	Carga (Kg)	kg/cm ²	Carga (Kg)	kg/cm ²
0.64	0.025	270.80	14.0	36.40	1.88	55.10	2.85
1.27	0.050	520.70	26.9	79.20	4.09	111.30	5.75
1.91	0.075	730.60	37.8	157.50	8.14	128.60	6.65
2.54	0.100	1033.1	53.4	216.8	11.2	233.2	12.05
3.81	0.150	1277.50	66.0	368.70	19.06	245.10	12.67
5.08	0.200	1497.4	77.4	447.6	23.1	255.0	13.18
6.35	0.250	1550.40	80.1	495.20	25.60	366.30	18.93
7.62	0.300	1761.10	91.0	596.20	30.82	375.50	19.41
12.7	0.500	1941.40	100.4	700.20	36.19	415.50	21.48

Tabla 6.2.3: RESULTADOS CBR –ENSAYO DE CARGA O PENETRACIÓN EN LABORATORIO SIN ADITIVO - SUMERGIDO.

En la tabla 6.2.3 podemos observar las cargas aplicadas a las muestras compactadas de los 3 moldes de 56, 25 y 12 golpes donde se muestran los soportes de cargas iniciales y finales de cada muestra siendo las cargas mínimas y máximas las siguientes:

- Para una compactación de 56 golpes inició con una carga mínima de 270.80 Kg con un fuerza equivalente a 14.00 Kg/cm² y una carga máxima de 1941.40 Kg con una fuerza equivalente de 100.40 Kg/cm².
- Para una compactación de 25 golpes inició con una carga mínima de 36.40 Kg con un fuerza equivalente a 1.88 Kg/cm² y una carga máxima de 700.20 Kg con una fuerza equivalente de 36.19 Kg/cm².
- Para una compactación de 12 golpes inició con una carga mínima de 55.10 Kg con un fuerza equivalente a 2.85 Kg/cm² y una carga máxima de 415.50 Kg con una fuerza equivalente de 21.48 Kg/cm².

CURVA DENSIDAD - C.B.R.

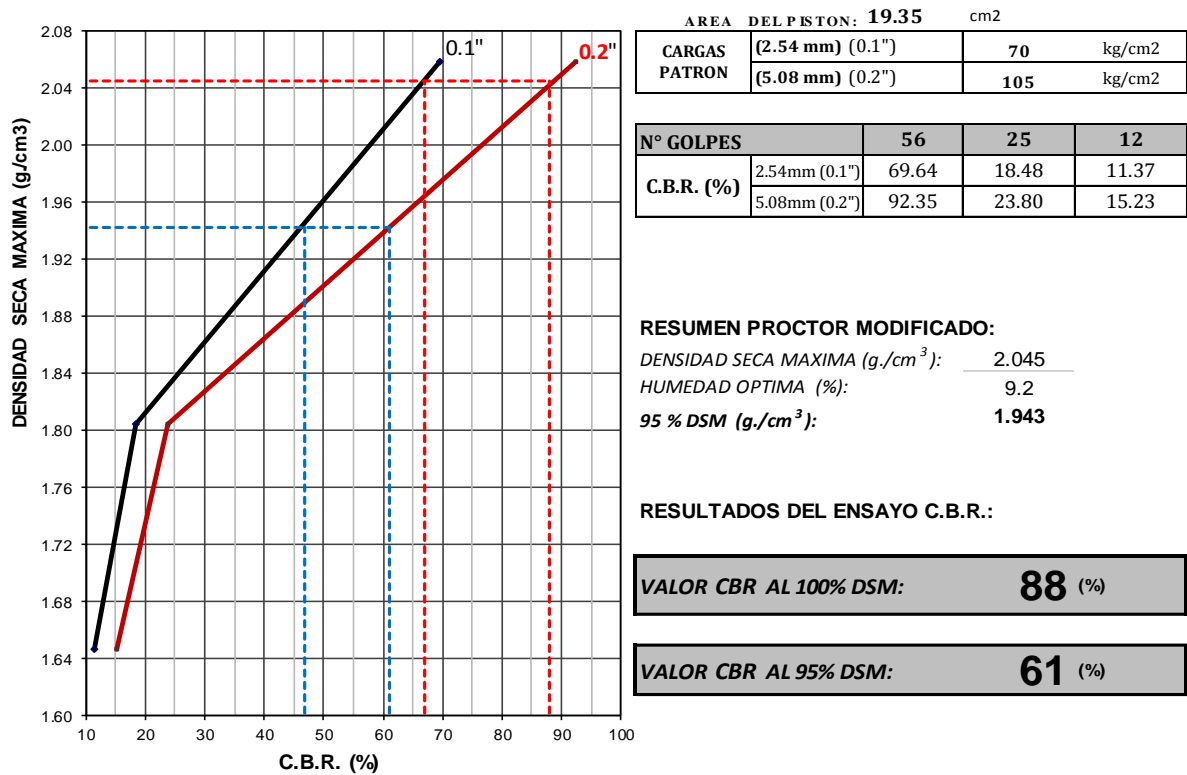
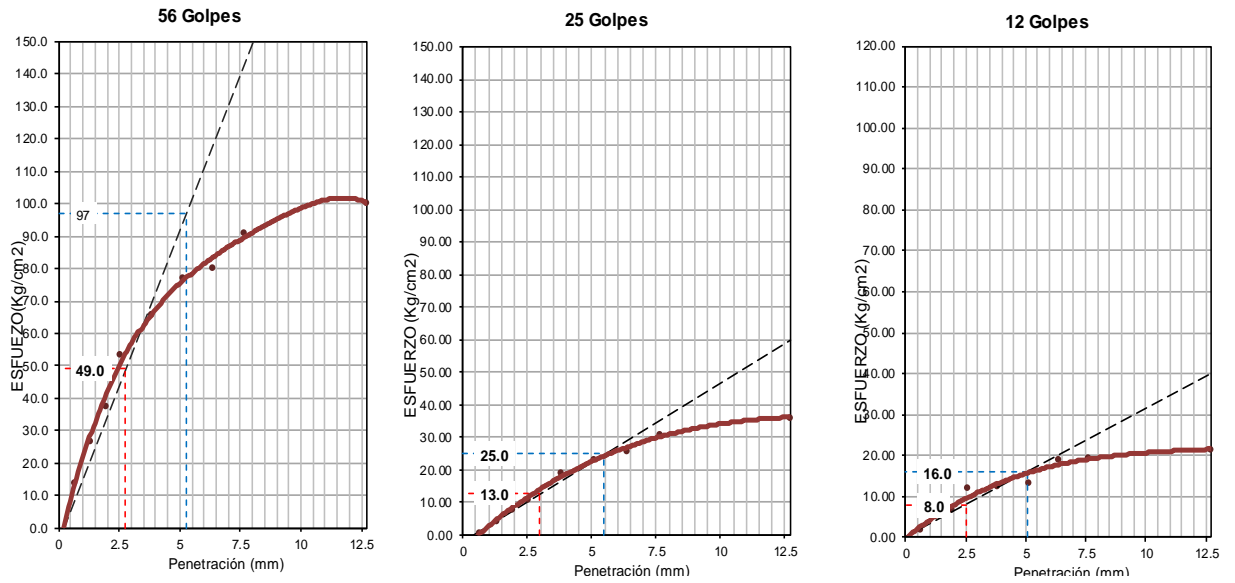


Figura 6.2.1: Curva Densidad – CBR al 95% y 100 % DE MUESTRA CON ADITIVO – SUMERGIDO

En la figura 6.2.1 se grafican los CBR's alcanzados por las 3 muestras con aditivo compactadas con 56, 25 y 12 golpes después de sumergirlos vs su densidad seca máxima, en donde obtenemos lo siguiente:

- Valor de CBR al 95%: CBR mínimo 46.70% y CBR máximo 61%
- Valor de CBR al 100%: CBR mínimo 61.00% y CBR máximo 88%



Figuras 6.2.2-6.2.3 y 6.2.4: Curva Esfuerzo vs Penetración de 56, 25 y 12 Golpes para ENSAYO EN LABORATORIO CON ADITIVO – SUMERGIDO

En la figura 6.2.2, 6.2.3 y 6.2.4 se grafican las curvas de Penetración (mm) vs Esfuerzo (Kg/m²), donde podemos apreciar que los asentamientos (por la penetración - mm) del suelo requeridos por el ensayo de CBR requieren de esfuerzos ligeramente altos para su asentamiento inmediato.

6.3 ENSAYO DE CBR EN LABORATORIO CON ADITIVO Y SIN ADITIVO SIN SUMERGIR

Para los ensayos de CBR del suelo compactado sin aditivo y con aditivo sin sumergir como lo recomiendan la guía para estabilización de suelos en laboratorio incluyendo PERMA ZYME 11X. Esta vez ensayamos las muestras sin sumergir una con aditivo y la otra sin aditivo, obteniendo los siguientes resultados.

6.3.1 ENSAYO DE CBR EN LABORATORIO SIN ADITIVO SIN SUMERGIR

INFORME DE ENSAYO DE CBR

PROYECTO : "PISTA DE PRUEBA DEL INSTITUTO DE BIOTECNOLOGIA MOLECULAR Y REPRODUCTIVA ANIMAL IBMRA-UPAO".

UBICACIÓN : AREA RESERVADA GRLL-10-ETAPA II, SECTOR 5 , VALLE MOCHE, ALTO SALAVERRY

RAZON SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.) ASTMD-1883

COMPACTACIÓN	MOLDES					
	SIN SUMERGIR		SUMERGIDO	SIN SUMERGIR		SUMERGIDO
CONDICIÓN	SIN SUMERGIR		SUMERGIDO	SIN SUMERGIR		SUMERGIDO
Molde N°	1			2		3
Número de Capas	5			5		5
Número de golpes por capas	56			25		12
Sobrecarga (g.)	4530			4530		4530
Muestra húmeda + Molde (g.)	9886.00			9558.00		9353.00
Peso del Molde (g.)	5113.00			5024.00		5048.00
Peso de la Muestra húmeda (g.)	4773.00			4534.00		4305.00
Volúmen de la Muestra (cm ³)	2118.00			2119.60		2120.40
Densidad húmeda (g./cm ³)	2.254			2.139		2.030

CONTENIDO DE HUMEDAD (ASTM D 2216 / NTP 339.127)									
Tara N°	1	2	7	3	4	8	5	6	9
Muestra húmeda + Tara (g.)	237.00	245.00		218.00	246.00		212.00	235.00	
Muestra seca + Tara (g.)	220.20	230.80		199.50	228.80		196.10	219.40	
Peso del Agua (g.)	16.80	14.20		18.50	17.20		15.90	15.60	
Peso de la Tara (g.)	46.50	46.50		44.20	47.00		43.80	45.00	
Muestra Seca (g.)	173.70	184.30		155.30	181.80		152.30	174.40	
Contenido de Humedad (%)	9.67	7.70		11.91	9.46		10.44	8.94	
Cont. Humedad Prom.(%)	8.69			10.69			9.69		
DENSIDAD SECA (g./cm ³)	2.073			1.933			1.851		

Tabla 6.3.1.1: Datos tomados para el ENSAYO DE CBR EN LABORATORIO SIN ADITIVO – NO SUMERGIDO.

La tabla 6.3.1.1 nos muestra cual es la densidad húmeda y la densidad seca máxima del suelo compactado con 56, 25 y 12 golpes, donde podemos observar lo siguiente:

- Para 56 golpes se obtuvo una densidad húmeda máxima de 2.254 gr/cm³ sin sumergir; además una densidad seca máxima de 2.073 gr/cm³.
- Para 25 golpes se obtuvo una densidad húmeda máxima de 2.139 gr/cm³ sin sumergir; además una densidad seca máxima de 1.933 gr/cm³.
- Para 12 golpes se obtuvo una densidad húmeda máxima de 2.030 gr/cm³ sin sumergir; además una densidad seca máxima de 1.851 gr/cm³.
- Finalmente los contenidos de humedad de cada muestra compactada con 56, 25 y 12 golpes fue de 8.69%, 10.69% y 9.69% respectivamente

ENSAYO CARGA - PENETRACIÓN

PENETRACIÓN (mm)	(pulg)	Molde N° 01		Molde N° 02		Molde N° 03	
		Ensayo Carga		Ensayo Carga		Ensayo Carga	
		Carga (Kg)	kg/cm ²	Carga (Kg)	kg/cm ²	Carga (Kg)	kg/cm ²
0.64	0.025	98.80	5.1	70.70	3.65	60.60	3.13
1.27	0.050	246.10	12.7	188.10	9.72	89.30	4.62
1.91	0.075	336.40	17.4	306.30	15.83	174.90	9.04
2.54	0.100	548.2	28.3	459.5	23.8	263.2	13.6
3.81	0.150	847.60	43.8	597.50	30.89	393.00	20.31
5.08	0.200	1019.50	52.70	775.50	40.09	442.40	22.87
6.35	0.250	1544.80	79.9	930.50	48.10	488.10	25.23
7.62	0.300	1826.00	94.4	1038.20	53.67	563.40	29.12
12.7	0.500	2151.40	111.2	1200.70	62.07	756.60	39.11

Tabla 6.3.1.2: Datos tomados para el ensayo de CBR – ENSAYO DE CARGA O PENETRACIÓN EN LABORATORIO SIN ADITIVO - SUMERGIDO.

En la tabla 6.3.1.2 podemos observar las cargas aplicadas a las muestras compactadas de los 3 moldes de 56, 25 y 12 golpes donde se muestran los soportes de cargas iniciales y finales de cada muestra siendo las cargas mínimas y máximas las siguientes:

- Para una compactación de 56 golpes inició con una carga mínima de 98.80 Kg con un fuerza equivalente a 5.1 Kg/cm² y una carga máxima de 2151.40 Kg con una fuerza equivalente de 111.20 Kg/cm².

- Para una compactación de 25 golpes inició con una carga mínima de 70.70 Kg con un fuerza equivalente a 3.65 Kg/cm² y una carga máxima de 1200.70 Kg con una fuerza equivalente de 62.07 Kg/cm².
- Para una compactación de 12 golpes inició con una carga mínima de 60.60 Kg con un fuerza equivalente a 3.13 Kg/cm² y una carga máxima de 756.60 Kg con una fuerza equivalente de 39.11 Kg/cm².

CURVA DENSIDAD - C.B.R.

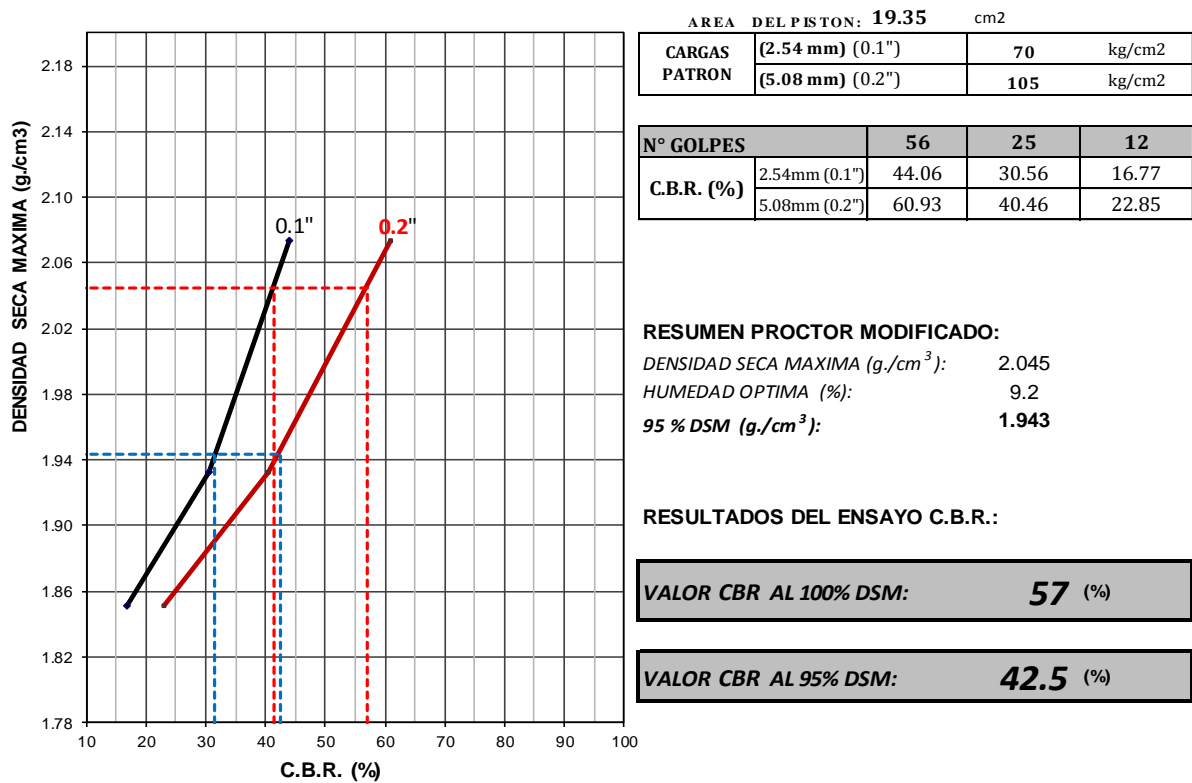
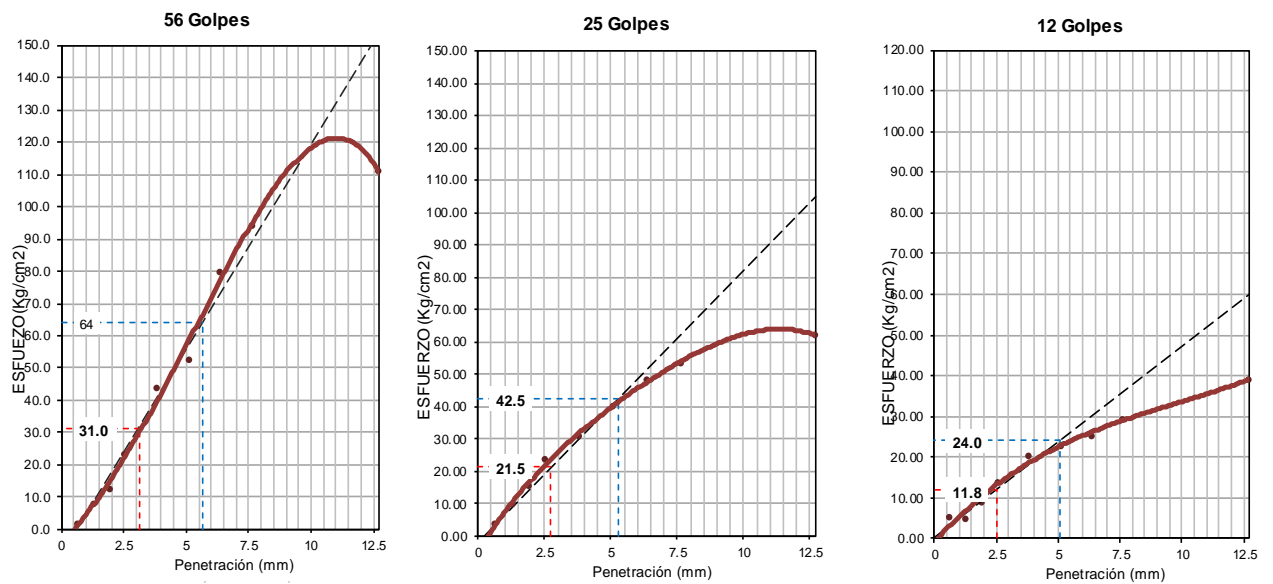


Figura 6.3.1.1: Curva Densidad – CBR al 95% y 100 % DE MUESTRA SIN ADITIVO – NO SUMERGIDO

Figura 6.3.1.1: Curva Densidad – CBR al 95% y 100 % DE MUESTRA CON ADITIVO – SUMERGIDO

En la figura 6.3.1.1 se grafican los CBR's alcanzados por las 3 muestras con aditivo compactadas con 56, 25 y 12 golpes después de sumergirlos vs su densidad seca máxima, en donde obtenemos lo siguiente:

- Valor de CBR al 95%: CBR mínimo 31.50% y CBR máximo 42.50%
- Valor de CBR al 100%: CBR mínimo 41.50% y CBR máximo 57%



Figuras 6.3.1.2-6.3.1.3 y 6.3.1.4: Curva Esfuerzo vs Penetración de 56, 25 y 12 Golpes para ENSAYO EN LABORATORIO SIN ADITIVO - NO SUMERGIDO

En la figura 6.3.1.2, 6.3.1.3 y 6.3.1.4 se grafican las curvas de Penetración (mm) vs Esfuerzo (Kg/m²), donde podemos apreciar que los asentamientos (por la penetración - mm) del suelo requeridos por el ensayo de CBR requieren de esfuerzos ligeramente altos para su asentamiento inmediato.

6.4 ENSAYO DE CBR EN LABORATORIO CON ADITIVO SIN SUMERGIR

INFORME DE ENSAYO DE CBR

PROYECTO : "PISTA DE PRUEBA DEL INSTITUTO DE BIOTECNOLOGIA MOLECULAR Y REPRODUCTIVA ANIMAL IBMRA-UPAO".

UBICACIÓN : AREA RESERVADA GRLL-10-ETAPA II, SECTOR 5 , VALLE MOCHE, ALTO SALAVERRY

RAZON SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)

ASTMD-1883

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA

COMPACTACIÓN	MOLDES					
	SIN SUMERGIR		SUMERGIDO	SIN SUMERGIR		SUMERGIDO
CONDICIÓN						
Molde N°	1			2		3
Número de Capas	5			5		5
Número de golpes por capas	56			25		12
Sobrecarga (g.)	4530			4530		4530
Muestra húmeda + Molde (g.)	9784.00			9320.00		9258.00
Peso del Molde (g.)	5113.00			5024.00		5048.00
Peso de la Muestra húmeda (g.)	4671.00			4296.00		4210.00
Volúmen de la Muestra (cm ³)	2118.00			2119.60		2120.40
Densidad húmeda (g./cm ³)	2.205			2.027		1.985

CONTENIDO DE HUMEDAD (ASTM D 2216 / NTP 339.127)									
Tara N°	1	2	7	3	4	8	5	6	9
Muestra húmeda + Tara (g.)	110.30	122.40		109.20	125.50		106.70	162.90	
Muestra seca + Tara (g.)	104.70	116.50		104.20	119.30		101.90	154.80	
Peso del Agua (g.)	5.60	5.90		5.00	6.20	0.00	4.80	8.10	
Peso de la Tara (g.)	30.00	30.70		29.90	29.00	0.00	29.60	38.70	
Muestra Seca (g.)	74.70	85.80		74.30	90.30	0.00	72.30	116.10	
Contenido de Humedad (%)	7.50	6.88		6.73	6.87	0.00	6.64	6.98	
Cont. Humedad Prom.(%)	7.19			6.80		-	6.81		
DENSIDAD SECA (g./cm ³)	2.058			1.898		0.000	1.859		

Tabla 6.4.1: Datos tomados para el ENSAYO DE CBR EN LABORATORIO CON ADITIVO – NO SUMERGIDO.

La tabla 6.4.1 nos muestra cual es la densidad húmeda y la densidad seca máxima del suelo compactado con 56, 25 y 12 golpes, donde podemos observar lo siguiente:

- Para 56 golpes se obtuvo una densidad húmeda máxima de 2.205 gr/cm³ sin sumergir; además una densidad seca máxima de 2.058 gr/cm³.

- Para 25 golpes se obtuvo una densidad húmeda máxima de 2.027 gr/cm³ sin sumergir; además una densidad seca máxima de 1.898 gr/cm³.
- Para 12 golpes se obtuvo una densidad húmeda máxima de 1.985 gr/cm³ sin sumergir; además una densidad seca máxima de 1.859 gr/cm³.
- Finalmente los contenidos de humedad de cada muestra compactada con 56, 25 y 12 golpes fue de 7.19%, 6.80% y 6.81% respectivamente

ENSAYO CARGA - PENETRACIÓN

PENETRACIÓN (mm)	(pulg)	Molde N° 01		Molde N° 02		Molde N° 03	
		Ensayo Carga		Ensayo Carga		Ensayo Carga	
		Carga (Kg)	kg/cm ²	Carga (Kg)	kg/cm ²	Carga (Kg)	kg/cm ²
0.64	0.025	182.30	9.4	119.20	6.16	68.10	3.52
1.27	0.050	363.30	18.8	213.40	11.03	157.20	8.13
1.91	0.075	657.10	34.0	372.50	19.26	283.10	14.63
2.54	0.100	924.8	47.8	493.8	25.5	355.2	18.4
3.81	0.150	1362.70	70.4	673.70	34.82	463.00	23.93
5.08	0.200	1780.2	92.0	841.1	43.5	543.3	28.1
6.35	0.250	1972.00	101.9	980.80	50.70	622.50	32.18
7.62	0.300	2433.50	125.8	1121.60	57.98	817.70	42.27
12.7	0.500	3008.90	155.5	1548.70	80.05	938.90	48.53

Tabla 6.4.2: Datos tomados para el ensayo de CBR – ENSAYO DE CARGA O PENETRACIÓN EN LABORATORIO CON ADITIVO - SUMERGIDO.

En la tabla 6.4.2 podemos observar las cargas aplicadas a las muestras compactadas de los 3 moldes de 56, 25 y 12 golpes donde se muestran los soportes de cargas iniciales y finales de cada muestra siendo las cargas mínimas y máximas las siguientes:

- Para una compactación de 56 golpes inició con una carga mínima de 182.30 Kg con un fuerza equivalente a 9.4 Kg/cm² y una carga máxima de 3008.90 Kg con una fuerza equivalente de 155.50 Kg/cm².
- Para una compactación de 25 golpes inició con una carga mínima de 119.20 Kg con un fuerza equivalente a 6.16 Kg/cm² y una carga máxima de 1548.70 Kg con una fuerza equivalente de 80.05 Kg/cm².

- Para una compactación de 12 golpes inició con una carga mínima de 68.10 Kg con un fuerza equivalente a 3.52 Kg/cm² y una carga máxima de 938.90 Kg con una fuerza equivalente de 48.53 Kg/cm².

CURVA DENSIDAD - C.B.R.

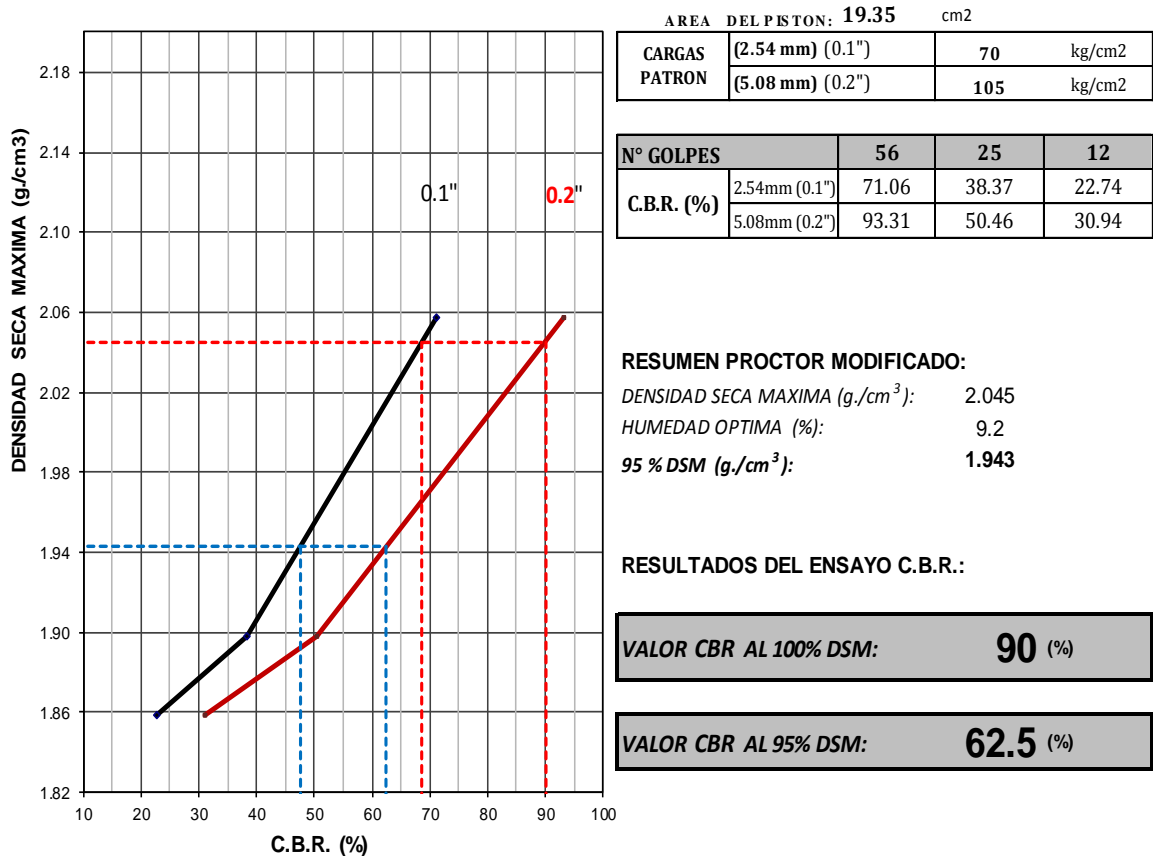
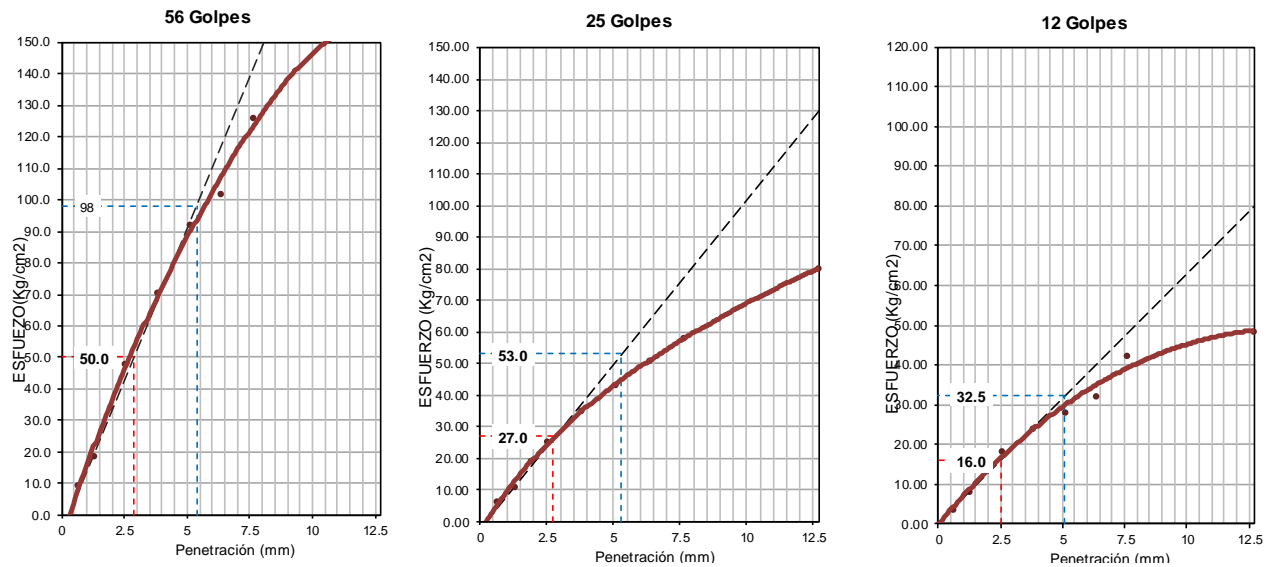


Figura 6.4.1: Curva Densidad – CBR al 95% y 100 % DE MUESTRA CON ADITIVO – NO SUMERGIDO

En la figura 6.4.1 se grafican los CBR's alcanzados por las 3 muestras con aditivo compactadas con 56, 25 y 12 golpes después de sumergirlos vs su densidad seca máxima, en donde obtenemos lo siguiente:

- Valor de CBR al 95%: CBR mínimo 47.50% y CBR máximo 62.50%
- Valor de CBR al 100%: CBR mínimo 68.50% y CBR máximo 90%



Figuras 6.4.2-6.4.3 y 6.4.4: Curva Esfuerzo vs Penetración de 56, 25 y 12 Golpes para ENSAYO EN LABORATORIO CON ADITIVO - NO SUMERGIDO

En la figura 6.4.2, 6.4.3 y 6.4.4 se grafican las curvas de Penetración (mm) vs Esfuerzo (Kg/m²), donde podemos apreciar que los asentamientos (por la penetración - mm) del suelo requeridos por el ensayo de CBR requieren de esfuerzos muy altos para su asentamiento.

6.5 ENSAYO DE CBR EN IN SITU

Finalmente se realizaron 2 ensayos CBR IN SITU en diversos tramos compactados uno sin aditivo y otro con aditivo, el tramo que no contiene aditivo se compacto de manera convencional tal como nos indica el proceso constructivo de compactación de un afirmado para subbase y el tramo que si contiene el aditivo compactado con un rodillo vibratorio y con las indicaciones de la guía para estabilización de suelos en campo o en vía, incluyendo PERMA ZYME 11x.

6.5.1 ENSAYO DE CBR IN SITU DE AFIRMADO PARA SUB BASE SIN ADITIVO PERMA ZYME 11X:

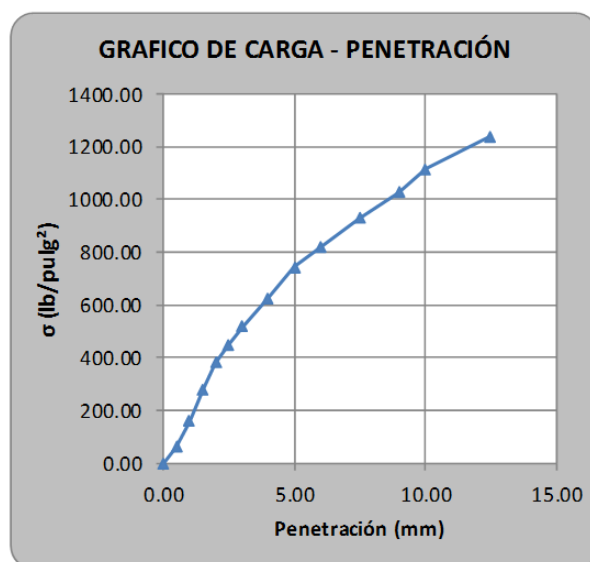
Después de extendida la base tratada, ésta será compactada longitudinalmente, empezando por el borde externo o inferior y desplazando el rodillo vibratorio hacia la parte superior del camino. Se compactó con un rodillo vibratorio el cual dio 8 pasadas a la sub base con afirmado. Posteriormente se hizo el ensayo de CBR IN SITU en donde obtuvimos el siguiente resultado:

Debido al CBR ubicado entre 44.91% y 49.95%; el afirmado compactado y colocado es apropiado para **SUB BASES**. Teniendo que utilizar material de aporte para que cumpla como **BASE**.

PROYECTO:	TESIS PERMA ZYME 11X
SOLICITA:	TESISTAS UPAO
UBICACIÓN:	LOTE DE AREA RESERVADA GRLL-10 ETAPA II, SECTOR 5., VALLE MOCHE - LA LIBERTAD
FECHA:	TRUJILLO, 12 DE AGOSTO DEL 2015
CANTERA:	SUB RASANTE

ENSAYO CBR IN SITU

Rd (0.001")	Rd (mm)	u	P (lb)	G(lb/pulg ²)
0	0.00	0	0.00	0.00
20	0.50	12	198.38	63.15
40	1.00	29	501.93	159.77
60	1.50	50	876.51	279.00
80	2.00	68	1197.27	381.10
100	2.50	80	1410.91	449.11
120	3.00	92	1624.46	517.08
160	4.00	111	1962.25	624.60
200	5.00	132	2335.21	743.32
240	6.00	145	2565.88	816.74
300	7.50	165	2920.43	929.60
360	9.00	182	3221.51	1025.44
400	10.00	198	3504.62	1115.56
500	12.50	220	3893.43	1239.32



Penetración (mm)	CBR (%)
1" (2.50)	44.91%
2" (5.00)	49.55%

6.5.2 ENSAYO DE CBR IN SITU DE AFIRMADO PARA SUB BASE CON ADITIVO PERMA ZYME 11X:

Después de extendida la base tratada, ésta será compactada longitudinalmente, empezando por el borde externo o inferior y desplazando el rodillo vibratorio hacia la parte superior del camino. Cada pasada deberá traslapar por lo menos en 1/3 longitud de tambor vibratorio. La primera pasada que se realice con el vibrocompactador debe ser sin la energía de compactación con el fin de planchar la base tratada y corregir las irregularidades en la vía. Se utilizará la vibración sólo hasta 2 pasadas, procediendo posteriormente sólo al planchado del material. Un rodillo de ruedas neumáticas puede dar una buena terminación y densificación adicional. El extendido y compactado deberá ejecutarse dentro de las 14 horas siguientes al mezclado del material granular con la solución enzima / agua. Posteriormente se realizó el CBR IN SITU, donde obtuvimos el siguiente resultado:

Debido al CBR ubicado entre 75.12% y 83.37%; el afirmado estabilizado, compactado y colocado es apropiado para **BASES. Sin necesidad de utilizar otro material de aporte.**

PROYECTO:	TESIS PERMA ZYME 11X
SOLICITA:	TESISTAS UPAO
UBICACIÓN:	LOTE DE ÁREA RESERVADA GRLL-10 ETAPA II, SECTOR 5., VALLE MOCHE - LA LIBERTAD
FECHA:	TRUJILLO, 12 DE AGOSTO DEL 2015
CANTERA:	SUB RASANTE

ENSAYO CBR IN SITU

Rd (0.001")	Rd (mm)	u	P (lb)	G(lb/pulg ²)
0	0.00	0	0.00	0.00
20	0.50	80	1410.91	449.11
40	1.00	97	1713.38	545.39
60	1.50	118	2086.62	664.19
80	2.00	136	2406.20	765.92
100	2.50	148	2619.08	833.68
120	3.00	160	2831.78	901.38
160	4.00	179	3168.40	1008.53
200	5.00	200	3539.93	1126.79
240	6.00	213	3769.82	1199.97
300	7.50	233	4123.08	1312.42
360	9.00	250	4422.97	1407.88
400	10.00	266	4705.13	1497.69
500	12.50	288	5092.58	1621.02



Penetración (mm)	CBR (%)
1" (2.50)	83.37%
2" (5.00)	75.12%

6.5.3 COMPARACION DE COSTOS ENTRE LA COLOCACION DE UN AFIRMADO NUEVO PUESTO EN OBRA CON LA VIA ESTABILIZADA CON PERMAZYME 11X

Como observamos anteriormente en los ítems 6.5.1 y 6.5.2, obtenemos que: la vía estabilizada con el multienzimático PERMAZYME 11X no requiere de mejoramiento de la base o de adición de otro afirmado; ya que presenta una alta capacidad de soporte de carga, en cambio el tramo al que no se le añadió el estabilizante, requiere de un nuevo material de afirmado para que pueda mejorar su capacidad de soporte de carga en caso no se utilizara el aditivo, es por eso que para probar cual es el método que más nos conviene, comparamos los costos de un afirmado estabilizado con PERMAZYME 11X vs un afirmado mejorado con un material nuevo.

Sabiendo que estabilizando de las 2 formas el proceso constructivo es similar. Entonces la diferencia se encontraría entre el material o insumo que se va a utilizar en obra. Por lo tanto tenemos lo siguiente.

- Costo de 1 m³ de Afirmado: S/. 23.50 soles.
- Costo de 1 litro de PERMAZYME 11X (alcanza para 30 m³) = S/. 315.00

Por lo tanto para nuestra vía afirmada, colocando un afirmado nuevo para las siguientes dimensiones: 5.00 m de ancho, 60 m de largo y 0.15 m de espesor tenemos:

- Costo Total de Afirmado nuevo puesto en obra (Para 45 m³): 45 x 23.50 = **S/. 1057.50**

Luego para una vía estabilizada añadiendo el multienzimático PERMAZYME 11X, tenemos:

- Costo Total de Aditivo (Sabiendo que para 45 m³ se requiere 1.42 litros): 1.42 litros x S/. 315 = **S/.447.30**

Finalmente diferenciando el precio de afirmado nuevo menos el costo del aditivo obtenemos lo siguiente: $S/.1057.50 - S/.447.30 = \mathbf{S/.609.7}$

Por lo tanto como pudimos observar anteriormente, el costo de ejecución de obra para nuestra vía afirmada estabilizada con PERMAZYME 11X resulta MAS ECONÓMICO que colocando un material de afirmado nuevo; ya que como vemos el costo del aditivo es aproximadamente la mitad del costo del afirmado nuevo puesto en obra.

CAPITULO VII

7 CONCLUSIONES

- El aditivo ecológico PERMA ZYME 11X mejora en grandes cantidades la capacidad de soporte del suelo, estabilizándolo y dándole durabilidad y mayor tiempo de vida útil.
- Reduce los esfuerzos de compactación, reduciendo el tiempo de la maquinaria compactadora, la cual genera menos costos en el proceso constructivo de una vía afirmada o una vía pavimentada.
- La cantidad de aditivo requerido para la estabilización de un material inestable es mínimo, ya que este aditivo es proporcional al volumen del material y no a la longitud ni a la cantidad de agua requerida. Siendo la cantidad de PERMA ZYME 11X requerida para nuestro tramo de prueba 1.42 litros para una vía con 5 m de ancho, 60 m de largo y 0.15 m de espesor.
- El aditivo al no ser tóxico ni peligroso, es fácil de usar y manipular sin riesgo de dañar o lesionar al personal que desarrolle el proceso constructivo de la estabilización de un material.
- Siendo un aditivo ecológico y biodegradable contribuye con el medio ambiente sin dañar las plantas ni animales que pudiesen existir en la zona a aplicar el aditivo.
- Reduce la necesidad de agregados costosos y permite la mejor utilización de los materiales existentes en el suelo.
- Se reduce notablemente el presupuesto en la construcción de vías.

CAPITULO VIII

8 RECOMENDACIONES

Debido a las experiencias en las diferentes estabilizaciones con PERMA ZYME 11X, se realizan algunas recomendaciones que se consideran pertinentes.

- Realizar los ensayos de laboratorio necesarios, para el diseño y para la construcción.
- Tomar la humedad presente del suelo antes de aplicar la mezcla de agua + PERMA ZYME 11X.
- Luego que el agua + PERMA ZYME 11X se mezcla con el suelo, se tiene 72 horas para dar la compactación y terminación al mismo. Si se sobrepasa este tiempo, se deberá disgregar nuevamente el suelo y reactivar la encima con una solución de 1 parte de PERMA ZYME 11X + 10.000 de agua y homogenizar.
- Preferiblemente no se debe trabajar bajo condiciones de lluvia, puesto que si el suelo se encuentra disgregado absorberá más agua de la necesaria y se deberá eliminar el exceso de la misma antes de aplicar PERMA ZYME 11X.
- Como ya se ha mencionado anteriormente, se deberá calcular la cantidad de agua necesaria que se debe aplicar al suelo dependiendo de la humedad óptima y de la humedad presente del mismo.
- Es importante saber la cantidad de suelo que se trabajará en la jornada, para coordinar maquinaria, volumen de agua, volumen de PERMA ZYME 11X y demás.

- Como cada suelo reacciona diferente frente a diversas exigencias y la maquinaria difiere en modelo, capacidad y demás, es conveniente realizar una curva de calibración del compactador; esto se realiza tomando referencia de la ganancia o incremento en su densidad seca máxima de suelo estabilizado contra el número de pasadas del compactador.
- Se recomienda que la primera pasada del compactador sea sin vibrar y la siguientes vibrando, en cada capa estabilizada.
- Cualquiera sea el método, es mejor nivelar el terreno, si es posible eliminar sobre-tamaños o contaminantes del suelo. Si durante el proceso constructivo o finalizado este se identifican sobre-tamaños o contaminantes, es mejor eliminarlos.
- En lo posible, para obtener resultados mejores, el suelo se debe tratar de llevar a una granulometría o gradación similar a una base granular.

CAPITULO IX

9 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Álvarez Jorge, Estabilización de subrasantes, “Mecánica de suelos”, tomo 1 y 2, Limusa. México, 1990. ICPC Instituto colombiano de p Juárez Badillo – Rico Rodríguez.
2. Del castillo Hermilo; Rico Rodríguez “Geotecnia aplicada a las vías terrestres. Tomo 1 y 2”. Limusa. México. 1974.
3. Fernández Loaiza Carlos. “Mejoramiento y estabilización de Suelos”. Limusa. México, 1992.
4. Leonards. “Foundation Engineering”. McGraw Hill. New York, 1962.
5. W.O Quinche, “Estabilización de Suelos con Cloruro de Sodio para su uso en Vías Terrestres Urbanización Bella María”, Tesis Universitaria Técnica Particular de Lonja, 2006 PAGINAS 49-59.
6. W.I. Caraguay, “Estabilización de Suelos con cal para uso en las vías Terrestres” Tesis Universitaria. 2006 pág. 47-55.
7. Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes (Ecuador: MOP 2002) capítulo IV Sección 402-3 p-18.
8. Bowles J. Manual de laboratorio de suelos para ingeniería civil. 1980 Mc.Graw Hill. Bogotá.
9. Das, Braja M. Fundamentos de Ingeniería Geotécnica 2001. México. Thompson. Colección General.
10. Eulalio Juárez Badillo y Alfonso Rico. Fundamentos de mecánica de Suelos. 1975. México Limusa.3era Edición. Tomo 1.

- 11.** Gabriel Márquez Cárdenas. Propiedades Ingenieriles de los suelos. Universidad Nacional de Colombia. Seccional de Medellín. Facultad de Minas. 1982.
- 12.** Mitchell, J.K. Fundamentals of soil. 1992. Jhon Wiley and Soons, Ltd New York.
- 13.** Peter L. Berry, David Reid. Traducción Bernardo Caicedo H. Revisión Técnica Quiles Arr. Mecánica de suelos. 1993. Bogotá Mc Graw – Hill Ínter Americana.
- 14.** Kart Teragui & Ralph B. Peck. Mecánica de Suelos Mecánica de suelos en la ingeniería práctica. Tercera Edición.
- 15.** William Lambe y Robert V. Whitman. Mecánica de suelos 1989 1972. Colección General. Página 624.

X. ANEXOS

ANEXO 1.1

(Panel Fotográfico)



ENSAYO DE GRANULOMETRÍA



COMPACTACIÓN DE MATERIAL AFIRMADO - ENSAYO DE PROCTOR MODIFICAD



MOLDE CON MUESTRA COMPACTADA – ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO



DESMOLDANDO EL MATERIAL COMPACTADO - ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO



ENSAYO DE CBR EN LABORATORIO- PENETRACIÓN



ENSAYO DE CBR EN LABORATORIO - PENETRACIÓN



ENSAYO DE CBR EN LABORATORO – EXPANSION 1



ENSAYO DE CBR EN LABORATORO – EXPANSION 2



ENSAYOS DE CBR IN SITU



PISTA DE PRUEBA SIN ESTABILIZAR



AFIRMADO ARCILLOSO PARA PISTA DE PRUEBA



**AFIRMADO ARCILLOSO ESCARIFICADO Y REMOVIDO
PARA PISTA DE PRUEBA**



**EXTENDIDO DEL AFIRMADO MEZCLADO CON
PERMAZYME 11X**



**COMPACTACION DE VIA CON AFIRMADO MEZCLADO
CON PERMAZYME 11X**



**TRAMO DE PISTA DE PRUEBA ESTABILIZADA Y
COMPACTADA CON PERMAZYME 11X**

ANEXO 1.2

(Examen Ambiental del Aditivo PERMA
ZYME 11X)

ANEXO 1.3

(Guía para estabilización de suelos con PERMA
ZYME 11X en laboratorio)

ANEXO 1.4

(Guía para estabilización de suelos con PERMA
ZYME 11X en campo)

ANEXO 1.5

(NORMAS TECNICAS DEL MTC UTILIZADAS)

ANEXO 1.6

(PLANO DE LA PISTA DE PRUEBA
UBICADO EN LOTE DE ÁREA
RESERVADA GRLL-10 ETAPA II, SECTOR
5., VALLE MOCHE)