



UNIVERSIDAD
DE PIURA

REPOSITORIO INSTITUCIONAL
PIRHUA

PRUEBAS CON UN PRODUCTO ENZIMÁTICO COMO AGENTE ESTABILIZADOR DE SUELOS PARA CARRETERAS

María Alejandra Ravines Merino

Piura, 23 de Agosto de 2010

FACULTAD DE INGENIERÍA

Departamento de Ingeniería Civil

Agosto 2010



Esta obra está bajo una [licencia](#)
[Creative Commons Atribución-](#)
[NoComercial-SinDerivadas 2.5 Perú](#)

Repositorio institucional PIRHUA – Universidad de Piura

UNIVERSIDAD DE PIURA
FACULTAD DE INGENIERÍA



“Pruebas con un producto enzimático como agente estabilizador de suelos para carreteras.”

Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil.

María Alejandra Ravines Merino

Asesor: Ing. Jorge Timaná Rojas

Piura, Agosto 2010.

*A mis padres,
por su infinita paciencia
e incondicional apoyo.*

Prólogo

El crecimiento social y económico de una región se debe principalmente a sus vías de comunicación, a través de ellas se dan las relaciones comerciales, sociales, culturales, etc.; pero el gasto económico que demanda la construcción de caminos y carreteras es alto; a esto se le deben sumar los gastos por mantenimiento, reparación y rehabilitación que se les hacen cada cierto período.

En la actualidad las nuevas tecnologías nos permiten la construcción de las carreteras para una extensa vida útil y a la vez el logro de un considerable ahorro en cuanto a los posteriores gastos de mantenimiento y rehabilitación. La presente tesis es el resultado de un trabajo de investigación realizado los últimos meses en el laboratorio de suelos de la Universidad de Piura con el fin de estudiar la posibilidad de una nueva forma de estabilización de suelos para su uso en los proyectos viales.

Para la presente investigación conté con el invalorable apoyo de personas a las cuales debo agradecer. A mi asesor, el Ing. Jorge Timaná Rojas por su dedicación; al Ing. José Ordinola, Jefe de Laboratorio de Suelos, por las facilidades que me brindó para realizar las pruebas mecánicas; a la Ing. Fabiola Ubillús por la paciencia que tuvo conmigo para las pruebas hechas en el Laboratorio de Química. A mi familia y amigos por su ayuda incondicional. Además un agradecimiento especial a la Universidad de Piura por el apoyo brindado en toda la etapa de realización de esta tesis.

Resumen

Esta tesis evalúa un producto relativamente nuevo en el mercado: *Perma-Zyme 22X*. Este es un aditivo a base enzimas orgánicas que se vende como posible mejorador de la estabilidad de suelos y permitiría incrementar la resistencia de suelos finos plásticos - arcillosos.

Las pruebas se realizaron en el Laboratorio de Suelos de la Universidad de Piura con base en la Norma Técnica Peruana adecuada para cada ensayo realizado. El estudio se centra en un solo tipo de suelo y las variaciones sufridas en sus propiedades mecánicas después del uso del aditivo químico.

Como resultado final se presentan una serie de cuadros y tablas que muestran una tendencia positiva a mejorar algunas propiedades.

Índice general

Dedicatoria

Prólogo

Resumen

Índice general

Introducción	1
Capítulo 1: Introducción y definiciones básicas necesarias	3
1.1 Conceptos básicos necesarios	3
1.2 Subrasante	5
1.3 Base	6
1.4 Subbase	6
1.5 Química del suelo. Arcilla	7
Capítulo 2: Estabilización de suelos	11
2.1 Definición de estabilización	11
2.2 Tipos de estabilización de suelos	12

2.2.1 Estabilización mecánica	
2.2.2 Estabilización por medios eléctricos	
2.2.3 Estabilización por calcinación o tratamiento térmico	
2.2.4 Estabilización por drenaje	
2.2.5 Estabilización química	
2.3 Estabilización química de suelos empleando nuevas tecnologías	17
2.3.1 Estabilización iónica	
2.3.2 Estabilización con polímeros	
2.3.3 Estabilización con enzimas orgánicas	
2.4 Fundamentos para la estabilización de suelos para carreteras	20
2.4.1 Propiedades de los suelos que más se estudian en estabilización	
2.4.1.1 Estabilidad volumétrica	
2.4.1.2 Resistencia	
2.4.1.3 Permeabilidad	
2.4.1.4 Compresibilidad	
2.4.1.5 Durabilidad	
Capítulo 3: Pruebas de laboratorio	25
3.1 Características del suelo	25
3.1.1 Características físicas del suelo	
3.1.1.1 Análisis granulométrico	
3.1.1.2 Límites de consistencia o límites de Atterberg	
3.1.2 Clasificación de los suelos	
3.1.2.1 Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)	
3.1.2.2 Sistema AASHTO (<i>American Association of State Highway Officials</i>)	
3.2 Propiedades de desempeño	36
3.2.1 Ensayo Proctor	
3.2.2 Absorción por capilaridad	
3.2.3 Valor soporte relativo: Ensayo CBR (<i>California Bearing Ratio</i>)	
3.3 Ensayos químicos	37
3.3.1 Sulfatos	
3.3.2 Sales solubles totales	
3.3.3 pH (potencial de hidrógeno)	
Capítulo 4: Estabilización de suelos con Perma-Zyme 22x: Análisis de las pruebas de laboratorio	41
4.1 Perma-Zyme 22x	43
4.1.1 Especificaciones técnicas del producto	
4.1.2 Especificaciones del producto para los ensayos	
4.1.3 Ventajas que se obtendrían al aplicar el producto	
4.1.4 Proceso químico del estabilizador con la arcilla	
4.2 Selección del suelo a ensayar	47
4.2.1 Parámetros necesarios del suelo para el uso del producto	
4.2.2 Características del suelo escogido	
4.3 Diseño del experimento	49
4.3.1 Número de pruebas a realizar y confiabilidad del experimento	
4.4 Ensayo de dosificación del agente estabilizante	52
4.4.1 Porcentaje de adición del estabilizante	

4.4.2 Características y cálculo de las muestras con y sin aditivo del suelo	
4.5 Análisis de resultados	56
4.5.1 Resultados de ensayos mecánicos	
4.5.1.1 Análisis granulométrico	
4.5.1.2 Ensayo Proctor	
4.5.1.3 Absorción por capilaridad	
4.5.1.4 Valor soporte relativo. CBR	
4.5.1.5 Valores CBR según pruebas del MTC con <i>Perma-Zyme 22X</i> .	
4.5.1.6 Límites de consistencia	
4.5.2 Resultados de ensayos químicos	84
Conclusiones	86
Bibliografía	88
Linkografía	91
Anexo A – 1	93
• Pruebas CBR	
Suelo sin aditivo: Fracción fina	
Anexo A-2	96
• Pruebas CBR	
Suelo sin aditivo: Fracción gruesa	
Anexo B	99
• Pruebas CBR	
Procedimiento normal	
Suelo con aditivo: Fracción fina	
Anexo B – 1: 0,9 L de aditivo en 30 m ³ de suelo	100
Anexo B – 2: 1 L de aditivo en 30 m ³ de suelo	103
Anexo B – 3: 1,1 L de aditivo en 30 m ³ de suelo	106
Anexo B – 4: 1,5 L de aditivo en 30 m ³ de suelo	109
Anexo C	112
• Pruebas CBR	
Procedimiento: Secado 1 día	
Suelo con aditivo: Fracción fina	
Anexo C – 1: 0,9 L de aditivo en 30 m ³ de suelo	113
Anexo C – 2: 1 L de aditivo en 30 m ³ de suelo	116
Anexo C – 3: 1,1 L de aditivo en 30 m ³ de suelo	119
Anexo C – 4: 1,5 L de aditivo en 30 m ³ de suelo	122
Anexo D	125

• Pruebas CBR	
Procedimiento: Secado 3 días	
Suelo con aditivo: Fracción fina	
Anexo D – 1: 0,9 L de aditivo en 30 m ³ de suelo.....	126
Anexo D – 2: 1 L de aditivo en 30 m ³ de suelo	129
Anexo D – 3: 1,1 L de aditivo en 30 m ³ de suelo	132
Anexo D – 4: 1,5 L de aditivo en 30 m ³ de suelo	135
Anexo E	138
• Pruebas CBR	
Procedimiento normal	
Suelo con aditivo: Fracción gruesa	
Anexo E – 1: 0,9 L de aditivo en 30 m ³ de suelo	139
Anexo E – 2: 1 L de aditivo en 30 m ³ de suelo	142
Anexo E – 3: 1,1 L de aditivo en 30 m ³ de suelo	146
Anexo E – 4: 1,5 L de aditivo en 30 m ³ de suelo	148
Anexo F	151
• Pruebas CBR	
Procedimiento: Secado 1 día	
Suelo con aditivo: Fracción gruesa	
Anexo F – 1: 0,9 L de aditivo en 30 m ³ de suelo	152
Anexo F – 2: 1 L de aditivo en 30 m ³ de suelo	155
Anexo F – 3: 1,1 L de aditivo en 30 m ³ de suelo	158
Anexo F – 4: 1,5 L de aditivo en 30 m ³ de suelo	161
Anexo G	164
• Pruebas CBR	
Procedimiento: Secado 3 días	
Suelo con aditivo: Fracción gruesa	
Anexo G – 1: 0,9 L de aditivo en 30 m ³ de suelo	165
Anexo G – 2: 1 L de aditivo en 30 m ³ de suelo	168
Anexo G – 3: 1,1 L de aditivo en 30 m ³ de suelo	171
Anexo G – 4: 1,5 L de aditivo en 30 m ³ de suelo	174
Anexo H-1.....	177
• Límites de consistencia	
Suelo 1: Afirmado	

Anexo H-2	179
• Límites de consistencia Suelo 1: Arcilla	
Anexo H-3	181
• Límites de consistencia Suelo final: Mezcla de 75% afirmado y 25% arcilla	
Anexo I	183
• Límites de consistencia Procedimiento para CBR: Secado normal Suelo con aditivo: Fracción fina	
Anexo I – 1: 1 L de aditivo en 30 m ³ de suelo	184
Anexo I – 2: 1,1 L de aditivo en 30 m ³ de suelo	186
Anexo I – 3: 1,5 L de aditivo en 30 m ³ de suelo	188
Anexo J	190
• Límites de consistencia Procedimiento para CBR: Secado 1 día Suelo con aditivo: Fracción fina	
Anexo J – 1: 0,9 L de aditivo en 30 m ³ de suelo	191
Anexo J – 2: 1 L de aditivo en 30 m ³ de suelo	193
Anexo J – 3: 1,1 L de aditivo en 30 m ³ de suelo	195
Anexo J – 3: 1,5 L de aditivo en 30 m ³ de suelo	197
Anexo K	199
• Límites de consistencia Procedimiento para CBR: Secado 3 días Suelo con aditivo: Fracción fina	
Anexo K – 1: 0,9 L de aditivo en 30 m ³ de suelo	200
Anexo K – 2: 1 L de aditivo en 30 m ³ de suelo	202
Anexo K – 3: 1,1 L de aditivo en 30 m ³ de suelo	204
Anexo K – 4: 1,5 L de aditivo en 30 m ³ de suelo	206
Anexo L	208
• Límites de consistencia Procedimiento para CBR: Secado normal Suelo con aditivo: Fracción gruesa	
Anexo L – 1: 1 L de aditivo en 30 m ³ de suelo	209

Anexo L – 2: 1,5 L de aditivo en 30 m³ de suelo	211
Anexo M	213
Límites de consistencia Procedimiento para CBR: Secado 1 día Suelo con aditivo: Fracción gruesa Anexo M – 1: 0,9 L de aditivo en 30 m³ de suelo Anexo M – 2: 1 L de aditivo en 30 m³ de suelo Anexo M – 3: 1,1 L de aditivo en 30 m³ de suelo Anexo M – 4: 1,5 L de aditivo en 30 m³ de suelo	214 216 218 220
Anexo N	222
Límites de consistencia Procedimiento para CBR: Secado 3 días Suelo con aditivo: Fracción gruesa Anexo N – 1: 0,9 L de aditivo en 30 m³ de suelo Anexo N – 2: 1 L de aditivo en 30 m³ de suelo Anexo N – 3: 1,1 L de aditivo en 30 m³ de suelo Anexo N – 4: 1,5 L de aditivo en 30 m³ de suelo	223 225 227 229
Fotos	231

Introducción

El crecimiento social y económico de una región se debe principalmente a sus vías de comunicación, a través de ellas se dan las relaciones comerciales, sociales, culturales, etc.; pero el gasto económico que demanda la construcción de caminos y carreteras es alto, a esto se le deben sumar los gastos por mantenimiento, reparación y rehabilitación que se les hacen cada cierto período.

En la actualidad las nuevas tecnologías nos permiten la construcción de las carreteras para una extensa vida útil y a la vez el logro de un considerable ahorro en cuanto a los posteriores gastos de mantenimiento y rehabilitación.

Una alternativa muy útil, es la construcción de carreteras con la utilización de estabilizadores químicos como enzimas orgánicas, pues es simple y de bajo costo, además da como resultado vías estables de larga vida útil que requieren menos mantenimiento. Estos productos, relativamente nuevos para nuestro mercado, mejoran las propiedades físicas y mecánicas de las diferentes capas de la estructura del pavimento (subrasante, subbase y base) con un incremento en la densidad de compactación, capacidad portante, y su vida útil.

En este trabajo se probará un producto nuevo en el mercado y, mediante ensayos de laboratorio adecuados, se evaluará la utilidad de las enzimas.

El **primer capítulo** de este estudio inicia con una exposición sobre la estructura del pavimento, necesario entender la importancia acerca de las propiedades mecánicas.

El **segundo capítulo** presenta la teoría de estabilización de suelos, el enfoque nuevo de la estabilización química con nuevas tecnologías, así como también los principios básicos para el mejoramiento de suelos.

En el **tercer capítulo** se presentan las pruebas que se realizarán en la investigación. Se hace una exposición de sus conceptos.

En el **cuarto capítulo**, se describe paso a paso la investigación dando a conocer y lizando los resultados que se obtuvieron al aplicar el producto.

Y, por último, se describen las conclusiones, a las que se ha llegado con la elaboración de esta tesis.

Capítulo 1

Introducción y definiciones básicas necesarias

1.1. Conceptos básicos necesarios

El pavimento es un sistema estructural a base de capas que le dan las propiedades y resistencias necesarias para cumplir con las solicitudes funcionales y estructurales. A nivel de capacidad funcional, debe poseer una calidad aceptable en la carpeta de rodadura, una adecuada fricción superficial, una buena geometría por seguridad, y determinado aspecto estético. A nivel estructural debe soportar las solicitudes a las que se somete todo el paquete estructural (base, subbase y subrasante), teniendo en cuenta las cargas impuestas por el tránsito y las condiciones ambientales.

Las fallas que presente el pavimento serán el resultado de la interacción de los siguientes factores:

- Mal diseño. El diseño del pavimento debe estar orientado a cumplir los requisitos estructurales y funcionales.
- Mala práctica en la construcción.
- Falta de mantenimiento o mantenimiento inadecuado.
- Tránsito: Influye en magnitud y frecuencia; la frecuencia es importante porque en cada punto del pavimento habrá situaciones de carga y descarga. La principal característica de esta variable es que tiene una naturaleza cíclica o repetitiva.
- Materiales inadecuados; aquellos materiales que no cumplen con las especificaciones técnicas para la construcción de carreteras.
- Condiciones ambientales; como la temperatura ambiente que tiene influencia directa durante la construcción ya que hay que ver la humedad necesaria para la compactación del terreno de fundación; la napa freática, que puede alterar considerablemente la temperatura de equilibrio; el régimen de precipitaciones, que en nuestro medio se presenta en la estación de verano y que puede causar el incremento del nivel freático además de infiltración, pudiendo afectar el funcionamiento de la superficie del pavimento ocasionando desprendimientos, hundimientos, etc.

Un punto importante es la capacidad de drenaje que todas las capas deben tener. Este es un proceso mediante el cual el agua de infiltración superficial o agua de filtración subterránea es removida de los suelos por medios naturales o artificiales. El drenaje es uno de los factores más importantes en el diseño de carreteras, pues el agua tiene efectos altamente perjudiciales en la estructura, adonde ingresa a través de las grietas, juntas, bermas o como agua subterránea por el nivel freático; reduciendo la resistencia de las capas granulares como son la base y subbase y hasta del suelo de subrasante.

El diseño de las capas estructurales, exige que éstas sean hechas para resistir las sollicitaciones mencionadas anteriormente con el fin de proporcionar seguridad a bajo costo, logrando una larga vida útil del pavimento.

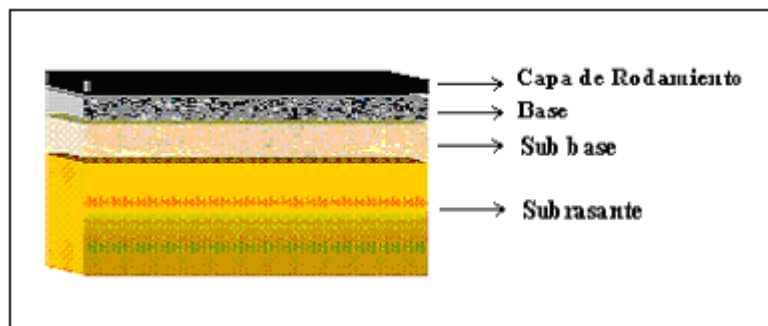


Fig. 1.1. Estructura de un pavimento

1.2. Subrasante

Es el suelo de fundación (suelo natural libre de vegetación y compactado) en el que se apoya todo el paquete estructural. Este material puede ser tanto granular como afirmado, empedrados u otras carpetas granulares, seleccionados o cribados, producto de cortes y extracciones de canteras.

Si el terreno de fundación es malo, debe desecharse el material que lo compone, sustituyéndolo por un suelo de mejor calidad; si no es tan malo se le puede colocar una sub-base prescindiendo de ésta última si el material de fundación es bueno o regular. La subrasante tiene una gran influencia en la construcción del pavimento y en la eficiencia del mismo, así las subrasantes inestables presentan problemas relativos a la colocación y compactación de los materiales de la base y subbase y no dan el soporte adecuado para las subsiguientes operaciones de pavimentación, los problemas que se presentan no serán observados sino hasta después de la culminación de la construcción, cuando la estructura entre en funcionamiento y deba soportar las cargas del tránsito. Los esfuerzos, desplazamientos y agrietamientos son influidos en gran porcentaje por ésta capa, un gran porcentaje de las deflexiones que se producen en la superficie de un pavimento se le puede atribuir a las subrasantes, por este motivo se debe asegurar una buena caracterización de la subrasante.

Entre las propiedades requeridas para estos suelos tenemos:

- Resistencia
- Drenaje
- Fácil compactación
- Conservación de la compactación
- Estabilidad volumétrica

Esta capa está expuesta a las condiciones ambientales por lo que debe cumplir requisitos de calidad indispensables para contrarrestar los efectos que por su condición se pueden originar:

Tabla 1.1. Requisitos de calidad de material para capa subrasante *

Característica	Valor
Límite Líquido; % máximo	35 - 40
Valor soporte de California (CBR); % mínimo	20
Expansión máxima; %	2

*Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

Se considerará aptos aquellos suelos que presenten un CBR mayor o igual a 6%, de ser los resultados menores a éste se procederá al desecho de dicho material y a su posterior

reemplazo si es material propio y/ o en todo caso a su estabilización, pues como demostraremos resulta más económico.

S0: Subrasante muy pobre	CBR < 3%
S1: Subrasante pobre	CBR = 3% - 5%
S2: subrasante regular	CBR = 6% - 10%
S3: subrasante buena	CBR = 11% - 19%
S4: subrasante muy buena	CBR > 20%

La función principal de ésta capa es soportar las cargas que transmite el pavimento y darle sustentación, se le considera la cimentación del pavimento.

1.3. Base

Tiene una función netamente estructural. Esta capa debe cumplir con distribuir los esfuerzos creados por las cargas de los neumáticos que actúan sobre la superficie de rodadura; debe poseer alta densidad y estabilidad como características principales.

La principal especificación de calidad es la granulometría, pues esta capa debe ser densamente graduada, se debe restringir el porcentaje de finos pues se debe asegurar que permita el drenaje hacia ambos lados de tal manera que se pueda mantener la resistencia; una cantidad por encima de la deseada de finos podrían llenar los vacíos de la base, reduciendo su permeabilidad.

1.4. Subbase

Esta capa está a mayor profundidad que la capa base y por lo tanto la influencia de las cargas es menor así que su aporte a la resistencia estructural no es tan importante; por tanto la mezcla de materiales no tiene que ser muy densa; sin embargo, se debe considerar que una gradación abierta puede contaminarse con la intrusión de granos finos, los que provienen de la subrasante, arrastrados por capilaridad; esto hace que se reduzca su capacidad de drenaje.

El objetivo principal de la construcción de la subbase es corregir posibles irregularidades o deficiencias que tenga el suelo de fundación para que éstos no afecten a la base como los cambio de volumen de elasticidad y plasticidad. Además debe de servir de drenaje al pavimento para evitar la infiltración de agua y arrastre de finos; y permitir o transmitir los efectos de la carga de manera uniforme a la subrasante. Con la construcción de esta capa también se controla la ascensión capilar del agua proveniente de las capas freáticas cercanas o de cualquier alguna otra fuente protegiendo el pavimento contra los hinchamientos que se pueden producir por ejemplo en las zonas donde existen heladas (congelamiento del agua capilar), por ello una recomendación es importante: el material de la sub-base debe ser seleccionado y tener mayor capacidad soporte que el terreno de fundación compactado.

1.5. Química del suelo. Arcilla

Los silicatos son los minerales más comunes presentes en los suelos, y se forman a partir de una unidad base que es tetraédrica, en cuyo centro se encuentra un ión silicio Si^{4+} y en sus cuatro vértices, cuatro iones de oxígeno O^{2-} , así al sumar las cargas resulta un ión $(\text{SiO})^{4-}_4$.

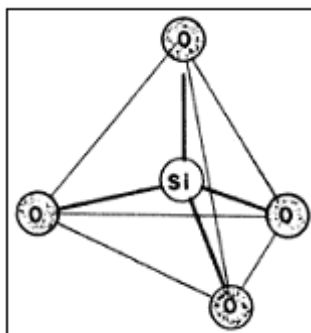


Fig.1.2 Tetraedro de silicio

Uno O más de los O^{2-} del tetraedro pueden ser compartidos por otro tetraedro y así existen diferentes tipos de estructuras según las uniones tetraédricas. Estas estructuras suelen ordenarse en grupos:

Tabla 1.2. Principales grupos de silicatos según la ordenación de los tetraedros

Clase	Disposición de los Tetraedros	Ejemplos
Neosilicato	Tetraedros individuales	Olivino
Sorosilicato	Tetraedros dobles o múltiples	Epidota
Ciclosilicato	Anillos de tetraedros simples o dobles	Berilo
Inosilicato	Cadenas de silicatos, simples o dobles	Hiperstena
Filosilicato	Láminas de tetraedros	Haloisita
Tectosilicato	Estructura tridimensional	Leucita

La fracción más fina de las partículas que forman el suelo se denomina arcilla, cuyas propiedades físico-químicas dependen de su morfología laminar (filosilicatos), de su tamaño de grano (inferior a $2\ \mu\text{m}$) y de las sustituciones isomórficas en las láminas que dan lugar a la aparición de las cargas en éstas.

Estructuralmente los filosilicatos se caracterizan por el apilamiento de capas que pueden ser de dos tipos: la capa tetraédrica (los tetraedros se unen con otros compartiendo tres de sus cuatro oxígenos de fórmula $(\text{Si}_2\text{O}_5)^{2-}$, el silicio se puede ver sustituido por Al^{3+} o Fe^{3+} , (esto se conoce como sustituciones isomórficas las cuales generan cargas libres), y la capa octaédrica, éste apilamiento de capas es la unidad fundamental de los filosilicatos.

Los filosilicatos que componen las arcillas pertenecen principalmente a 4 grupos: el del caolín, el de la montmorillonita, de la mica arcillosa (principalmente la illita) y el de la clorita.

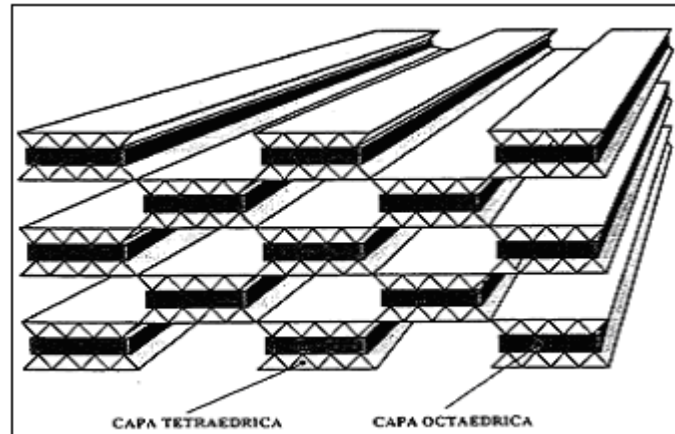


Fig. 1.3. Estructura de los filosilicatos

Las principales propiedades de las arcillas son:

- **Superficie específica:** Se define como el área de la superficie externa más el área de la superficie interna (en el caso de que esta exista) de las partículas constituyentes. Las arcillas poseen una elevada superficie específica, muy importante en la interacción sólido-fluido.
- **Plasticidad:** Ésta es la principal característica de este tipo de suelos, y principalmente es debido a la forma de la partícula y el tamaño de grano. La proporción agua/arcilla es de importancia ya que el agua va a lubricar las láminas causando el deslizamiento de éstas, esto se da cuando hay un esfuerzo generado por una carga mayormente. La plasticidad se suele cuantificar mediante la determinación de los límites de Atterberg, los cuales se mencionarán más adelante.
- **Hidratación e hinchamiento:** El hinchamiento se da como consecuencia de la absorción de agua en el espacio interlaminar que genera la separación de las láminas. Esto se puede explicar de la siguiente forma: a medida que el agua penetra y las láminas se separan más entre sí, se generan fuerzas electrostáticas de repulsión entre las láminas, lo cual a la vez contribuye al proceso de hinchamiento logrando disociar unas láminas de otras a veces completamente.
- **Tixotropía:** Esta propiedad se define como la pérdida de resistencia al amasarla, con su posterior recuperación con el tiempo. Aquellas arcillas que poseen esta propiedad al ser amasadas se convierten en líquido, al dejarlas luego en reposo, recuperarán su cohesión, así como su comportamiento sólido; para que muestre su comportamiento tixotrópico debe tener cierto porcentaje de agua con el cual se aproxima a su límite líquido. Muy por el

contrario cuando este porcentaje de agua llega al nivel que se requiere para acercarse al límite plástico, la arcilla no tendrá la oportunidad de presentar su comportamiento tixotrópico.

- **Capacidad absorbente:** Está directamente ligada con la textura (superficie específica y porosidad). Aquí se puede hablar de dos procesos físicos que se dan de forma aislada: el proceso de absorción, que es aquel proceso fundamentalmente físico como la retención por capilaridad; y el proceso de adsorción, que es aquel en el cual hay cierto tipo de interacción química entre la arcilla (en este caso) y el líquido adsorbido. Al ser muy porosa, posee una gran capacidad de absorción.
- **Capacidad de intercambio catiónico:** Es un fenómeno reversible y es la capacidad de cambiar los iones fijados en la superficie exterior de sus cristales, en los espacios interlaminares o en otros espacios interiores de las estructuras por otros iones existentes en las soluciones acuosas envolventes. Esta característica es muy importante en cuanto las propiedades mecánicas de las arcillas varían al variar la cantidad de los cationes en sus complejos de absorción, pues a diferentes cationes ligados corresponden distintos espesores de película absorbida, lo cual se refleja en las propiedades de plasticidad y resistencia del suelo. Este fenómeno sucede sin cambio sustancial en la estructura del sólido. Por esto el intercambio catiónico forzado se usa para tratar suelos con el fin del mejoramiento mecánico.

La capacidad de intercambio catiónico crece con el grado de acidez de los cristales; con lo cual podemos resumir: si el pH del suelo es menor, la actividad catiónica se hace notable ($\text{pH} < 7$). A la vez la capacidad de intercambio también aumenta la aumentar la velocidad y la concentración de la solución que circula a través del suelo.

Las arcillas minerales tienen la habilidad de conducir la electricidad mediante las reacciones de intercambio iónico. Las causas del intercambio iónico es la sustitución dentro de la estructura de la arcilla de Al^{+3} por Si^{+4} y Mg^{+2} por Al^{+2} es decir cationes trivalentes por tetravalentes y divalentes por trivalentes y otros iones menos relevantes. Como consecuencia de la sustitución quedan cargas negativas, desbalanceadas en la estructura laminar de la arcilla, algunas de las cargas son balanceadas por la absorción de cationes intercambiables mediante reacciones de intercambio. Los dos mayores mecanismos que contribuyen a la capacidad de intercambio catiónico son los de “uniones rotas” y de sustitución en la estructura de la arcilla. El primer mecanismo de intercambio predomina en las cloritas y caolinitas y el segundo en illitas y esmectitas.

Capítulo 2

Estabilización de suelos

2.1. Definición de estabilización

Cuando se presenta un suelo que no reúne las características mecánicas necesarias para trabajar directamente con él, se tendrá tres posibilidades:

- Utilizar el material como de bajo aporte.
- Sustituir el material.
- Modificar sus propiedades (estabilizar).

La estabilización se define como un proceso de mejorar el comportamiento del suelo (propiedades mecánicas) mediante la reducción de sus susceptibilidades a la influencia del agua y a las condiciones del tránsito, cambiando considerablemente las características del mismo, produciendo un aumento en su resistencia y estabilidad a largo plazo; es decir durabilidad. Por ejemplo; para suelos arcillosos de características plásticas que tienden a sufrir cambios volumétricos debido a cambios de humedad y con baja capacidad de soporte el objetivo principal será una reducción en su índice de plasticidad; ya que un IP demasiado alto significará un alto valor de expansión y/o su opuesta contracción, a la vez una baja capacidad para soportar cargas.

Casos que justifican una estabilización:

- Suelo de subrasante desfavorable o muy arenoso o muy arcilloso.
- Materiales para base o subbase en el límite de las especificaciones.
- Condiciones de humedad.
- Cuando se necesite una base de calidad superior, como en una autopista.
- En una repavimentación, utilizando los materiales existentes.

2.2. Tipos de estabilización de suelos.

En la actualidad se emplean los siguientes métodos:

- Estabilización mecánica (compactación).
- Estabilización por drenaje.
- Estabilización por medios eléctricos.
- Estabilización por calor y calcinación.
- Estabilización química (cemento, cal, asfalto, otros productos).

2.2.1.-Estabilización mecánica

Se define como un método de mejoramiento de las propiedades de los suelos a partir de ejercer una acción mecánica de corta duración de manera repetitiva sobre una masa de suelo parcialmente saturado, para ésta acción se utilizan equipos llamados compactadores, los cuales tienen como fin lograr aumentar la resistencia al corte.

Al compactar un suelo se obtiene:

- Mayor densidad, por lo que tendremos una mejor distribución de fuerzas que actúan sobre el suelo.
- Mayor estabilidad, pues al no compactar un suelo se tendrán asentamientos desiguales por lo tanto inestabilidad de la estructura.
- Disminución de la contracción del suelo, al existir espacios vacíos, provocando en suelos arcillosos la contracción y dilatación del suelo y por último ocasionará una disminución de los asentamientos.

Para asegurar una buena compactación deben realizarse pruebas de terreno, para definir qué equipo será el mejor para el tipo de material, el espesor de capas, el número de pasadas para cumplir con todas las especificaciones técnicas de densidad seca.

Los factores que intervienen en el proceso de compactación de los suelos son:

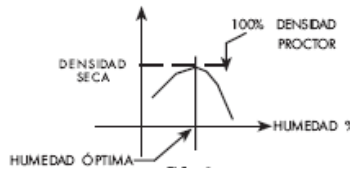
- Las características físicas de los suelos.
- El equipo de compactación.
- La forma de empleo del equipo seleccionado para un tipo de suelo en particular.

Entre los procedimientos de estabilización mecánica tenemos:

- **Amasado:** Se suele usar rodillos de pata de cabra, se utilizan para suelos finos cohesivos.
- **Impactos de carga:** Se utilizan pisoneros los cuales combinan el impacto, la vibración y el mezclado; son perfectas para áreas confinadas y se utilizan para compactar suelos finos.
- **Presión estática:** Con rodillos lisos y neumáticos que combinan utilizan la acción de amasado con el peso estático.
- **Vibración:** Se usan los rodillos vibratorios para ayudar al reacomodo de las partículas.
- **Métodos mixtos:** Es la combinación de los anteriores procedimientos.

Para efectos de la compactación, los suelos se dividen en dos grupos, suelos granulares y suelos finos. En la tabla 2.1 se muestra las características entre cada tipo de suelo y el método de compactación recomendado para cada uno.

Tabla 2.1.- Tipo de suelo con sus respectivo método de compactación

Tipo de suelos	Características	Compactación
Suelo granular	Suelo formado por gravas y arenas limpias o con pocos finos (menor a 5%)	Se compactan totalmente secos o con abundante agua.
Suelo fino	Suelo gravosos o arenosa con más de un 12% de finos, o bien, suelo netamente fino.	Se compactan con humedad. La humedad óptima se determina con el ensayo Proctor.
		

Las especificaciones para la compactación en terreno exigen la obtención de una densidad mínima, que es un mínimo porcentaje de la densidad máxima que se obtiene en laboratorio. Es muy común exigir por lo menos el 95% del Proctor Modificado.

2.2.2 Estabilización por medios eléctricos

La más conocida es la electroósmosis, que es la aplicación de una diferencia de potencial eléctrico a una muestra de suelo fino con exceso de humedad, esto produce que el agua se traslade desde el ánodo (electrodo positivo) hasta el cátodo (electrodo negativo); el caudal que fluye a través de la muestra de suelo en las condiciones anteriormente expuestas es proporcional al potencial eléctrico exterior que haya sido aplicado. Con este método se ha observado un aumento de resistencia al corte y a la compresión simple de los suelos finos (arcillosos).

2.2.3 Estabilización por calcinación o tratamiento térmico

Es de tipo térmico, se realiza a temperaturas elevadas, superiores a los 400 °C que calcinan el suelo. Esta técnica consiste en pasar gases a temperaturas cercanas a 1000 °C por ductos o huecos dentro del suelo, la distribución de la temperatura depende de la porosidad del suelo y la temperatura de los gases inyectados.

A temperaturas tan altas ocurren cambios irreversibles en la estructura cristalina de los minerales de arcilla. Estas alteraciones se ven reflejadas en las propiedades físicas que obviamente sufrirán modificaciones sustanciales como el índice plástico, el cual tiende a disminuir de manera notoria; la capacidad de absorción del agua también varía al igual que la expansividad y la compresibilidad las cuales disminuirán.

Este tipo de estabilización no es económica para suelos saturados.

2.2.4 Estabilización por drenaje

Consiste en un drenaje superficial y desagüe subterráneo. Se colocan sistemas de canalizaciones y tubos subterráneos que captan el agua y la sacan de la zona en que se sitúa la estructura; de tal manera que se pueda canalizar el agua proveniente de cualquier dirección a través de éstos canales y cunetas; alejándola de la zona de la obra. El fin es evitar impactos negativos de las aguas sobre la estabilidad, durabilidad y transitabilidad de la carretera.

2.2.5 Estabilización química

Se usa por la adición de agentes estabilizantes químicos específicos; comúnmente se usa cemento, cal, asfalto, cemento *portland*, entre otros. Con esta tecnología de estabilización se busca generar una reacción química del suelo con el estabilizante para lograr la modificación de las características y propiedades del suelo; y así darle mayor capacidad de respuesta a los requerimientos de carga dinámica a los que estará sometido.

Los estabilizadores químicos pueden tener tres categorías:

- Para cubrir e impermeabilizar los granos del suelo o proveer de fuerza cohesiva.
- Para formar una adhesión cementante entre las partículas del suelo; proporcionándoles fuerza y durabilidad.
- Para suelos finos tipo arcillas; generarán una alteración en la naturaleza del sistema agua-arcilla, con la cual se tendrá como resultado una baja en la plasticidad; posibles cambios de volumen; hará que se formen uniones cementantes y por último se mejorará la resistencia aumentándola.

Las estabilizaciones químicas más comunes son:

- **Estabilización de suelos con asfalto:** El asfalto produce diferentes efectos dependiendo de los suelos con los que se trabaje: a) Para las arenas finas, sin cohesión alguna, el asfalto produce resistencia y actúa como un agente cementante, b) a los suelos gravosos les proporciona resistencia cohesiva e impermeabilidad, a esta mezcla se le deben agregar también partículas finas para llenar los vacíos.
- **Estabilización de suelos-cemento:** Aplicable para estabilizar suelos arcillosos de baja plasticidad, suelos arenosos y suelos granulares con el objetivo de aportarles mayor resistencia. El suelo/cemento es un material estructural; el cual es la unión de suelo convenientemente pulverizado más cemento *portland* normalmente se utiliza el cemento tipo I (ya que permite alcanzar mayor resistencia por su contenido de aluminio tricálcico y sulfato

de calcio), mezclado de manera íntima y homogénea y compactado a una densidad máxima con un contenido de humedad óptimo. Al hidratarse el cemento, la mezcla se convierte en un material de pavimento resistente y durable capaz de soportar las tensiones a las que se le someten por las cargas del tránsito y las acciones del clima. Contenidos de cemento mayores a los requeridos conllevarán a agrietamientos por contracción causados por los cambios de temperatura y variaciones de humedad.

Para que se pueda utilizar la mezcla suelo/cemento; los suelos estudiados deben tener un IP menor a 20 y un mínimo de 45% de material pasante de la malla N° 40.

- **Estabilización de suelos con cal:** Se le aplica a suelos arcillosos buscando reducir su plasticidad. Logra mejorar gradualmente la resistencia del suelo de un modo significativo pues baja el potencial cambio de volumen de estos suelos producidos por las variaciones de humedad, así reduce el índice de plasticidad.

Para considerar el uso de la cal como estabilizador el IP del suelo deberá ser mayor a 10.

Existen diferentes tratamientos que se le puede dar al suelo dependiendo de que tanto queramos mejorar las propiedades, así: una mínima cantidad de cal se utiliza para secar y modificar temporalmente los suelos; con éste tratamiento se obtiene como resultado una plataforma de trabajo para la construcción de caminos temporales.

Cuando queremos un tratamiento mucho más duradero, podemos recurrir a la estabilización permanente con cal, obteniendo como resultado una mejora estructural permanente del suelo. Podemos utilizar la cal en tres “tipos” distintos: cal viva (óxido de calcio - CaO ; se produce de la transformación química del carbonato de calcio - piedra caliza - CaCO_3 - en óxido de calcio), cal hidratada (hidróxido de calcio - $\text{Ca}(\text{OH})_2$; se obtiene cuando la cal viva reacciona químicamente con el agua) o una lechada de cal (es la suspensión de cal hidratada en agua, que puede elaborarse a partir de cal hidratada o cal viva). La cal hidratada es la que reacciona con las partículas arcillosas y las transforma permanentemente en una fuerte matriz cementante.

Los suelos tratados con cal y sujetos a períodos de congelamiento y descongelamiento pueden presentar inconvenientes y problemas de durabilidad.

Los suelos que comúnmente se suelen estabilizar usando cal son los suelos clasificados como: CH, CL, MH, SM, SC, GC, con un índice de plasticidad mayor de 19 y con un porcentaje del 25% de finos que pasan la malla N° 200.

2.3 Estabilización química de suelos empleando nuevas tecnologías

Para esta nueva tecnología tenemos tres tipos distintos de estabilización. Si leemos con detenimiento los tres se centran en la capacidad de intercambio de las partículas de los elementos.

2.3.1 Estabilización iónica

Aplicada a suelos finos. El principio básico es un fuerte intercambio iónico entre el agente estabilizador con las partículas de arcilla mineral, de esta forma se desplaza el agua de adsorción ocupando el espacio iónico vacante, así se bloquea la capacidad de adsorción de agua de las partículas activas del suelo responsables del hinchamiento y la pérdida de su capacidad soporte. Las partículas libres de las cargas electrostáticas que las mantenían separadas y del agua que las rodeaba se acercan y aglomeran pudiendo aumentar la capacidad de carga por fricción entre partículas y lograr una mayor densidad por compactación.

El resultado final óptimo debería consistir en una estabilización más permanente.

2.3.2 Estabilización con polímeros

Los polímeros son macromoléculas (resultado de la unión de un gran número de moléculas pequeñas de un mismo tipo o de diferentes tipos), generalmente orgánicas llamados monómeros; pueden estar formadas por más de un tipo de monómero, éstas se denominan homopolímeros o estar formados por más de un tipo de monómeros denominándose copolímeros. Las maneras de unión de las unidades estructurales de los polímeros tanto naturales como artificiales pueden ser en varias direcciones, así se pueden obtener polímeros lineales o en más de una dirección dando lugar a los polímeros reticulares tridimensionales.

Lo que distingue a los polímeros de los materiales constituidos por moléculas de tamaño normal son sus propiedades mecánicas. Los polímeros en general, tienen una muy buena resistencia mecánica, esto debido a sus grandes cadenas poliméricas que atraen; estas fuerzas de atracción intermolecular dependen de la composición química del polímero, las más comunes son las fuerzas de Van der Waals. Esto se traduce en una muy alta resistencia a la tracción, al impacto y a la fatiga.

Generalmente los polímeros a utilizar en las distintas industrias son los polímeros sintéticos, que son aquellos creados por el hombre. El uso de éstos en las carreteras tiene como fin de aumentar la estabilidad de los agregados y reducir la dispersión de las arcillas.

Muchos plásticos, cauchos y materiales fibrosos son polímeros sintéticos.

Las técnicas de estabilización no están muy estudiadas aún si bien en el mercado ya se encuentran muy pocos productos a base de polímeros. La estabilización con estos

productos tiene el mismo fin que otras técnicas de estabilización: estabilizar e impermeabilizar el suelo para que sean aptos para su uso vial.

Los polímeros actúan como agentes catalíticos de intercambio iónico sobre la fracción activa de las arcillas reduciendo el potencial electrostático de las partículas, quitándoles la capacidad para absorber agua. Con el objetivo que al final el suelo tenga una mayor capacidad de carga y una estabilización permanente.

Los polímeros se usan generalmente en carpetas asfálticas, para darles una mayor resistencia, impermeabilizarla y prolongar su vida útil.

2.3.3 Estabilización con enzimas orgánica

Las enzimas son moléculas de naturaleza proteica que catalizan reacciones químicas hasta hacerlas instantáneas o casi instantáneas, son catalizadores altamente específicos. La especificidad de las enzimas es tan marcada que en general actúan exclusivamente sobre sustancias que tienen una configuración precisa.

Como son moléculas estrictamente proteicas, éstas también sufren desnaturalización, no dializan y también pueden sufrir saturación. La desnaturalización de las enzimas es un cambio estructural en las proteínas donde pierden su estructura tridimensional o conformación química, de esta forma pierden a su vez su óptimo funcionamiento y a veces cambian sus propiedades físico-químicas; por ejemplo cuando las enzimas están desnaturalizadas pierden su actividad catalítica, pues los sustratos no pueden unirse al centro activo y porque los residuos de los aminoácidos implicados en la estabilización de los sustratos no están posicionados para hacerlo. La desnaturalización surge cuando la proteína es alterada por algún factor, sea éste físico o químico. Entre los factores físicos esta el calor y factores químicos como el pH, los disolventes orgánicos y la fuerza iónica.

Acción enzimática o catalítica: En las reacciones químicas las moléculas sobre las que actúa la enzima en el comienzo del proceso se les denomina sustratos; lo que hacen las enzimas es convertirlos en moléculas diferentes que serán los productos de las reacciones químicas enzimáticas a llevarse a cabo.

Cuando el sustrato se encuentra con la enzima correspondiente se produce la reacción catalítica, la cual se realiza en tres etapas:

- El sustrato se une a la enzima formando el complejo enzima-sustrato; se ha dicho que cada enzima cataliza un tipo específico de reacción química; por lo que esta unión se caracteriza por un alto grado de especificidad; esta especificidad enzimática se debe a la estructura proteica de la enzima, la cual presenta una pequeña zona llamada centro activo (lugar donde se presenta la acción catalítica) en la cual se acopla al sustrato.

Este acoplamiento entre enzima y sustrato encaja tan exactamente que cualquier cambio que se produzca impediría su acoplamiento. En algunas enzimas el centro activo es capaz de modificar su forma para adaptarse al sustrato.

- Una vez que el complejo enzima-sustrato se forma; si alguna enzima posee un cofactor o coenzima (componente químico adicional), éste es el que lleva a cabo la reacción y se obtiene el producto final, ésta etapa es rápida e irreversible. Cuando ya no quedan más enzimas para trabajar la velocidad se vuelve constante, es decir, se produce la saturación de la enzima.
- El producto se libera del centro activo y la enzima queda libre para volver a unirse a nuevas moléculas del sustrato.

Factores que afectan la actividad enzimática:

- Concentración del sustrato.
- Temperatura:
Si se aplica calor: Al calentarse las moléculas aumenta la energía cinética, por lo tanto aumenta la velocidad del sustrato y de la enzima facilitando el encuentro de las dos. Si se le aplica demasiado calor se produce la desnaturalización de la enzima.
Si se disminuye la temperatura: La enzima y el sustrato no se encontrarán con tanta velocidad; si la temperatura es menor puede producirse también la desnaturalización de la enzima.
- pH: Las enzimas deben trabajar en unas concentraciones de pH concretas, si se salen de esas condiciones se le pondrá a la enzima en condiciones desfavorables y también se puede producir la desnaturalización de la enzima. Las enzimas que catalizan la mayoría de los procesos bioquímicos son generalmente activas dentro de una escala pequeña de pH.

Funcionamiento enzimático defectuoso: Sin los niveles adecuados de actividad enzimática, el sistema no puede funcionar de manera normal o eficiente. Se pueden distinguir tres tipos de problemas relacionados con las enzimas:

- *Deficiencia coenzimática*
- *Competencia por iones metálicos:* Muchas enzimas son activadas por iones metálicos específicos que se coordinan en los sitios activos para facilitar el acoplamiento del sustrato. Los problemas surgen si hay competencia por el ión metálico necesario; esto conlleva a un posible reemplazo del ión metálico normal en el sistema enzimático, especialmente cuando el ión extraño está presente en altas concentraciones, llevando a la enzima a una forma no funcional.
- *Inhibidores de enzimas:* Los iones mecánicos pueden llegar a desactivar a las enzimas por la formación de sales o complejos que convierten a la enzima en una forma no catalítica. Un tipo de inhibición se produce cuando una molécula extraña se enlaza estrechamente en el sitio activo de la enzima, impidiendo la entrada del sustrato normal.

En la ingeniería de carreteras, las enzimas se utilizan para la estabilización de vías y carreteras muchas veces como aglutinante, así, la acción catalizadora de las enzimas incrementa el proceso humectante del agua y provoca la acción aglutinante sobre cierto tipo de materiales, disminuyendo la cantidad de vacíos.

Mejora las propiedades mecánicas y físicas de las diferentes capas de la estructura del pavimento (subrasante, subbase y base); en teoría y dependiendo el tipo de enzima, los diferentes efectos que se produce son los siguientes:

- Incrementa las densidades de compactación.
- Mejora la capacidad portante.
- Alarga la vida útil de las vías y carreteras.
- Como actúa a manera de adhesivo alarga al tiempo de mantenimiento periódico y de la reposición de pérdidas del material pétreo.
- La capa de rodadura tratada con enzimas puede soportar cargas superiores a las cargas normales de diseño.
- Reduce costos.

2.4 Fundamentos para la estabilización de suelos para carreteras

La estabilización se fundamenta en el mejoramiento de las propiedades, a continuación las definimos.

2.4.1 Propiedades de los suelos que más se estudian en estabilización

La estabilidad volumétrica, la resistencia, permeabilidad, compresibilidad y durabilidad son las propiedades más relevantes al momento de realizar algún tipo de estabilización. Al elegir algún tipo de producto para mejorar las características del suelo los estudios se deben concentrar en verificar si mejora alguna de éstas propiedades.

2.4.1.1 Estabilidad volumétrica

Los problemas de estabilidad volumétrica se originan sobretodo en suelos expansivos, licuables (ante cargas dinámicas) y suelos colapsables; relacionados por los cambios de humedad de éstos, originando en muchos casos por ejemplo levantamiento de los pavimentos (si son suelos expansivos); a su vez el cambio de humedad, está relacionado con los cambios estacionales, o depende de la actividad del ingeniero.

Para el desarrollo de esta propiedad nos enfocaremos en los suelos arcillosos; los cuales tienen la capacidad de hinchamiento o de retracción dependiendo de su contenido de humedad. En un suelo de estas características la finalidad principal es transformar esa masa

de arcilla expansiva a una masa completamente rígida o en una masa granulada pero con una capacidad de expansión mínima; esto es unir las partículas que la forman, de tal manera que puedan resistir las presiones internas que provocan la expansión y/o hinchamiento. Esto generalmente se logra con la aplicación de tratamientos químicos o térmicos. Para arcillas ubicadas en la superficie los tratamientos químicos son efectivos; los tratamientos térmicos se han aplicado a arcillas más profundas.

2.4.1.2 Resistencia

Para mejorar esta propiedad se suele usar la estabilización mecánica (compactación). Algunas formas de estabilización más usadas para lograr una mayor resistencia son:

- Compactación
- Vibroflotación
- Precarga
- Drenaje
- Estabilización mecánica con mezclas de otros suelos
- Estabilización química con cemento, cal u otros aditivos.

La falta de resistencia ocurre sobretodo en suelos orgánicos, ya que la presencia de material orgánico no permite la buena estabilización de estos suelos.

2.4.1.3 Permeabilidad

Es la capacidad que tiene un medio de transmitir agua (u otra sustancia); el medio es permeable cuando éste deja pasar a través de él una cantidad significativa de fluido, y es impermeable si la cantidad de fluido es despreciable. El suelo se puede definir como permeable pues presenta poros; en este caso son los espacios vacíos que le permiten absorber el agua; a su vez estos espacios vacíos están interconectados de tal forma que dispone de caminos por los que el agua puede pasar fácilmente; si no ocurre esto, es decir, la cantidad de espacios vacíos es mínima; entonces el suelo será impermeable.

Si la presión de poros es elevada provocará deslizamientos y el flujo de agua a través del suelo puede provocar el arrastre de las partículas sólidas originando tubificación.

El tamaño de los poros tiene gran importancia con respecto a la cantidad de agua que se mueve hacia dentro del suelo (filtración), y al movimiento a través del agua (percolación).

La permeabilidad también se ve afectada por la textura y la estructura del suelo; las que a su vez dependerán del número y del tamaño de los poros del suelo.

Según la textura, mientras el suelo sea más fino (textura más fina) más lenta será su permeabilidad; como vemos en el siguiente cuadro:

Tabla 2.2.- Permeabilidad según la textura del suelo.

Suelo	Textura	Permeabilidad
Suelos arcillosos	Fina	De muy lenta a muy rápida
Suelos limosos	Moderadamente fina	
	Moderadamente gruesa	
Suelos arenosos	Gruesa	

Tabla 2.3.- Permeabilidad según la estructura del suelo.

Tipo de estructura		Permeabilidad
Laminar	- Gran traslapo	De muy lenta a muy rápida
	- Ligerito traslapo	
En bloque		
Prismática		
Granular		

La permeabilidad se podrá modificar si modificamos la estructura, como lo indica la tabla 2.3.

Obligatoriamente hablaremos de los factores químicos; ya que es una parte importante en este trabajo; los factores químicos tienen una influencia directa en la permeabilidad; ya que la estructura del suelo se ve influenciada por la naturaleza y por la cantidad de iones presentes; en este caso hablaremos de aquellos elementos que participan directa o indirectamente en las actividades químicas. Por ejemplo: Dependiendo de que tipos de sales tenga el suelo; éstas alterarán la estructura del suelo; pudiendo aumentar o disminuir la permeabilidad.

2.4.1.4 Compresibilidad

Es el grado en que la masa de suelo disminuye su volumen bajo el efecto de una carga. Esta propiedad afecta a otras como la permeabilidad; también altera la magnitud y el sentido de las fuerzas interpartículas; modificando la resistencia del suelo al esfuerzo cortante o pudiendo provocar deslizamientos.

Si hablamos de los suelos de textura gruesa (gravas y arenas); la compresibilidad será mínima, pues sus partículas están en contacto. Nos centraremos en los suelos de grano fino, las arcillas y limos; si se comprime una masa húmeda de estos suelos, se produce una reducción en su volumen, pues gran parte de la humedad y el aire presentes se eliminarán; la compresibilidad llega al máximo mientras mayor cantidad de materia orgánica esté presente.

La compresibilidad es aproximadamente proporcional al índice de plasticidad; mientras mayor es el índice plástico mayor es la compresibilidad del suelo.

2.4.1.5 Durabilidad

Esta propiedad se relaciona con la resistencia al intemperismo, erosión o a la abrasión del tránsito; generalmente se asocia a los suelos cercanos a la superficie de rodamiento. Una de las maneras de mejorarla es la adición de químicos; dependiendo del tipo de suelo.

Capítulo 3

Análisis de laboratorio

3.1 Características del suelo

Para los análisis de laboratorio se creo conveniente evaluar el suelo física y luego químicamente.

3.1.1 Características físicas del suelo

A continuación se enumeran y describen las distintas pruebas de laboratorio que se realizaron.

3.1.1.1.- Análisis granulométrico

Con este análisis se logra una clasificación de los distintos tamaños de áridos que conforman el suelo. Para tener una idea de los tamaños a base de los cuales se realiza éste análisis; se tomó la clasificación ASTM; cuyos límites son los siguientes:

Tabla 3.1. Tamaños de clasificación de las partículas del suelo

Límites de los tamaños de los componentes del suelos	
Bloques	mayor a 300 mm
Bolones	de 80 a 300 mm
Grava	de 5 a 80 mm
Arenas	de 0,08 a 5 mm
Limos	de 0,005 a 0,08 mm
Arcillas	menores a 0,005 mm

Para separar las fracciones de los diferentes tamaños de granos, se usan tamices; la abertura más fina que se usa mide 0,08 mm (tamiz N° 200), por lo que el análisis granulométrico se restringe para tamaños de partículas de suelos superiores a éste. La muestra tomada se debe homogeneizar en estado húmedo; de esta forma, se asegura de que toda la muestra posea las mismas propiedades, posterior a esto se debe reducir por cuarteo en estado seco.

La escala más utilizada es la ASTM; para la presentación de este informe se utilizó los tamices del Laboratorio de Ensayo de Materiales de Construcción (LEMAC):

Tabla 3.2. Juego de tamices utilizados para el ensayo.

Tamices ASTM	
Abertura (mm)	Designación
63,5 mm	2 ½"
38,1 mm	1 ½"
25,4 mm	1"
19,00 mm	¾"
9,5 mm	3/8"
4,75 mm	N° 4
2,36 mm	N° 8
1,18 mm	N° 16
600 µm	N° 30
300 µm	N° 50
150 µm	N° 100
75 µm	N° 200

La utilidad de la granulometría radica también en que está relacionada directamente con la manejabilidad del producto que queremos obtener: en este caso se necesitará una mezcla adecuada, para obtener ciertos niveles de plasticidad del afirmado; además de la demanda de agua, la resistencia que se requiere, etc.; esto se explicará más adelante.

3.1.1.2 Límites de consistencia o límites de Atterberg

Cuando en un suelo hay presencia de minerales de arcilla se debe estudiar la facilidad con la cual un suelo puede ser deformado; en el caso de los suelos finos, la consistencia depende de los diferentes porcentajes de contenidos de agua pues con un alto contenido de agua el suelo fluiría como un líquido y con un contenido de agua bajo este tipo de suelo tendería a comportarse como un sólido frágil. Entre estas diferentes clases de comportamiento que las definimos como cuatro estados: sólido, semisólido, plástico y líquido, existen transiciones: del estado sólido al semisólido, del semisólido al plástico y del plástico al líquido. Para realizar éstas transiciones se necesita determinado contenido de agua, a éste contenido de agua expresado en porcentaje en el cual las distintas transiciones tienen lugar (en el punto límite de la transición) se les llama límites de consistencia. En resumen, estos límites se utilizan para caracterizar el comportamiento de los suelos finos, ante contenidos de agua diferentes.

Estos ensayos se realizan sobre el suelo que pasa el tamiz ASTM N° 40, y se determinan realizando pruebas de laboratorio bastante simples que proporcionan la información que se necesita sobre el origen de los suelos cohesivos, además éstos resultados también sirven para correlacionar los parámetros físicos de éstos suelos.

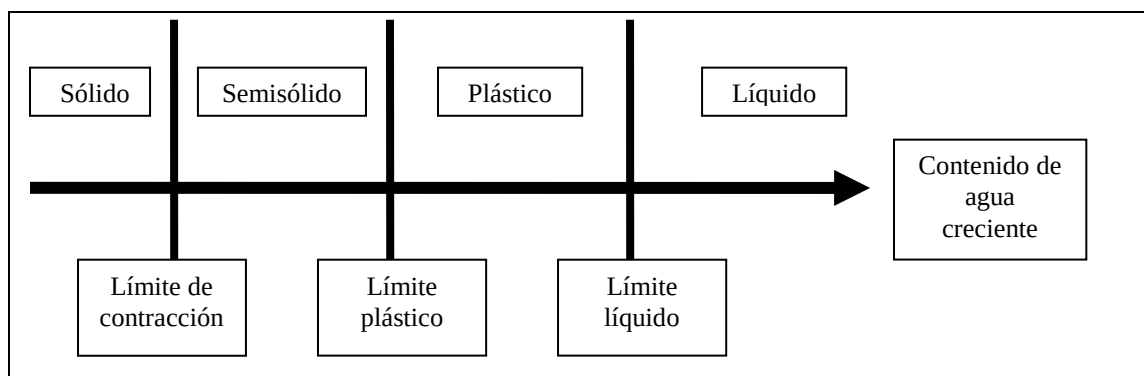


Figura 3.1. Límites de Atterberg

- **Límite líquido:** Es el contenido de agua en porcentaje para el cual el suelo se encuentra en el límite entre el estado líquido y el estado plástico o expresado de otra manera, es el máximo porcentaje de humedad para que el suelo no fluya y sea trabajable.

Como ensayo de laboratorio se trata de encontrar el más bajo contenido de humedad necesario para que dos mitades de pasta del suelo de 1 cm de espesor fluyan y se unan en una longitud de 12 mm en el fondo del corte

que separa ambas mitades cuando la cápsula que la contiene golpea 25 veces desde la altura de 1 cm y a la velocidad de 2 golpes por segundo. Este aparato se denomina Aparato de Casagrande.



Figura 3.2. Aparato de Casagrande



Figura 3.3. Ensayo de límite líquido

- **Límite plástico:** Es el contenido de agua en porcentaje para el cual el suelo se encuentra en el límite entre el estado semisólido y el estado plástico o se expresa como el mínimo porcentaje de agua para que el suelo no se resquebraje y sea trabajable. En el laboratorio se define como el más bajo contenido de humedad con el que al ser moldeado en barritas cilíndricas de un menos diámetro cada vez, comienza a agrietarse cuando las barritas alcanzan a tener un diámetro de 3 mm.



Figura 3.4. Ensayo de límite plástico



Figura 3.5. Ensayo de límite plástico

Índice plástico.- Indica al grado de plasticidad del suelo. Cuando el índice de plasticidad es $IP > 10$, entonces los suelos se caracterizarán por su plasticidad, cuanto más alto es este valor, el suelo será más plástico y más débil. El IP es una medida de cuánta agua puede absorber un suelo antes de disolverse en una solución.

- **Límite de contracción:** Es el contenido de agua en porcentaje para el cual el suelo se encuentra en el límite entre el estado sólido y el estado semisólido o expresado de otra forma, es la humedad para la cual el suelo no se contrae cuando la humedad baja ese límite, y se expande cuando la humedad aumenta sobre ese límite.

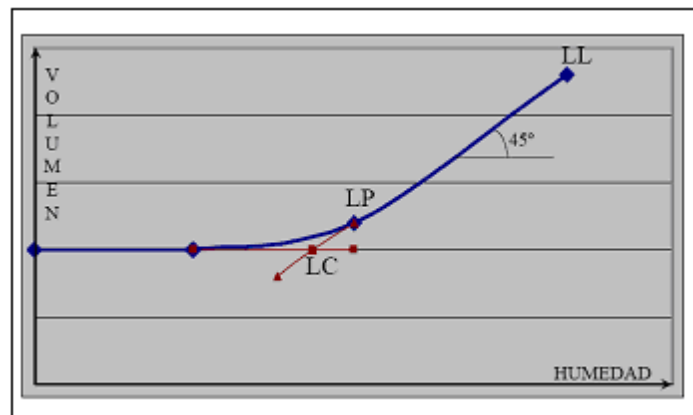


Figura .3.6. Representación gráfica de los límites de Atterberg.

3.1.2 Clasificación de los suelos

Los sistemas de clasificación son métodos empíricos que facilitan la resolución de problemas pues agrupan a los suelos por las semejanzas en sus comportamientos; además también permiten correlacionar propiedades.

Se enunciará dos sistemas, los cuales son los más conocidos y más recomendados: SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos) y el sistema de clasificación de la AASHTO (*American Association of State Highway Officials*), éste último es de uso especial para la construcción de vías, en especial para el manejo de subrasantes y terraplenes.

3.1.2.1. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos; SUCS

Este sistema tiene la ventaja de aclarar mejor las propiedades del suelo y su respectiva descripción; así, los suelos que comparten muchas características se agrupan en series y éstas en familias. Del mismo modo, las familias se combinan en grupos, y éstos en subórdenes que se agrupan a su vez en órdenes. SUCS clasifica los suelos según su textura y plasticidad; divide las categorías en grano fino y grano grueso; tomando en cuenta los límites de Atterberg y la granulometría del suelo.

Se empieza ésta clasificación dividiendo a los suelos en dos grandes fracciones; según la cantidad de material que pase por la malla N° 200. Esto, si se retiene en dicha malla más del 50% en peso del suelo se trata de un suelo de partículas gruesas, y si pasa más del 50% en peso del material, lo clasificaremos como un suelo de partículas finas.

- **Suelo de partículas gruesas:** La clasificación de éste tipo de suelos en arena o grava, depende de la cantidad de material que pasa por la malla N° 4. Si más de la mitad de la fracción gruesa pasa por la malla N° 4, se trata de una arena; en caso contrario, será una grava.
- **Suelo de partículas finas:** Si el porcentaje de material que pasa por la malla N° 200 es menor del 5% en peso del material.

Los suelos gruesos estarán designados dependiendo de su buena o mala graduación. Un suelo está bien graduado cuando los espacios dejados por los granos grandes son ocupados por los granos más finos. Si esto no ocurre y hay una graduación discontinua, se considera un suelo mal graduado, y por lo tanto no es recomendable, pues habrá un porcentaje de vacíos alto.

Si el porcentaje de finos que pasa por la malla N° 200 en los suelos gruesos es mayor al 12%, éstos se deben clasificar de acuerdo al contenido y naturaleza del material fino que también lo compone, pudiendo ser éste limo y/o arcilla. En caso de que la fracción que pasa por la malla N° 200 esté comprendida en el intervalo del 5% al 12%, se trataría de un caso que requerirá la utilización doble simbología.

Los suelos finos se clasificarán de acuerdo a la carta de plasticidad; ésta depende del límite líquido y el índice plástico; los suelos finos se agrupan de manera que cada zona de la carta se sitúa suelos con características similares.

La tabla 3.3 muestra la carta de plasticidad para la clasificación de los suelos según el método.

La tabla 3.4 muestra el sistema unificado de suelos y el nombre de los suelos según la clasificación que se le da. Al igual la tabla 3.5 que hace una caracterización más extensa.

Tabla 3.3. Carta de plasticidad

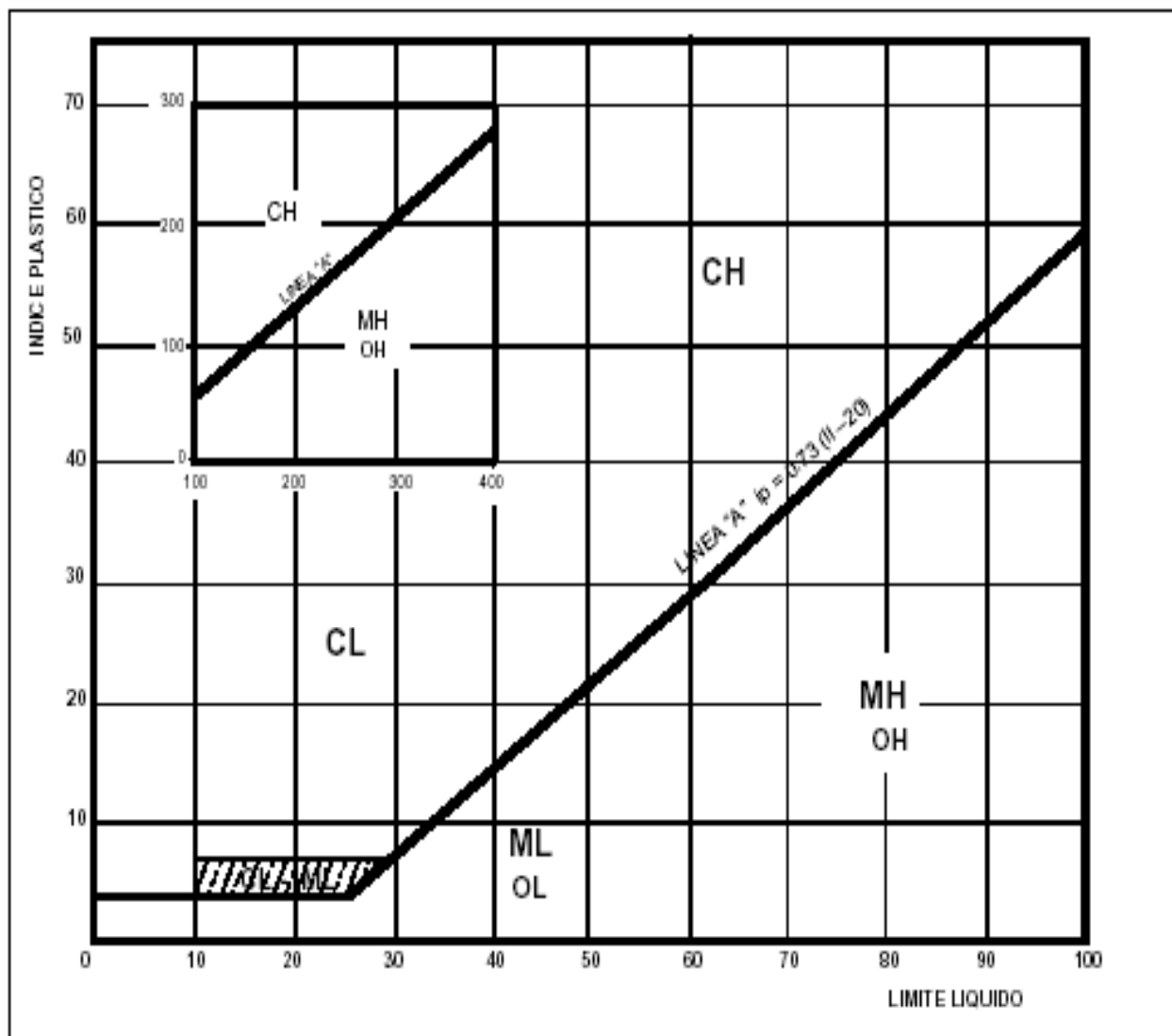


Tabla 3.4. Sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS)

Tipo de suelo	Clasificación			Clasificación	
				Grupo	Nombre
SUELOS GRUESOS	Gravas	Gravas limpias	$Cu \geq 4$ y $1 \leq Cc \leq 3$	GW	Grava bien graduada
Más del 50% es retenido en tamiz N° 200	Más del 50% de la fracción gruesa es retenido en tamiz N°4	Menos de 5% de finos	$Cu < 4$ y/o $1 > Cc > 3$	GP	Grava mal graduada
		Gravas con finos	Finos clasificados como ML o MH	GM	Grava limosa
		Más de 12% de finos	Finos clasificados como CL o CH	GC	Grava arcillosa
	Arenas	Arenas limpias	$Cu \geq 6$ y $1 \leq Cc \leq 3$	SW	Arena bien graduada
	50% o más de la fracción gruesa pasa el tamiz N°4	Menos de 5% de finos	$Cu < 6$ y/o $1 > Cc > 3$	SP	Arena mal graduada
		Arenas con finos	Finos clasificados como ML o MH	SM	Arena limosa
		Más de 12% de finos	Finos clasificados como CL o CH	SC	Arena arcillosa
SUELOS FINOS	Limos y arcillas	Inorgánico	$IP > 7$ y cae sobre o arriba de la recta "A"	CL	Arena de baja plasticidad
Más del 50% es retenido en tamiz N° 200	$LL < 50$		$IP < 4$ y cae debajo de la recta "A"	ML	Limo de baja plasticidad
		Orgánico	$LL < 0,75$	OL	Arcilla orgánica
				OL	Limo orgánico
	Limos y arcillas	Inorgánico	IP cae sobre o arriba de la recta "A"	CH	Arcilla de alta plasticidad
	$LL \geq 50$		IP cae debajo de la recta "A"	MH	Limo de alta plasticidad
		Orgánico	$LL < 0,75$	OH	Arcilla orgánica
				OH	Limo orgánico
SUELOS MUY ORGÁNICOS	Prima la materia orgánica, color oscuro y hedor orgánico			PT	Turba

Tabla 3.5. Nombres típicos de los materiales

GRUPO	NOMBRES TIPICOS DEL MATERIAL
GW	Grava bien gradada, mezclas gravosas, poco o ningún fino.
GP	Grava mal gradada, mezcla grava-arena, poco o ningún fino.
GM	Grava limosa, mezclas gravas, arena, limo.
GC	Grava arcillosa, mezclas gravo-arenas arcillosas.
SW	Arena bien gradada.
SP	Arena mal gradada, arenas gravosas, poco o ningún fino.
SM	Arenas limosas, mezclas arena-limo.
SC	Arenas arcillosas, mezclas arena-arcilla.
ML	Limos inorgánicos y arenas muy finas, polvo de roca, limo arcilloso, poco plástico, arenas finas limosas, arenas finas arcillosas.
CL	Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas gravosas, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas magras.
OL	Limos orgánicos, arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad.
MH	Limos inorgánicos, suelos limosos o arenosos finos micáceos o diatómicos (ambiente marino, naturaleza orgánica silíceo), suelos elásticos.
CH	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas gruesas.
OH	Arcillas orgánicas de plasticidad media a alta, limos orgánicos.
Pt	Turba (carbón en formación) y otros suelos altamente orgánicos.

3.1.3.2. - AASHTO (*American Association of State Highway Officials*):

Fue desarrollado en 1929. Publicado como el *Road Admisitration Clasification System* (ASTM D-3282). Este sistema clasifica a los suelos según el tamaño del grano, y según su plasticidad; sin embargo, éste sistema no da mucha descripción del material, pero si su aplicación en cuanto a carreteras y a tecnología del concreto.

La clasificación toma en cuenta 7 grandes grupos, desde el A-1 hasta el A-7: los suelos clasificados en los grupos A-1, A-2, A-3 son suelos gruesos granulares con un 35% o menos que pasan las malla N° 200; los suelos clasificados en los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7, estos son suelos de material limosos y/o arcillosos.

Clasificación	A-7-5	cuando	$IP \leq LL - 30$
Clasificación	A-7-6	cuando	$IP > LL - 30$

La clasificación se basa en tres criterios:

- **Tamaño del grano:** Distingue tres tamaños: grava, arena y finos (limos y arcillas), tamaños mayores a los 75 mm son excluidos del análisis para esta clasificación, pero se debe registrar la cantidad presente.

- **Plasticidad:** Si el índice de plasticidad es inferior o igual a 10, se le denomina limo; si en cambio, el índice de plasticidad es superior a 10, se le denomina arcilla.
- **Índice de grupo (IG):** Se desarrollo para evaluar la calidad del suelo para su uso en vías, el cual se halla con la siguiente fórmula empírica:

$$IG = (F - 35) (0,2 + 0,005 (Wl - 40)) + 0,01 (F - 15) (IP - 10)$$

En la cual:

F: Porcentaje que pasa por 0,08 mm, expresado en números enteros basado solamente en el material que pasa por 80 mm.

Wl: Límite líquido.

IP: Índice de plasticidad. Este índice es escrito entre paréntesis luego de la designación de grupo o subgrupo.

Algunas reglas con respecto al uso de esta ecuación son las siguientes:

- Si el valor obtenido es negativo, se debe asumir como $IG = 0$.
- No hay un límite superior para el índice del grupo.
- El IG debe redondearse a valores enteros.
- El índice de grupo de A-1, A-3 y A-2-4 y A-2-5 siempre es igual a cero.
- Para los grupos A-2-6 y A-2-7, el índice de grupo se calcula con la segunda parte de la ecuación, dependiendo solo del IP.

En resumen:

A-1: cascajo y arena; A-3: arena fina; A-2: cascajos y arenas limosas o arcillosas; A-4 y A-5: suelos limosos, A-6 y A-7: suelos arcillosos.

Por lo que podemos deducir los suelos A-1 y A-3, son suelos excelentes y buenos, A-2 son suelos buenos y moderados, y los suelos A-6 y A-7 son moderados a pobres. Si un suelo es altamente orgánico se le puede clasificar como A-8, sólo con una simple inspección visual, sin considerar el porcentaje bajo 0,08 mm, límite líquido e índice de plasticidad; estos suelos se pueden identificar por su color oscuro y sobretodo olor putrefacto.

A continuación se presentan las tablas 3.6 y 3.7 referentes a la clasificación de suelos por el método *AASHTO*.

Tabla 3.6. Clasificación de materiales según *ASSHTO* para vías

Clasificación General	Materiales granulares (35% o menos del total pasa el tamiz N° 200)						Materiales limo – arcillosos (más del 35% del total pasa el tamiz N°200)			
Clasificación de grupo	A –1	A-3	A – 2				A –4	A- 5	A –6	A -7
	A-1-a A-1-b		A –2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5 A-7-6
Porcentaje de material que pasa el tamiz										
N° 10	50 max									
N° 40	30 max 50max	51 min								
N° 200	15 max 25 max	10 max	35 max	35 max	35 max	35 max	36 min	36 min	36 min	36 min
Características de la fracción que pasa el tamiz N° 40										
L Líquido LL			40 max	41 min	40 max	41 min	40 max	41 min	40 max	41 min
I Plasticidad IP	6 max	NP	10 max	10 max	11 min	11 min	10 max	10 max	11 min	11 min
Tipo usual de material significativo constituyente	Fragmento de piedra Arena gruesa	Fineza	Grava y arena arcillosa color plata				Suelo color plata		Suelo arcilloso	
			Bueno, excelente				Pobre, justo			

Tabla 3.7. Características de los suelos según *AASHTO*

Grupo Suelos.	Permeabilidad	Elasticidad.	Cambio de volumen.	Capilaridad.	Bases de pavimentos.	Sub bases.	Terraplenes.	Valoración escala.
A-1	--	---	--	-	++	++	++	+++ Sobresaliente.
A-2	-	++	+	m	-	M	+	++ Muy alto.
A-3	+	-	--	-	+	+	+	+ Alto.
A-4	-	+	+-	+++	-	-	+-	m Moderado.
A-5	-	m	++	+++	---	-	--	- Deficiente.
A-6	---	-	++	++	--	--	-	-- Bajo.
A-7	--	m	++	++	--	--	--	--- Muy bajo.

3.2 Propiedades de desempeño

Presentamos las propiedades de desempeño estudiadas en la tesis.

3.2.1 Ensayo Proctor

Es un ensayo de compactación que tiene como finalidad principal obtener la humedad óptima de compactación de un suelo para una determinada energía de compactación. Esta humedad óptima de compactación es aquella humedad (porcentaje de agua) para la cual la densidad del suelo es máxima, es decir que cantidad de agua será la que se añadirá para poder compactar al máximo con una energía concreta.

3.2.2 Ensayo de absorción por capilaridad

La capilaridad es una propiedad física del agua por la que puede avanzar a través de un canal minúsculo siempre y cuando se encuentre en contacto con ambas paredes de este canal y estas paredes se encuentren suficientemente juntas. Para que exista la capilaridad en un suelo, éste debe ser fino o tener una considerable cantidad de éste pues sus poros son muy pequeños. En los suelos que en su mayoría están compuestos de grava gruesa no se producirá el fenómeno de capilaridad. Éste es un fenómeno de adhesión.

Esta prueba estudia los cambios producidos en la absorción de los suelos. Para valorar los cambios de absorción se moldean probetas de suelo con y sin aditivo, para establecer la misma mediante método comparativo. El moldeo de las probetas cilíndricas se hace con la densidad máxima seca prefijada y con una humedad óptima con compactación en forma estática sobre un molde confinado. Inmediatamente después de moldeadas se introducen sobre un compartimiento sobre un suelo seleccionado, en este caso será arena de arena, saturada de agua en forma permanente y cubierta con un papel filtro en donde se apoyan las probetas, la cara de apoyo de la probeta siempre será la misma. Se pesan las mismas y en función del tiempo, se calcula el porcentaje de agua absorbida por las mismas. Los porcentajes de absorción se refieren al agua absorbida por la probeta a partir de la humedad óptima.

3.2.2 Valor soporte relativo: Ensayo CBR (*California Bearing Ratio: Ensayo de Relación de Soporte de California*)

El objetivo principal para realizar este ensayo es determinar la resistencia de un suelo que está sometido a esfuerzos cortantes, además evaluar la calidad relativa del suelo para subrasante, subbase y base de pavimentos, bajo condiciones de humedad y densidad controladas.

El CBR de un suelo es la carga unitaria correspondiente a 0,1" ó 0,2" de penetración, expresada en porcentaje en su respectivo valor estándar. Además permite obtener un número de la relación soporte, que no es constante para un suelo dado sino que se aplica solo al estado en el cual se encontraba el suelo durante el ensayo. Los ensayos de CBR se hacen sobre muestras compactadas con un contenido de humedad óptimo obtenido del ensayo de compactación Proctor.

La expresión que define al CBR, es la siguiente:

$$\text{CBR} = (\text{carga unitaria del ensayo} / \text{carga unitaria patrón}) * 100 (\%)$$

Así de la ecuación se puede ver que el número CBR, es un porcentaje de la carga unitaria patrón. En la práctica el símbolo de (%) se quita y la relación se presenta simplemente por el número entero.

Por medio del ensayo CBR se determinan los siguientes parámetros:

- Determinación de la densidad y humedad.
- Determinación de las propiedades expansivas del material.
- Determinación de la resistencia a la penetración.

En los ensayos debemos tener en cuenta si los CBR para 0,1" y 0,2" son semejantes, se recomienda usar en los cálculos, el CBR correspondiente a 0,2".

Tabla 3.8 Características de los suelos según CBR.

CBR	Clasificación General	Usos	Sistema de clasificación	
			Unificado	AASHTO
0 - 3	Muy pobre	Subrasante	OH, CH, MH, OL	A5, A6, A7
3 - 7	Muy pobre a regular	Subrasante	OH, CH, MH, OL	A4, A5, A6, A7
7 - 20	Regular	Subbase	OL, CL, ML, SC, SM, SP	A2, A4, A6, A7,
20 - 50	Bueno	Subbase y base	GM, GC, SW, SM, SP, GP	A-1b, A2-5, A-3, A2-6
> 50	Excelente	Base	GW, GM	A1a, A2-4, A-3

3.3 Ensayos químicos

Los ensayos químicos permitirán medir la concentración de ciertos elementos antes y después de aditivar el suelo y de esta manera verificar si alguna propiedad ha sido alterada.

Se realizaron los siguientes ensayos:

3.3.1 Sulfatos

Los sulfatos son sales del ácido sulfúrico (H_2SO_4) y su presencia se detecta mediante la identificación en el suelo del radical SO_3 o trióxido de azufre. La presencia de sulfatos en el suelo es muy común pero al ser compuestos de solubilidad relativamente alta, su acumulación efectiva sólo puede producirse bajo condiciones muy determinadas: abundancia de sulfatos en el entorno inmediato, y clima árido o semiárido. La presencia de sales de sulfato solubles puede dar problemas cuando los suelos son estabilizados con cualquier aditivo a base de calcio (por ejemplo: cal, cemento portland, ceniza volante). Los sulfatos en el suelo se combinan con el calcio y alúmina de la arcilla, y con el agua,

formando los minerales etringita y taumasita en una reacción sumamente expansiva. La formación de estos minerales después de la compactación puede causar deterioro significativo del pavimento y pérdida de resistencia; en estos casos vale más renunciar a la estabilización y rechazar estos suelos como material para construcción. Sin embargo es posible la estabilización dentro de ciertos límites, para la cual es necesario realizar ciertos ensayos para averiguar que tan posible es. Por ejemplo: Las concentraciones de sulfato en el suelo menores que 3.000 ppm (0,3 por ciento) difícilmente causen problemas. Las concentraciones de 3.000 a 5.000 ppm (0,5 por ciento) pueden ser estabilizadas fácilmente si se tiene cuidado para seguir buenas prácticas constructivas, tales como la utilización de mucha agua y permitiendo un tiempo amplio para que la mezcla de cal y la fragua del suelo.

3.3.3 Sales solubles totales

Químicamente una sal es un compuesto que contiene un catión diferente de H^+ , y un anión diferente del ión hidróxido, OH^- , las sales en su mayoría son compuestos iónicos.

Es importante establecer la composición de las sales solubles totales; es decir la cantidad real de cada una de las especies iónicas en las sales del suelo. Se analizan los aniones y cationes disponibles. La determinación de los cationes solubles proporciona una determinación precisa del contenido total de sales; así como también de otras propiedades importantes como la conductividad eléctrica. Las cantidades totales disueltas de algunos iones aumentan al aumentar el contenido de humedad, pudiendo disminuir en otros; esto es porque se presentan ciertos procesos responsables de los cambios en las cantidades totales y relativas de los iones solubles; como reacciones de intercambio catiónico.

En los suelos las sales solubles son transportadas por el agua; esto, aunque obvio, es importante para controlar la salinidad; así, la concentración de sales solubles en el suelo será mayor a medida que se vaya eliminando el agua por evaporación; esto es a medida que se produce la desecación del suelo por transpiración y evaporación se crea un gradiente de succión que producirá un movimiento ascendente notable de agua y sales.

El contenido de sales y la conductividad eléctrica están ligados entre si ya que se puede obtener una estimación del contenido de sales mediante la medición de la conductividad eléctrica. Por ejemplo: El agua pura es un mal conductor de corriente eléctrica, por el contrario; el agua con sales disueltas conduce la corriente en proporción a las concentraciones presentes de estas sales. Cuando las concentraciones de sales son altas se disturban las propiedades físico-químicas del suelo.

3.3.4 Conductividad eléctrica

De manera general, se define como la capacidad que tiene un medio de conducir la corriente eléctrica (que se puede definir para nuestros fines como el movimiento de los iones a través de una disolución, es decir que se produce por el transporte de electrones entre los electrodos realizado por los iones, que son los portadores de cargas presentes); el medio por lo general contendrá sales inorgánicas en solución para poder conducir la corriente eléctrica; de lo contrario ésta será despreciable; entre mayor sea la cantidad de sales disueltas, mayor será la conductividad. La cantidad conducida dependerá del número de iones presentes y de su movilidad; es decir con la cantidad de electrolitos disueltos. Permite establecer si se trata del mismo producto.

Cuando se habla de la conductividad eléctrica de un suelo; es porque se toma de referencia la conductividad eléctrica de su extracto de saturación, pues la conductividad eléctrica como tal, se determina en un medio líquido; es decir, que la conductividad eléctrica de un suelo no es más que la conductividad eléctrica del líquido intersticial del suelo (cualquier solución presente en el suelo; pudiendo ser, para este caso en concreto, agua más soluto, disueltos en el espacio intersticial del suelo). Es importante saber que para determinarla es necesario agregarle más agua, lo que contribuye a diluir el contenido de sales de la solución intersticial, por lo tanto rebaja la conductividad inicial.

En resumen; podemos decir que la conductividad eléctrica dependerá del número de poros llenos de líquido, también del contenido de humedad del suelo, así como del contenido de sales disueltas en dicha humedad; adicionalmente se puede decir que aumenta al aumentar la temperatura, esto se debe a la mayor movilidad iónica. La conductividad también depende de otros factores secundarios como: la temperatura, tipo de suelo, cantidad y clase de arcillas, etc.

Las tablas 3.9 y 3.10 muestran las relaciones entre la conductividad eléctrica y el grado de salinidad del suelo.

Tabla 3.9. Valores de conductividad eléctrica

Cuadro de conductividad eléctrica	
mS*/cm	Interpretación
< 0,15	Muy bajo
0,15 - 0,40	Bajo
0,40 - 0,80	Medio
0,80 - 2,00	Alto
> 2,00	Muy alto

*Equivalencias = 1 mS/cm = 1dS/m = 1000 (S/cm = 1 mmho/cm)

Tabla 3.10. Clasificación de la salinidad del suelo.

Tipo de suelo	Salinidad	C.E. (mS/cm)
Normales	Muy ligera	0 - 2
	Ligera	2 - 4
Salinos	Media	4 - 8
	Fuerte	8 - 16
	Muy Fuerte	> 16

* Equivalencias: S/cm, mS/cm = dS/m ó el $\mu\text{S/cm} = 0,001\text{dS/m}$

3.3.5 pH (Potencial de hidrógeno):

Es un parámetro físico de concentración de iones o cationes hidrógeno H^+ en el suelo, expresado en términos logarítmicos $\text{pH} = -\log_{10} [\text{H}^+]$, propio de soluciones iónicas acuosas.

Los valores de pH se reducen a medida que la concentración de iones hidrógeno aumentan, variando en el rango de 0 - 14; de esta forma, generalmente los valores inferiores al 7 serán ácidos, los superiores serán alcalinos o básicos y los valores iguales a 7 serán neutros. Dicho de otra manera, las sustancias capaces de liberar iones hidrógeno (H^+) son ácidas y las capaces de ceder grupos hidroxilo (OH^-) son básicas o alcalinas. Para cada unidad de cambio en pH hay un cambio 10 veces en magnitud en la acidez o alcalinidad. En el siguiente cuadro se muestra los distintos tipos de suelos según los valores del pH:

Tabla 3.11. Clasificación del suelo según el pH

Suelos Neutros	Suelos ácidos		Suelos Alcalinos	
pH		pH		pH
6,8 - 7,2	Suelos ligeramente ácidos	6,5 - 6,8	Suelos ligeramente alcalinos	7,2 - 7,5
	Suelos ácidos	5,5 - 6,5	Suelos alcalinos	7,5 - 8,5
	Suelos muy ácidos	4,5 - 5,5	Suelos muy alcalinos	8,5 - 9,5
	Suelos extremadamente ácidos	< 4,5	Suelos extremadamente alcalinos	> 9,5

El pH del suelo depende de los minerales presentes en él, de las propiedades de sus agregados y en especial del intercambio iónico; pH altos son indicadores de sales solubles, es decir representan a ambientes salinos (mayormente se da en regiones con alta frecuencia de precipitaciones pluviales), el caso contrario es decir de alcalinidad, se da en regiones áridas por la poca presencia de agua, la variación de pH modifica el grado de solubilidad de los minerales. Una acidez extrema del suelo, esta asociada con una disminución de sales minerales y en consecuencia hay un decrecimiento de la conductividad eléctrica; por el contrario, los suelos básicos poseen un valor de conductividad alta. Podrá juzgarse la aptitud de un suelo para ser estabilizado midiendo la intensidad de la acidez de una solución del suelo en agua; si el suelo presenta una naturaleza ácida cualquiera sea la causa ésta siempre será desfavorable para la estabilidad, por ejemplo un pH menor que 6 indica un suelo demasiado ácido para estabilizar.

Capítulo 4

Estabilización de suelos con Perma-Zyme 22X Análisis de laboratorio

4.1 Perma-Zyme 22X

Este producto está basado en la tecnología de fermentación de enzimas orgánicas y es usado para estabilizar suelos plásticos-arcillosos mejorando los procesos de homogeneización y compactación de suelos. Sus enzimas actúan como catalizadores por sus cationes orgánicos, los cuales rompen los enlaces de los aniones ionizados del suelo, luego se produce un intercambio catiónico en la estructura de la arcilla y se crea un proceso de cementación acelerado por el efecto enzimático del producto.

Las moléculas de las enzimas al interactuar con las partículas del suelo incrementan el proceso humectante del agua, provocando, acelerando y mejorando la acción aglutinante

sobre los materiales finos plásticos-arcillosos, disminuyendo la relación de vacíos entre las partículas del suelo; así la unión entre éstas se fortalece, además ayuda a que las mismas partículas del terreno puedan ser más densamente compactadas, pudiendo aumentar así su resistencia a compresión.

La acción cohesiva en este proceso, debería producir una fuerte actividad cementante es decir, las partículas deberían fusionarse fuertemente unas con otras, por la cual se lograría un estrato más resistente a las inclemencias del tiempo, al desgaste y a la penetración del agua, con lo cual se logra suelos más resistentes y permanentes, aumentando y manteniendo su estabilidad.

En el mismo proceso se reduce la permeabilidad y la plasticidad de los suelos, se elimina el agua e incrementa los límites de solidez entre las partículas cohesivas. Este intercambio de límites ayuda a estabilizar los suelos y reducir el daño y deformación que generalmente se produce como resultado de determinadas condiciones de humedad de los suelos.

Se lograría reducir el límite líquido y el índice de plasticidad de los suelos tratados, disminuyendo además el potencial de hinchamiento o expansión.

4.1.1 Especificaciones técnicas del producto

En este documento se definen las exigencias y los procedimientos que deben ser empleados y aplicados en este trabajo de investigación para el correcto uso del producto¹.

- **Tecnología:** Sistema enzimático.
- **Efecto en la estructura mineral de la arcilla:** Reduce la plasticidad y permeabilidad. Incrementa la densidad y razón soporte (CBR).
- **Características y comportamiento:** Reacciones e intercambio iónico, electroquímico con las partículas de arcilla. Reducción de la tensión superficial.
Degradación enzimática del material orgánico en el suelo.
- **Naturaleza:** Tecnología de fermentación de vegetales. Líquido.
- **Rango:** Amplio rango de suelos naturales incluyendo materiales con alto contenido arcillosos cohesivo.
- **Aplicación:** Los requerimientos de aplicación son mínimos, es de fácil aplicación. Construcción económica. Aplicación manual, basada en una buena mezcla de suelo, suficiente dilución en agua del producto y una adecuada compactación. Moderado índice plástico (menor a 20). El suelo puede contener material orgánico.

¹ Perma – Zyme 22X es distribuido por NEGOLIMA S.A. Lima – Perú.

- **Rendimiento:** Un bidón de 20 L rinde para 660 m^3 , con un largo de 1100 m, ancho de 4 m, y espesor de 15 cm.
Rinde 1 L para 220 m^2 ó 1 L para 33 m^3 .
- **Vencimiento:** 48 meses, contados desde la fecha de su fabricación.
- **Medio ambiente:** Ecológico. No tóxico, biodegradable.
- **Propiedades a 25° C:** Considerando la temperatura ambiente.
 - pH: 4 - 9
 - Gravedad específica: 1,0 - 1,10
 - Color: Marrón claro
 - Viscosidad, CPS: 20
 - Olor: Inodoro
- **Test de laboratorio y evaluación:** Análisis usuales durante la preconstrucción.
 - Granulometría del suelo
 - Límite líquido e índice de plasticidad
 - pH
 - Humedad natural
 - Ensayo Proctor
 - CBR y medidas de densidad en carreteras tratadas, para establecer el incremento de compactación con respecto al tiempo. Las condiciones en el campo se simulan en el laboratorio.

4.1.2 Especificaciones del producto para los ensayos

Se debe considerar que el suelo con el que se trabaja debe cumplir ciertos requisitos:

- **Granulometría:** El producto cataliza las reacciones con finos cohesivos. Los finos pasan la malla N° 200 y deben de constituir por lo menos el 15% del material de construcción. La arcilla cohesiva deberá estar presente un 6% como mínimo.

- **Plasticidad (límites de Atterberg).** Suelos ideales tratados con el producto deberán tener un límite líquido menor con 30% e índice plástico entre 5% a 18%.
- **pH:** Un suelo con pH de 4,5-9,5 es el mejor. Suelos con pH bajos pueden tratarse con carbonato de calcio (cal). Suelos con pH altos se podrán tratar con sulfato de sodio, sulfato de sodio, sulfato de magnesio.
- Los siguientes ensayos también se utilizarán:
 - **California Bearing Ratio (CBR):** El ensayo mide la resistencia del suelo a la carga. Para éstas pruebas se dejan secar las muestras después de compactadas un máximo de 72 horas permitiendo reaccionar al suelo, posteriormente se colocan en la poza de agua y se sumergen 96 horas, transcurrido este período de tiempo se procede a medir la expansión y se someten las probetas al ensayo de carga. El número más alto se toma como la capacidad más alta para el soporte de carga del suelo.
 - **Absorción por capilaridad:** Se reduce la penetración del agua debido al tratamiento con éste producto. En suelos tratados se esperan reducciones de más del 50%, con respecto a los no tratados.

4.1.3 Ventajas que se obtendrían al aplicar el producto

- Alto rendimiento y bajo costo: Se puede obtener caminos de tierra con bajo costo de mantenimiento, de extensa vida útil y en las más variadas condiciones climatológicas.
- Reduce problemas generales de trabajo y mantenimientos de caminos: Al disminuir la penetración de agua, aumenta la estabilidad del suelo. De esta manera se reducirían los efectos de las ondulaciones, encalaminado y baches, dando como resultado mayor tiempo de vida útil y menor costo de mantenimiento.
- Se puede usar material de menor calidad, lo que reduce la necesidad de importar material costoso: Usa más material del propio suelo.
- Aumenta la resistencia de la compresión: Como catalizador orgánico, éste debería fortalecer la unión del material, así esta tendría mayor densidad, mayor cohesión y mayor estabilidad; con el mejoramiento de estas propiedades la resistencia a la compresión también debería aumentar.
- Mejora la capacidad del camino de soportar carga: Aumenta la capacidad para soportar carga. Esto extiende la vida útil del camino.
- Reduce el esfuerzo de compactación y hace más fácil trabajar el suelo: El producto debe de aumentar la lubricación de las partículas del suelo. Hace

el suelo más fácil de nivelar y permitiría obtener la densidad deseada con menos pasadas del compactador.

- **Aumenta la densidad del suelo:** Cambiando la atracción electroquímica en las partículas del suelo y liberando el agua retenida, el producto debería ser capaz de disminuir los vacíos existentes entre las partículas del suelo. Se produce así una fundación del camino más firme, seca, densa y con menos polvo.
- **Disminuye la permeabilidad del agua:** Después de la aplicación del producto, se debería obtener una configuración del suelo más cohesiva, de modo tal que inhiba el escurrimiento y la migración del agua que se suele producir a través de los vacíos que existen entre las partículas del suelo.
- **Climas:** Deberá reaccionar de modo efectivo a los cambios bruscos de temperatura y en zonas lluviosas en las alturas y a la acción de las heladas.

4.1.4 Proceso químico del estabilizador con la arcilla

1. Sistema típico de arcilla-agua, los cationes cargados positivamente se sitúan alrededor de la lámina de arcilla cargados negativamente (Figura 4.1).

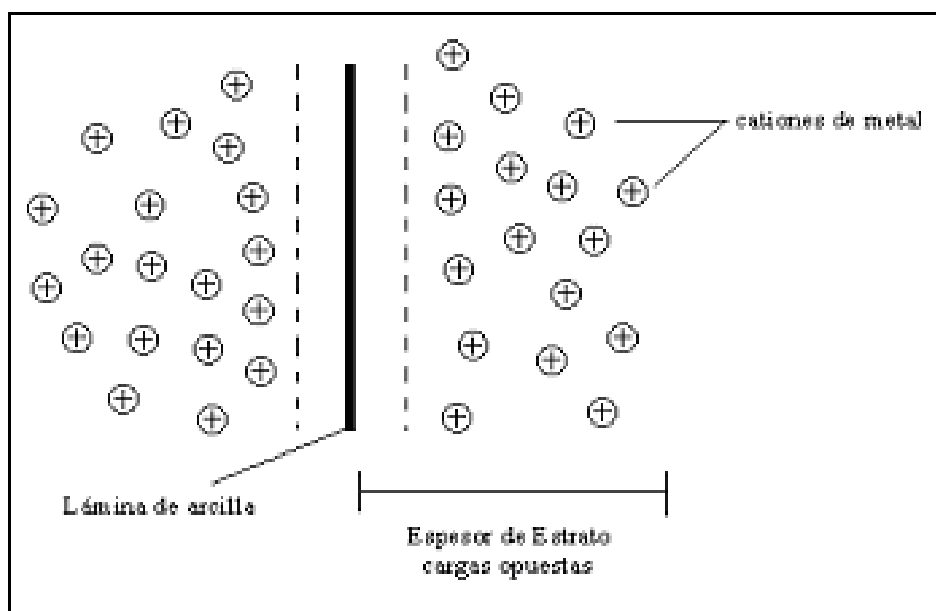


Figura 4.1. Proceso químico del estabilizador con la arcilla.

2. Reducción de ambos estratos alrededor de lámina de arcilla cuando los cationes de sodio Na^+ son reemplazados por los cationes de Calcio Ca^{2+} (figura 4.2).

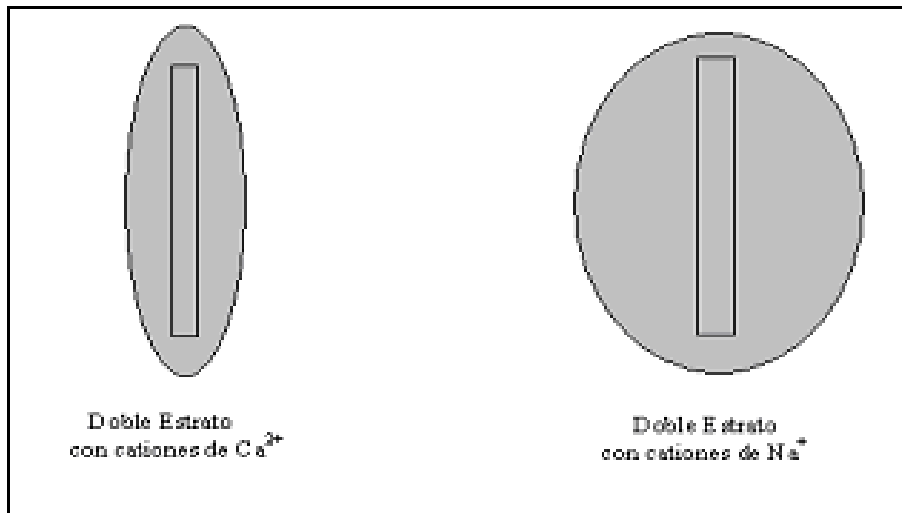


Figura 4.2 Proceso químico del estabilizador con la arcilla

3. La lámina de arcilla se cubre con cationes orgánicos reduciendo el espesor del estrato por las cargas opuestas. (figura 4.3 y figura 4.4).

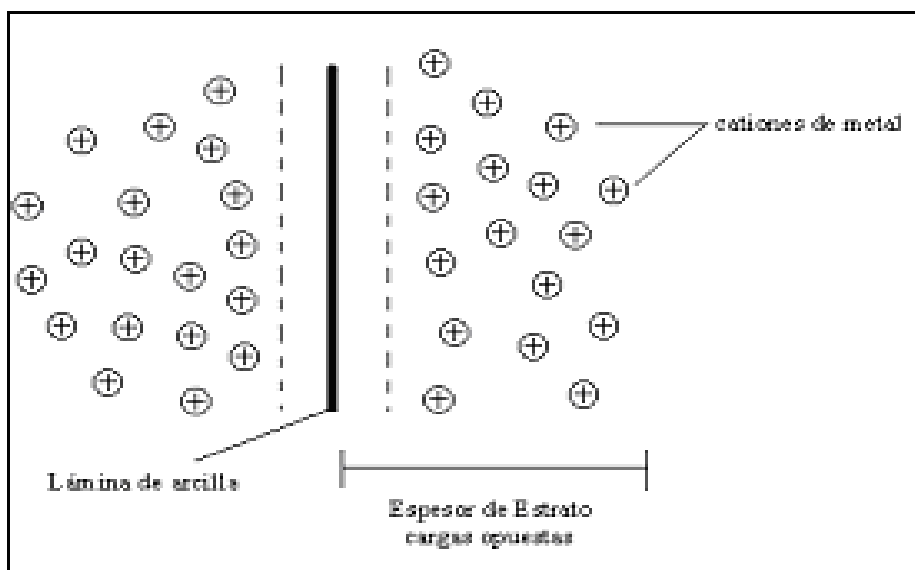


Figura 4.3 Proceso químico del estabilizador con la arcilla

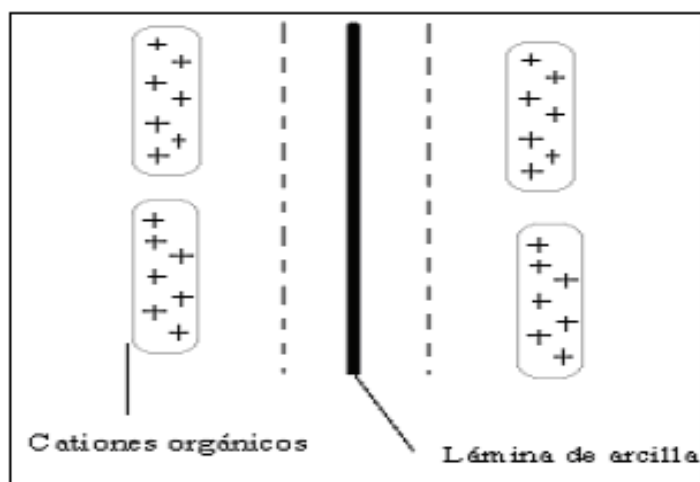


Figura 4.4 Proceso químico del estabilizador con la arcilla

4.2 Selección del suelo a ensayar

En la correcta selección del suelo existen dos tipos de análisis: físicos y químicos. Para esta investigación el suelo a utilizar debería cumplir con ciertos parámetros dados por las especificaciones técnicas del producto.

4.2.1 Parámetros necesarios del suelo para el uso del producto

Los siguientes parámetros se describen en la ficha técnica del producto y son datos importantes pues la variabilidad de la graduación del suelo, plasticidad, química así como la cantidad de agua influyen en su mecanismo y en los resultados de la estabilización.

El suelo ideal para la construcción es aquel en el que considera el rango de 3/4" grava hasta finos que pasan la malla N° 200. Esta mezcla provee la máxima capacidad de soporte de carga y minimiza los espacios vacíos. Los materiales in situ no presentan en la mayoría de los casos una graduación ideal, para estos suelos la aplicación de un producto estabilizador será necesaria si es que puede aminorar los costos.

Los suelos en los cuales se podría hacer uso de este producto serían:

- Suelos en los cuales el porcentaje de arcilla sería 18% como mínimo y 35% como máximo, que pase la malla N° 200, según la clasificación SUCS: GM, GC, SW, SP, SM, SC, ML, CL.

Los suelos en los que el producto no se puede aplicar son los siguientes:

- En arena limpia con partículas inertes y que contenga alto porcentaje de vacíos.
- En sitios con alto contenido de finos donde el perfil de graduación muestre que las partículas pasan la malla N° 200, se observa ausencia de arena, que

contenga poca arcilla y/o alto porcentaje de limos. Según clasificación SUCS: OH, CH, PT, OL.

4.2.2 Características del suelo escogido:

Se trabajó con una mezcla de suelos para cumplir con los requerimientos, se logró la mezcla adecuada de suelos que dio como resultado un suelo de clasificación CL (SUCS).

- Suelo 1: Arcilla

Cantera de extracción: Parque Kurt Beer.

Características de la arcilla: Estas pertenecen al grupo de arcillas del tipo illita. Es una arcilla no expansiva, micácea. Este tipo de arcillas presentan una considerable sustitución iónica y su capacidad de cambio catiónico es mediana.

Descripción de la muestra: Presenta 70% de finos arcillosos, 30% de arena fina. Muestra de color gris claro.

- Clasificación AASHTO: A-6 Tipo de suelos compuestos por arcillas con moderada o despreciable cantidad de material grueso. Suelo de muy baja permeabilidad, de deficiente elasticidad. Presenta altos cambios de volumen. Este suelo puede ser clasificado como suelo medianamente apto para su utilización como subrasante, pueden llegar al punto de ser inadecuadas y requerir una capa subbase o una mayor capa de base.
- Límite Líquido LL: 34. Un límite líquido mayor o igual a 40 es considerado como crítico; el valor obtenido para ésta arcilla es muy cercano a ésta descripción.
- Límite Plástico LP: 15
- Índice Plástico IP: 19. Del mismo modo que lo escrito para el límite líquido; un índice plástico igual o por encima del valor de 10 es considerado crítico. El suelo estudiado es inestable.

- Suelo 2: Afirmado

Cantera de extracción: Cantera La Ramsa

Tipo de Material: Éste material ésta compuesto por fosfatos y yesos; es del tipo de las cuarcitas metamórficas bien antiguas planares, posee micas. Éste tipo de suelo no posee plasticidad, es un suelo de mezcla predominantemente calcáreo, es decir inhibe la acción de la montmorillonita.

Descripción de la muestra: Presenta 58% de grava sub redondeada de tamaño 1 ½". Muestra de color amarillento. La parte fina del afirmado está formado por

limo poco arcilloso, sustrato que se nota ha sido formado luego de presentar un proceso de oxidación.

- Clasificación AASHTO: A-1-a
- Límite líquido LL: 23
- Límite plástico L P: 17
- Índice plástico IP: 6
- **Suelo final: Mezcla: 75 % de afirmado de cantera La Ramsa más 25% de arcilla de la cantera Parque Kart beer**

Tipo de material: Para cumplir con las solicitudes técnicas para la aplicación del producto se logró la mezcla en un porcentaje de 75% afirmado más 25% de arcilla.

Descripción de la muestra: La descripción del suelo final es la siguiente.

- **Clasificación AASHTO: A-2-6**
- **Clasificación SUCS: CL**
- **Límite Líquido LL: 30**
- **Límite Plástico LP: 14**
- **Índice Plástico IP: 16**

De tal manera que se aseguró las características necesarias para la utilización del producto.

4.3 Diseño del experimento

En el diseño del experimento se consideró realizar diversas recopilaciones de información para la obtención de un análisis objetivo con respecto al problema planteado².

4.3.1 Número de pruebas a realizar y confiabilidad del experimento.

Para calcular el número de pruebas y su nivel de confiabilidad se tomaron los siguientes criterios:

- El número de pruebas a realizar se planteó sin un análisis estadístico pues el tipo de pruebas a realizarse como el CBR, límites de Atterberg, absorción por

² Para el diseño del experimento se consultó la opinión del ingeniero César Angulo Bustíos (Catedrático del curso de estadística de la Universidad de Piura)

capilaridad, no son constantes para un suelo dado, sino que se aplican al estado en el cual se encuentra el suelo durante el ensayo, son pruebas que tienen base empírica y dependen entre otras cosas, de la experiencia del operador que las realiza. Por tanto el número de pruebas a realizar dependerán de los resultados que se vayan obteniendo y de la coherencia y precisión entre ellas; que nos permitan deducir un resultado objetivo.

- Este tipo de investigación requirió de diferentes tipos de muestras, que fueron necesarias de estudiar, razón por la cual se trato de abarcar todas las situaciones posibles dentro de un rango aceptable de pruebas. Por ejemplo: Primero se obtuvo una muestra general (que fue obtenida a partir de la mezcla de dos suelos obtenidos en canteras) del tipo de suelo CL; de esta muestra general se extrajeron todas las muestras que a continuación detallamos:
 - Fracción gruesa y fracción fina; que fue la primera clasificación (más adelante describimos cada una de ellas, para un mayor entendimiento), en cada una de estas muestras se hizo una investigación de cómo reaccionaba el suelo con aditivo y sin aditivo.
 - Tanto la fracción fina como la fracción gruesa se dividieron en las siguientes muestras:
 - a) Muestra sin aditivo.
 - b) Muestra equivalente a 1 L de aditivo por 30 m³ de material.
 - c) Muestra equivalente a 0,9 L de aditivo por 30 m³ de material.
 - d) Muestra equivalente a 1,1 L de aditivo por 30 m³ de material.
 - e) Muestra equivalente a 1,5 L de aditivo por 30 m³ de material.
 - Posteriormente, cada una de las muestras con aditivo fueron divididas según criterio de la tesista, según el ensayo CBR a realizar y según las características de la acción del aditivo en:
 - a) Muestras cuya prueba CBR fue según la norma NTP 339.145.
 - b) Muestras con 1 día de secado antes de colocarlas en la poza de agua durante la prueba CBR.
 - c) Muestras con 3 días de secado antes de colocarlas en la poza de agua durante la prueba CBR.
 - Por la forma en que fueron clasificadas las muestras se puede decir que aportan garantías suficientes para realizar inferencias fiables a partir de ellas. Además, todas las situaciones descritas eran necesarias de estudiar, pues abarcaban situaciones posibles.

- Una razón muy importante para conseguir un resultado coherente a través de un número mínimo pero necesario y suficiente de pruebas, es el costo tanto en tiempo como en recursos que se necesita. Por tanto se desarrolla una organización óptima que contemple este menor número de pruebas que lleve a los resultados buscados.

El proceso para realizar esta tesis ha sido largo; las primeras pruebas que se realizaron fueron en el semestre II del año 2008; los resultados obtenidos en esas pruebas que duraron 5 meses (agosto-diciembre) fueron desechados finalmente por errores producidos en el laboratorio. A raíz de esta situación se retomó el trabajo y las pruebas de laboratorio al siguiente año (2009); en este siguiente período de pruebas (agosto – diciembre) se logró organizar las pruebas de tal modo que abarcaran un número mayor de ellas para las distintas situaciones planteadas (como se verificará más adelante); a la vez también se logró realizar otros tipos de ensayos que no se habían tomado en cuenta en el estudio anterior (absorción por capilaridad y límites de consistencia). Para organizar este nuevo período de pruebas dentro de un plazo de tiempo aceptable y dentro de un presupuesto ajustado, se requirió la ayuda de un técnico ajeno a la universidad que trabajara únicamente con la tesista y en el trabajo encomendado; con el permiso adecuado del jefe de laboratorio. En los días que se trabajaba, se realizaban distintas pruebas de forma paralela, dependiendo del progreso de cada etapa de una prueba, y trabajando hasta 12 horas seguidas en varias ocasiones. Las pruebas mecánicas y químicas se hicieron paralelamente, por cuestiones de tiempo.

La confiabilidad de los resultados será producto de considerar:

- A partir del resultado general de las pruebas, cuyo número se considerará el necesario para obtener una conclusión general coherente y verdadera. Este número depende del costo en tiempo y en recursos como se explica en el párrafo anterior y teniendo en cuenta además las diferentes situaciones a considerar para el uso del aditivo, también explicado en párrafos anteriores.

El número de ensayos realizados toma como referencia el número de frecuencia dada en las especificaciones técnicas para los diferentes tipos de ensayo. El número fue de 3 muestras para comparar en cada situación de muestreo.

Cabe señalar que las Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras (EG-2000), siguen el mismo criterio de costo y tiempo; consideran un número de ensayos razonable, según el material y la característica a medir, (Capítulo 3, Sección 308, tabla N° 308-1: Ensayos y frecuencias).

- Los ensayos se realizaron siguiendo las normas técnicas peruanas correspondientes.

- Los ensayos realizados se hacen con la ayuda de técnicos con años de experiencia en el Laboratorio de Ensayo de Materiales de Construcción (LEMAC).

4.4 Ensayos de dosificación del agente estabilizador

La aplicación de la sustancia química se efectuó mediante dispositivos capaces de liberar las cantidades prefijadas del producto.

4.4.1 Porcentajes de adición del estabilizante

Se dosifica a razón de 1 litro cada 30 metros cúbicos de material compactado mezclado con el agua necesaria para obtener la humedad óptima para compactar.

- **Adición del estabilizante:** Se realizó la dilución del aditivo en una solución patrón pues las cantidades a tomar del aditivo para los ensayos eran relativamente pequeñas.

Se probó dos clases de mezclas para efectos de atender todas las probabilidades posibles:

1. *Mezcla normal o fracción gruesa:* Es la mezcla del 75% en peso de afirmado más el 25% en peso de la arcilla.
2. *Material que pasa la malla N° 4 o fracción fina:* Es el material que se obtiene al tamizar la mezcla normal por la malla N° 4.

En la primera muestra, se tomó el material en su totalidad, la fracción gruesa más la fracción fina mezclándolas con la cantidad de agua con aditivo según el ensayo próctor y especificaciones técnicas. Se realizaron varios ensayos con esta muestra a fin de hallar algún posible cambio en cuanto a las propiedades que se investigan: razón soporte (CBR), permeabilidad, hinchamiento.

En la muestra siguiente, se trabajó con la fracción fina (pasa la malla N° 4), que es aquella que le proporciona al suelo las características de inestabilidad.

El aditivo fue probado en distintos rangos de proporción: la dosificación según las especificaciones técnicas es de 1 L de *Perma – Zyme 22X* por 30 m³ de material; luego se trabajó de la siguiente forma:

- Muestras sin aditivo, para tener las características del suelo sin ningún agente químico actuando y así tener las verdaderas propiedades del suelo.
- Muestra equivalente a 1 L de aditivo por 30 m³ de material.
- Muestra equivalente a 0,9 L de aditivo por 30 m³ de material.
- Muestra equivalente a 1,1 L de aditivo por 30 m³ de material.

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

Normalmente la diferencia entre los rangos es del 5% con respecto a la dosificación dada en las especificaciones técnicas del producto (1 L de aditivo por 30 m³ de material), pero en este caso se decidió por un rango más amplio con el fin de que las variaciones de las propiedades se pudieran observar con mayor facilidad.

4.4.2.-Características y cálculo de las muestras con y sin aditivo del suelo

Ya se describieron los tipos de muestras a los que se les aditivará el producto en distintos rangos de cantidad de éste.

a) Mezcla 1: Mezcla Normal. Es decir 75% del peso total con el que se va a trabajar debe ser el afirmado y el 25% será de la arcilla.

- Cálculo empleando 30 m³ de suelo:
 Densidad máxima seca = 2,17 kg /cm³
 Porcentaje de humedad óptima = 8%

$$\begin{array}{rcl} 1 \text{ m}^3 \text{ suelo compactado} & \text{-----} & 2 \text{ 170 kg suelo suelto} \\ x & \text{-----} & 18 \text{ kg suelo suelto} \\ x = 8,2949 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \text{ de suelo compactado.} \end{array}$$

Con esta cantidad de suelo compactado se hallará la cantidad necesaria de aditivo necesario para cada porcentaje trabajado.

Se trabaja haciendo equivalencias, pues es la forma en la que se conocerá la cantidad exacta de aditivo.

a.1) 1 L de aditivo por 30 m³ de material: Esta es la cantidad de aditivo que es aconsejada por las especificaciones técnicas del producto.

Se trabaja haciendo equivalencias, pues la cantidad de aditivo es mínima.

$$\begin{array}{rcl} 30 \text{ m}^3 \text{ suelo compactado} & \text{-----} & 1000 \text{ ml aditivo} \\ 8,2949 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \text{ suelo compactado} & \text{-----} & x \\ x = 0,2765 \text{ ml de aditivo} \end{array}$$

0,2765 ml es la cantidad de aditivo para un total de 18 kg de suelo para el ensayo CBR.

$$\begin{array}{rcl} 7,3 \text{ ml aditivo} & \text{-----} & 1000 \text{ ml solución} \\ 0,2765 \text{ ml} & \text{-----} & x \\ x = 37,88 \text{ ml de solución} \end{array}$$

Es decir 37,88 ml de solución en la cantidad de agua según el ensayo próctor.

a.2) 0,9 L de aditivo por 30 m³ de material: Es decir a la cantidad descrita en las especificaciones técnicas se le reducirá un 10% del aditivo para ver los efectos.

$$\begin{array}{rcl} 30 \text{ m}^3 \text{ suelo compactado} & \text{-----} & 900 \text{ ml aditivo} \\ 8,2949 \times 10^{-3} \text{ m}^3 & \text{-----} & x \\ x = 0,2488 \text{ ml de aditivo} \end{array}$$

0,2488 ml es la cantidad de aditivo para un total de 18 kg de suelo para el ensayo CBR.

$$\begin{array}{rcl} 7,3 \text{ ml aditivo} & \text{-----} & 1000 \text{ ml solución} \\ 0,2488 \text{ ml} & \text{-----} & x \\ x = 34,08 \text{ ml de solución} \end{array}$$

Es decir 34,08 ml de solución en la cantidad de agua según el ensayo próctor.

a.3) 1,1 L de aditivo por 30 m³ de material: Acá se le está sumando un 10% adicional a la cantidad requerida del producto, para efectos de la investigación.

$$\begin{array}{rcl} 30 \text{ m}^3 \text{ suelo compactado} & \text{-----} & 1100 \text{ ml aditivo} \\ 8,2949 \times 10^{-3} \text{ m}^3 & \text{-----} & x \\ x = 0,3041 \text{ ml de aditivo} \end{array}$$

0,3041 ml es la cantidad de aditivo para un total de 18 kg de suelo para el ensayo CBR.

$$\begin{array}{rcl} 7,3 \text{ ml aditivo} & \text{-----} & 1000 \text{ ml solución} \\ 0,3041 \text{ ml} & \text{-----} & x \\ x = 41,66 \text{ ml de solución} \end{array}$$

Es decir 41,66 ml de solución en la cantidad de agua según el ensayo próctor.

a.4) 1,5 L de aditivo por 30 m³ de material: Se le consideró un adicional del 50% de la cantidad especificada para poder realizar una investigación más minuciosa y realizar comparaciones entre las respuestas a las pruebas con distintas cantidades de aditivo.

$$\begin{array}{rcl} 30 \text{ m}^3 \text{ suelo compactado} & \text{-----} & 1500 \text{ ml aditivo} \\ 8,2949 \times 10^{-3} \text{ m}^3 & \text{-----} & x \\ x = 0,4147 \text{ ml de aditivo} \end{array}$$

0,4147 ml es la cantidad de aditivo para un total de 18 kg de suelo para el ensayo CBR.

$$\begin{array}{rcl} 7,7 \text{ ml aditivo} & \text{-----} & 1000 \text{ ml solución} \\ 0,4147 \text{ ml} & \text{-----} & x \\ x = 56,81 \text{ ml de solución} \end{array}$$

Es decir 56,81 ml de solución en la cantidad de agua según el ensayo próctor.

b) Mezcla 2: Material que pasa malla N° 4: Esta mezcla se consiguió del tamizado de la mezcla del 75% de afirmado más el 25% de la arcilla.

Densidad máxima seca = 1,99 kg /cm³
Porcentaje de humedad óptima =12%

$$\begin{array}{rcl} 1 \text{ m}^3 \text{ suelo compactado} & \text{-----} & 1990 \text{ kg suelo suelto} \\ x & \text{-----} & 18 \text{ kg Suelo suelto} \\ x = 9,0452 \text{ m}^3 & & \text{de suelo compactado} \end{array}$$

Con esta cantidad de suelo compactado se hallará la cantidad necesaria de aditivo necesario para cada porcentaje trabajado.

b.1) 1 L de aditivo por 30 m³ de material: Cantidad de aditivo que es aconsejada por las especificaciones técnicas del producto.

$$\begin{array}{rcl} 30 \text{ m}^3 \text{ suelo compactado} & \text{-----} & 1000 \text{ ml aditivo} \\ 9,0452 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \text{ suelo compactado} & \text{-----} & x \\ x = 0,3015 \text{ ml de aditivo} \end{array}$$

0,3015 ml es la cantidad de aditivo para un total de 18 kg de suelo para el ensayo CBR.

$$\begin{array}{rcl} 7,3 \text{ ml aditivo} & \text{-----} & 1000 \text{ ml solución} \\ 0,3015 \text{ ml} & \text{-----} & x \\ x = 41,30 \text{ ml de solución} \end{array}$$

Es decir 41,30 ml de solución en la cantidad de agua según el ensayo Proctor.

b.2) 0,9 L de aditivo por 30 m³ de material: Es decir a la cantidad descrita en las especificaciones técnicas se le reducirá un 10% del aditivo para ver los efectos.

$$\begin{array}{rcl} 30 \text{ m}^3 \text{ suelo compactado} & \text{-----} & 900 \text{ ml aditivo} \\ 9,0452 \times 10^{-3} \text{ m}^3 & \text{-----} & x \\ x = 0,2714 \text{ ml de aditivo} \end{array}$$

0,2714 ml es la cantidad de aditivo para un total de 18 kg de suelo para el ensayo CBR.

$$\begin{array}{rcl} 7,3 \text{ ml aditivo} & \text{-----} & 1000 \text{ ml solución} \\ 0,2714 \text{ ml} & \text{-----} & x \\ x = 37,17 \text{ ml de solución} \end{array}$$

Es decir 37,17 ml de solución en la cantidad de agua según el ensayo Proctor.

b.3) 1,1 L de aditivo por 30 m³ de material: Acá se le está sumando un 10% adicional a la cantidad requerida del producto, para efectos de la investigación.

$$\begin{array}{rcl} 30 \text{ m}^3 \text{ suelo compactado} & \text{-----} & 1100 \text{ ml aditivo} \\ 9,0452 \text{ m}^3 & \text{-----} & x \\ x = 0,3316 \text{ ml de aditivo} \end{array}$$

0,3316 ml es la cantidad de aditivo para un total de 18 kg de suelo para el ensayo CBR.

$$\begin{array}{rcl} 7,3 \text{ ml aditivo} & \text{-----} & 1000 \text{ ml solución} \\ 0,3316 \text{ ml} & \text{-----} & x \\ x = 45,43 \text{ ml de solución} \end{array}$$

Es decir 45,43 ml de solución en la cantidad de agua según el ensayo próctor.

b.4) 1,5 L de aditivo por 30 m³ de material: Se le consideró un adicional del 50% de la cantidad especificada para poder realizar una investigación más minuciosa y realizar comparaciones entre las respuestas a las pruebas con distintas cantidades de aditivo.

$$\begin{array}{rcl} 30 \text{ m}^3 \text{ suelo compactado} & \text{-----} & 1500 \text{ ml aditivo} \\ 9,0452 \times 10^{-3} \text{ m}^3 & \text{-----} & x \\ x = 0,4523 \text{ ml de aditivo} \end{array}$$

0,4523 ml es la cantidad de aditivo para un total de 18 kg de suelo para el ensayo CBR

$$\begin{array}{rcl} 7,3 \text{ ml aditivo} & \text{-----} & 1000 \text{ ml solución} \\ 0,4523 \text{ ml} & \text{-----} & x \\ x = 61,96 \text{ ml de solución} \end{array}$$

Es decir 61,96 ml de solución en la cantidad de agua según el ensayo próctor.

4.5 Análisis de resultados

El objetivo principal es probar la nueva tecnología para la estabilización de suelos utilizando el producto *Perma-Zyme 22X* como agente estabilizante. Su característica principal es incrementar el proceso humectante del agua y provocar una acción aglutinante sobre los materiales finos, disminuyendo la relación de vacíos lo cual ayuda a que las partículas del terreno puedan ser densamente compactas. Por lo tanto provocará una fuerte actividad cementante formando un estrato resistente y permanente.

4.5.1 Resultados de ensayos mecánicos

Los ensayos mecánicos se realizaron en el Laboratorio de Ensayo de Materiales de Construcción de Piura, y los resultados se presentan a continuación:

4.5.1.1 Análisis granulométrico

El agregado a estabilizar deberá presentar una gradación que se asemeje a las siguientes especificaciones:

Tabla 4.1 Perfil de graduación según especificación técnica del producto

Tamiz	Especificaciones
2 ½ ”	100
1”	80 - 100
3/8”	60 - 80
Nº 4	40 - 65
Nº 10	35 - 55
Nº 40	25 - 40
Nº 200	18 - 30

El porcentaje final de cada uno de los suelos que se usó fue:

	Porcentaje de mezcla de cada agregado (%)	
Agregado	Afirmado	Arcilla
Porcentaje de mezcla (%)	75	25

Los resultados del análisis mecánico por tamizado fueron:

Tabla 4.2. Análisis granulométrico.

Tamiz	Abertura (mm)	Porcentaje que pasa
2 ½”	63,5	100 %
1 ½”	38,1	100 %
1”	25,4	91 %
¾”	19,1	82 %
3/8”	9,53	66 %
Nº 4	4,76	57 %
Nº 8	2,38	54 %
Nº 16	1,19	53 %
Nº 30	0,59	51 %
Nº 50	0,297	46 %
Nº 100	0,149	32 %
Nº 200	0,074	21 %

En las especificaciones indican que para el uso del aditivo basado en enzimas se necesita un mínimo de finos del 15% que pasen la malla N° 200; según la tabla 4.2, estos constituyen el 21% para el suelo con el que se está trabajando.

El gráfico siguiente muestra la curva granulométrica en color púrpura de la mezcla de suelos, las curvas de color marrón rojizo muestran los rangos inferiores y superiores de las especificaciones técnicas del producto. El resultado final muestra una saliente de la curva granulométrica que no está dentro del rango de valores requerido, esto se presenta entre los valores de tamices N° 30 y N° 50; esto significa que hay más porcentaje de material de éstos tamaños del que se requiere. Para obtener la granulometría final de la mezcla se diseñó con distintos porcentajes de afirmado y de arcilla; al final quedó aquel que no solamente se acercará a las características requeridas para cumplir cierta gradación, sino que también cumpliera con otras características importantes, como el índice plástico, límite líquido etc. que son características necesarias para el uso del aditivo.

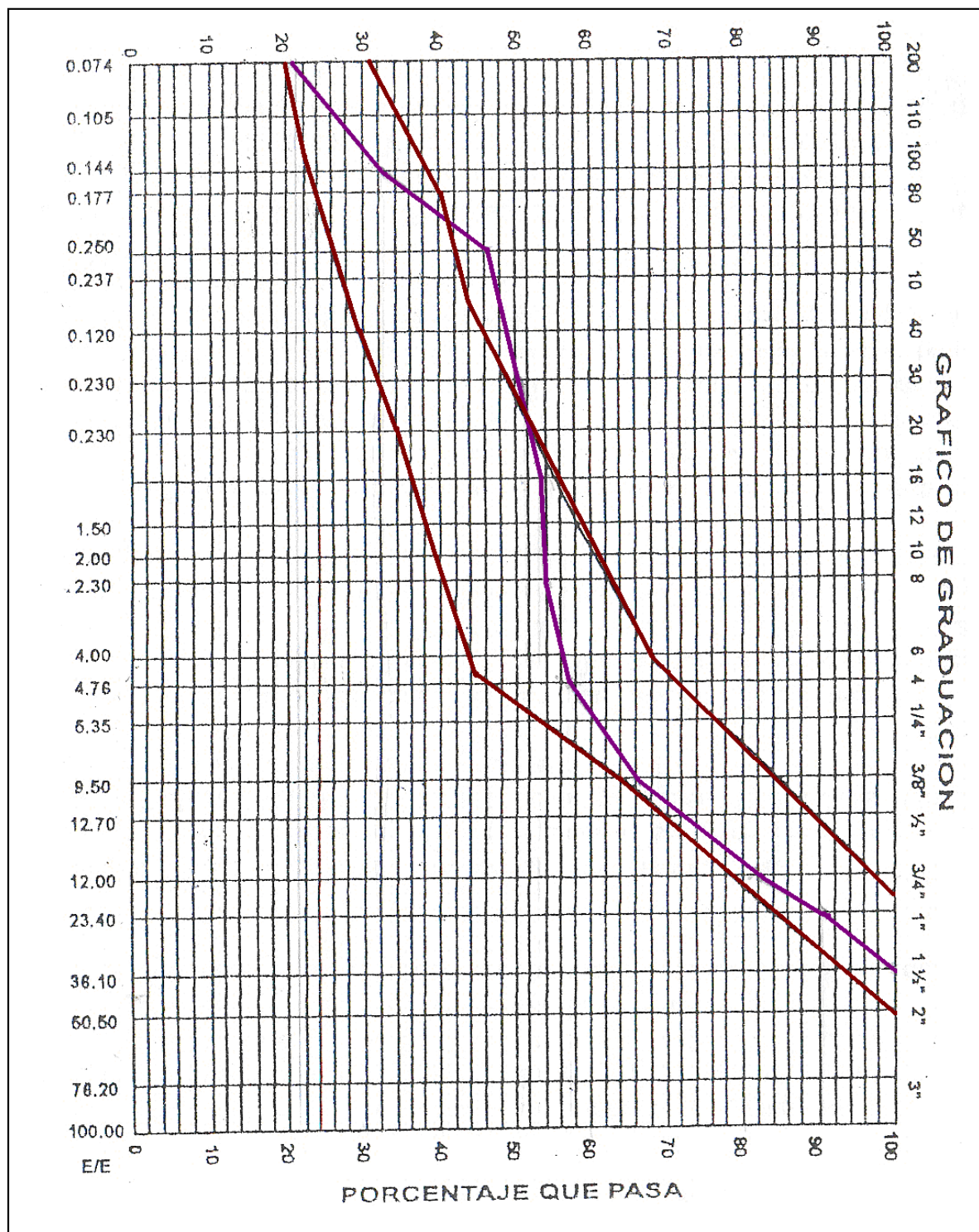


Figura 4.5. Resultados del ensayo granulométrico de la mezcla de suelos

4.5.1.2.- Ensayo Proctor para el CBR.

La compactación se hizo de acuerdo al ensayo Proctor modificado que es un procedimiento para dar valor aproximado de densidad seca y humedad óptima del suelo.

Tabla 4.3. Resultados del ensayo próctor.

	Proctor	
	Máx. densidad seca (gr/cm³)	Humedad óptima (%)
Mezcla normal (75% afirmado + 25% arcilla)	2,17	8
Mezcla tamizada (Material que pasa malla N° 4)	1,99	12

4.5.1.3.- Absorción por capilaridad.

Para el desarrollo de esta prueba se trabajó tanto con muestras de la mezcla de fracción gruesa como con muestras de la mezcla de fracción fina; para ambas muestras se realizaron las pruebas con tres casos: suelo sin aditivo, con 1 L de aditivo y con 1,5 L de aditivo en 30 m³ de suelo.

Este ensayo se hizo para demostrar la efectividad del aditivo al evitar la penetración del agua en el suelo tratado permitiendo una mejor estabilidad de la capa. Se esperan reducciones de más del 50% con respecto a los no tratados.

Los resultados que se obtuvieron se muestran en las tablas 4.4 y 4.5 y quedan graficados en las figuras 4.6, 4.7, 4.8, 4.9, 4.10, 4.11:

Tabla 4.4. Resultados del ensayo en la fracción fina del suelo

Número de días	Porcentajes de absorción (%)					
	Fracción fina sin aditivo		Fracción fina con 1 L de aditivo		Fracción fina con 1,5 L de aditivo	
	Probeta #1	Probeta #2	Probeta #1	Probeta #2	Probeta #1	Probeta #2
1 día	2,87	3,03	2,60	2,25	2,42	1,50
2 días	4,16	4,16	3,63	3,49	3,39	2,99
3 días	5,35	5,34	4,82	4,82	4,29	4,06
4 días	6,65	6,37	6,19	6,28	5,42	5,41
5 días	7,43	7,08	7,13	7,14	6,16	6,39
6 días	8,10	7,63	7,22	8,5	6,76	7,16
7 días	9,06	8,47	8,65	8,47	7,67	8,02

Tabla 4.5. Resultados del ensayo en la fracción gruesa del suelo

Número de días	Porcentajes de absorción (%)					
	Fracción gruesa sin aditivo		Fracción gruesa con 1 L de aditivo		Fracción gruesa con 1,5 L de aditivo	
	Probeta #1	Probeta #2	Probeta #1	Probeta #2	Probeta #1	Probeta #2
1 día	4,27	3,77	3,65	3,77	4,24	4,34
2 días	5,63	5,14	5,06	5,03	5,36	5,78
3 días	6,81	6,5	6,49	6,57	6,96	7,27
4 días	7,05	6,81	7,14	7,2	7,38	7,49
5 días	7,13	7,19	7,19	7,61	7,47	7,70
6 días	6,90	7,33	7,31	7,64	7,48	7,81
7 días	7,01	7,45	7,44	7,67	7,63	7,83

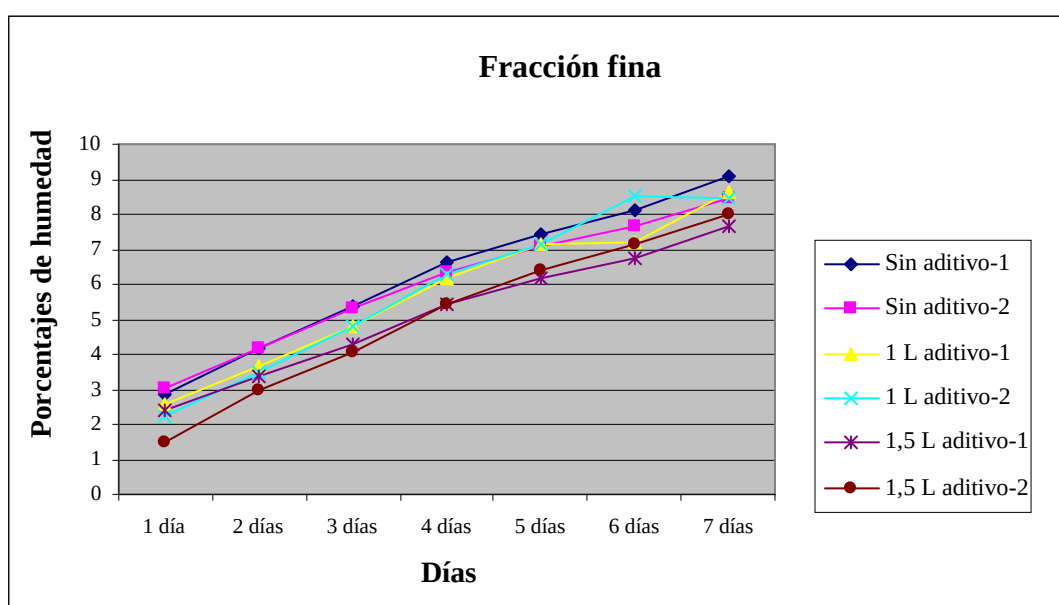


Figura 4.6. Curvas que muestran los porcentajes de absorción de humedad de la fracción fina

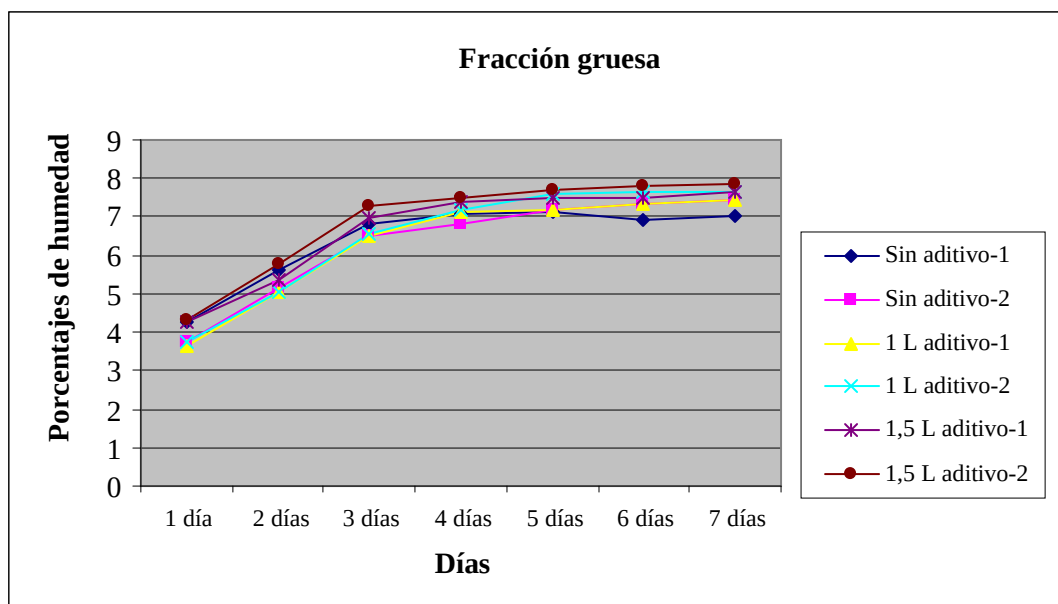


Figura 4.7. Curvas que muestran los porcentajes de absorción de humedad de la fracción gruesa

Tanto la figura 4.6 como la figura 4.7 muestran las tendencias del aumento del porcentaje de absorción de agua. En la figura 4.6 correspondiente a la fracción fina de la mezcla se muestra que existe tendencia al aumento progresivo de humedad, sin embargo también se puede observar que este aumento es mayor en las probetas donde la cantidad de aditivo es menor o nulo para el caso de las probetas a las cuales no se les hecho aditivo alguno. En la figura 4.7 se muestra el porcentaje de absorción de la fracción gruesa para las distintas probetas ensayadas, en las cuales no se puede observar mayor diferencia entre sus resultados.

Los resultados diferentes entre los dos tipos de muestra se deben a que la “fracción gruesa” posee además de finos el agregado grueso, el que tiene otras propiedades físicas, las cuales podrían estar afectando los resultados; esto se puede observar por ejemplo en los porcentajes de absorción, las cuales son distintos, es así como en la fracción fina la absorción es mayor por la presencia de finos (arcillas) las cuales van a absorber el agua en mayor proporción que la fracción gruesa. En cuanto a los resultados con el aditivo, podemos decir que como éste actúa en la fracción fina, los resultados se observan con mayor notoriedad. Resultado muy distinto se obtuvo en la otra muestra porque había presencia de otro tipo de agregado en mucha mayor proporción que la arcilla. Quizás con una mayor proporción de arcilla (más alta que el 25% utilizado) se obtengan los resultados deseados.

En los siguientes cuadros (Figuras 4.8, 4.9, 4.10 y 4.11) se muestran con más detalles los resultados de las probetas ensayadas.

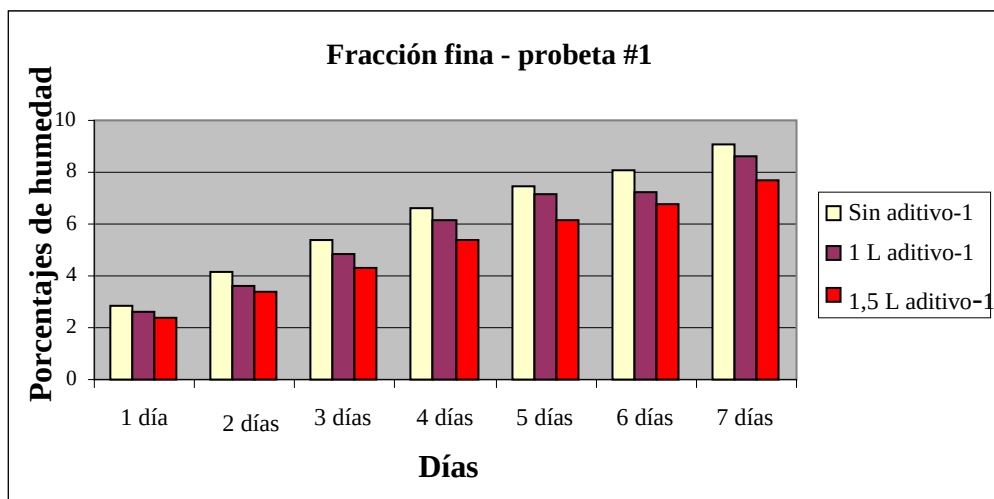


Figura 4.8. Porcentaje de humedad absorbida para la fracción fina. Probeta #1

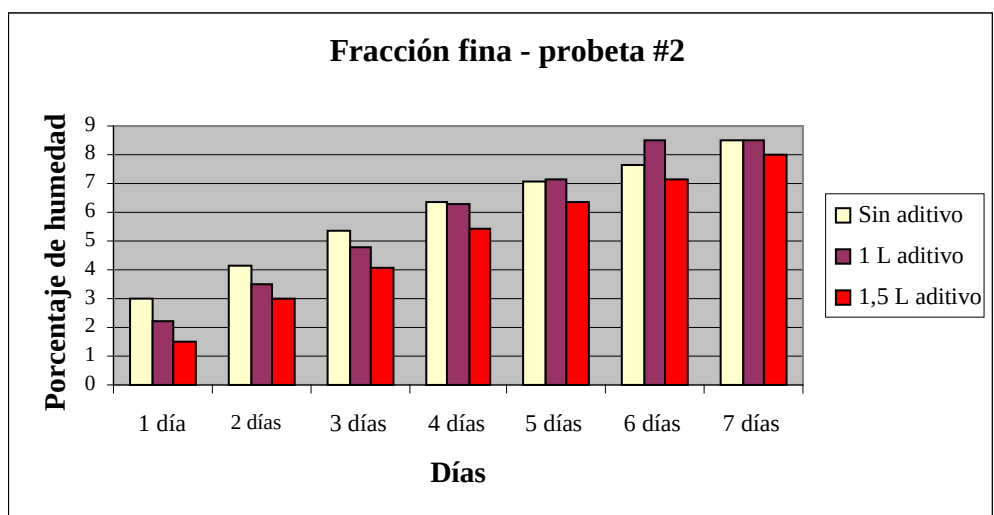


Figura 4.9. Porcentaje de humedad absorbida para la fracción fina. Probeta #2

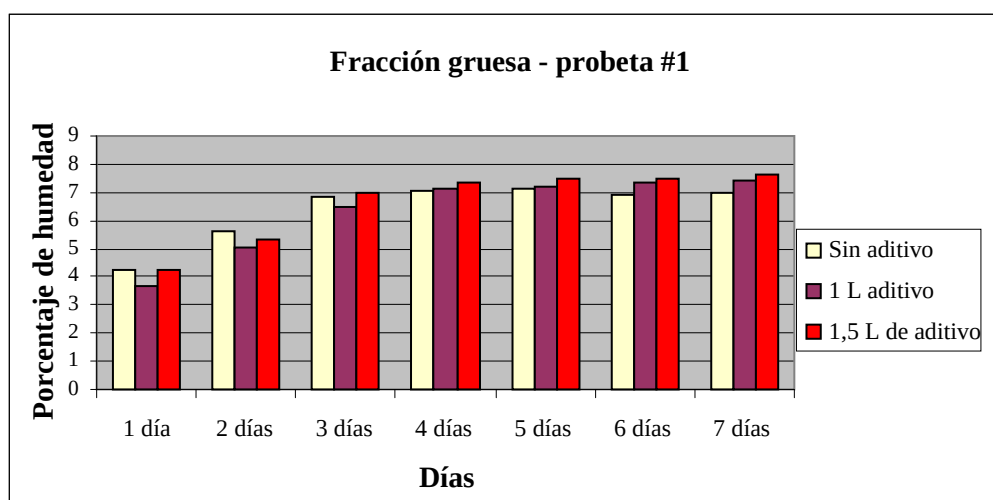


Figura 4.10. Porcentaje de humedad absorbida para la fracción gruesa. Probeta #1

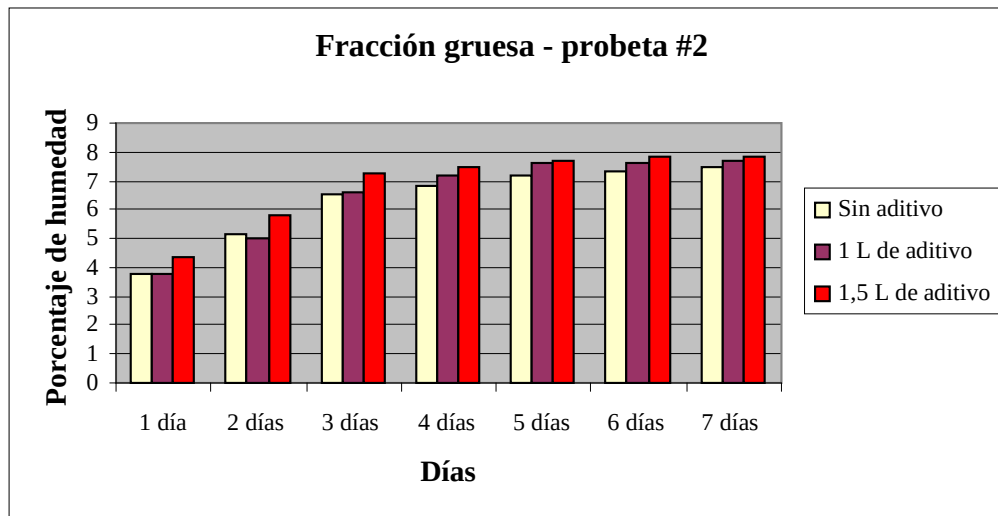


Figura 4.11. Porcentaje de humedad absorbida para la fracción gruesa. Probeta #2

4.5.1.4 Valor soporte relativo. CBR.

Esta prueba medirá la efectividad en el aumento de la resistencia de carga del aditivo en comparación con el suelo normal.

a) Suelo sin aditivo

Se realizaron las pruebas en las mezclas de suelo sin el aditivo para poder compararlas con las muestras de suelo ensayadas con aditivo.

a.1) Fracción fina: Los siguientes resultados muestras valores bajos propios de un suelo regular como el CL.

La tabla 4.6 y la figura 4.12 muestran los resultados del ensayo de valor soporte relativo a las muestras sin aditivo. El suelo ha sido caracterizado como un suelo que sufre cambios de volúmenes altos por lo tanto su rendimiento como base de un pavimento es muy bajo; al igual que su uso como subbase y como subrasante. Los resultados mostrados a continuación muestran que en efecto, con un CBR entre 6 y 12, el suelo es regular y no es recomendable su uso para pavimentos.

Tabla 4.6. Resultados del ensayo CBR para suelo sin aditivo. Fracción fina

	CBR		
Características	Espécimen #1	Espécimen #2	Espécimen #3
Sin aditivo	9	12	6

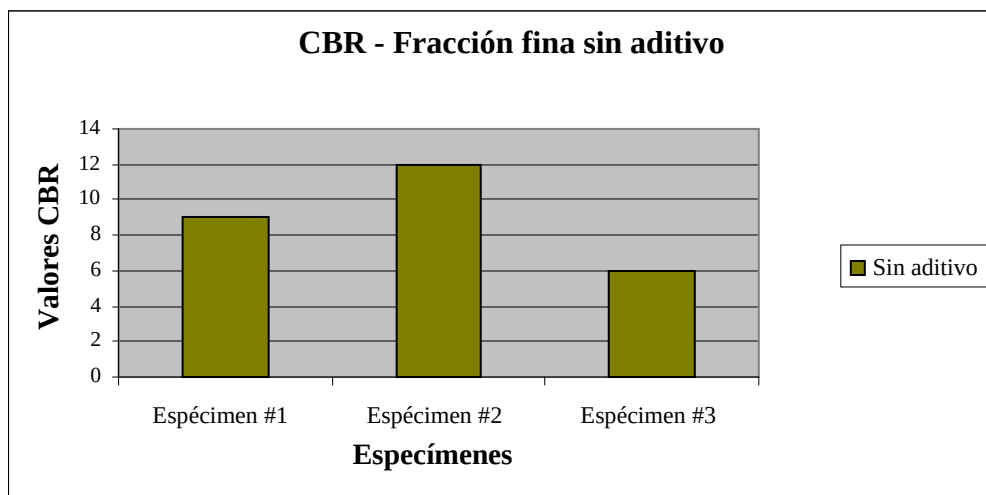


Figura 4.12. Valores CBR para especímenes de fracción fina sin aditivo

La tabla 4.7 y la figura 4.13 muestran los resultados de las expansiones en los suelos ensayados sin aditivo para saber el porcentaje de expansión real y compararlos con las expansiones de los suelos con aditivo. Las expansiones mostradas no cumplen con los requisitos exigidos por norma, las cuales por ejemplo expresan que para un suelo que se va a utilizar como subrasante, las expansiones máximas permitidas son del 2%. A continuación observamos que las obtenidas por la fracción fina de la mezcla del suelo son del doble de lo recomendado.

Tabla 4.7. Porcentaje de expansión para suelo sin aditivo. Fracción fina

	Porcentaje de expansión (%)		
Características	Especímen #1	Especímen #2	Especímen #3
Sin aditivo	4,1	4,1	-----

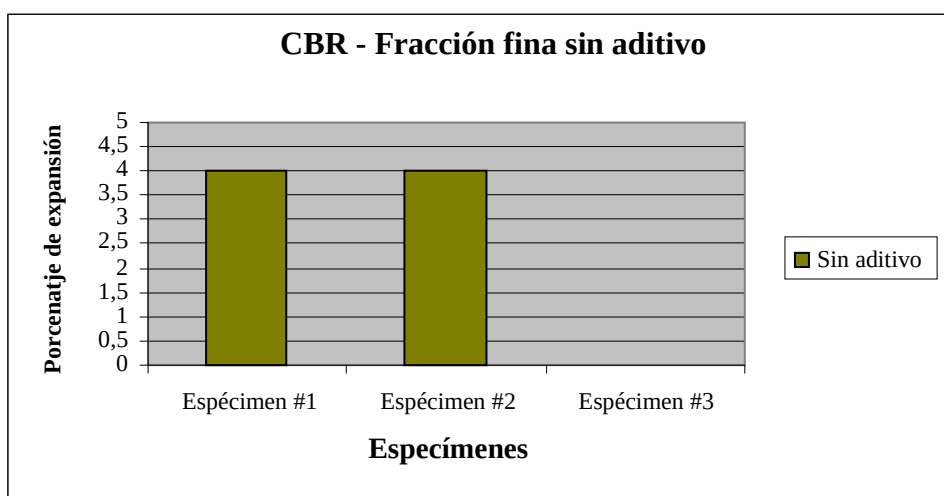


Figura 4.13. Valores del porcentaje de expansión para especímenes de fracción fina sin aditivo

a.2) Fracción gruesa: Así como con la fracción fina se trabajó con suelos sin aditivo para compararlos con los resultados de los suelos con aditivo, con las muestras de suelo de la fracción gruesa se trabajó de igual manera.

La tabla 4.8 y la figura 4.14 muestran los valores obtenidos en las pruebas de cbr hechas en laboratorio.

Tabla 4.8. Resultados del ensayo CBR para suelo sin aditivo. Fracción gruesa

	CBR		
Características	Espécimen #1	Espécimen #2	Espécimen #3
Sin aditivo	7	9	7

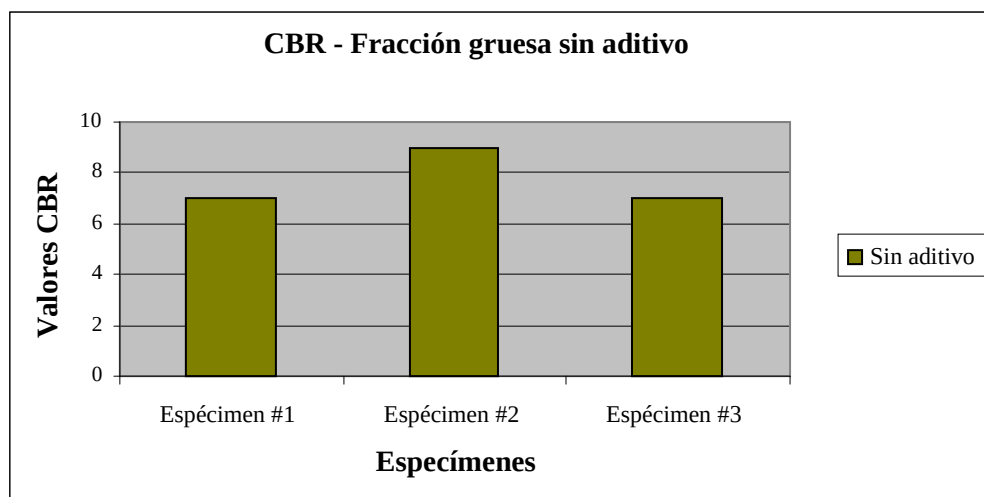


Figura 4.14. Valores CBR para especímenes de fracción gruesa sin aditivo

Tanto en la tabla 4.9 como en la figura 4.15 se muestran los valores del porcentaje de expansión de la mezcla de suelos. Como se ve, hay una clara diferencia entre la fracción fina y la fracción gruesa por la cantidad de finos presentes en cada uno de los tipos de muestras.

El porcentaje de expansión de la fracción gruesa oscila entre el 1.8% para el espécimen 2 y el 2.6% para el espécimen 1. Ante esta diferencia de valores concluiremos que éste suelo no cumple con los requisitos exigidos para su utilización en la construcción de carreteras.

Tabla 4.9. Porcentaje de expansión para suelo sin aditivo. Fracción gruesa

	Porcentaje de expansión (%)		
Características	Espécimen #1	Espécimen #2	Espécimen #3
Sin aditivo	2,6	1,8	-----

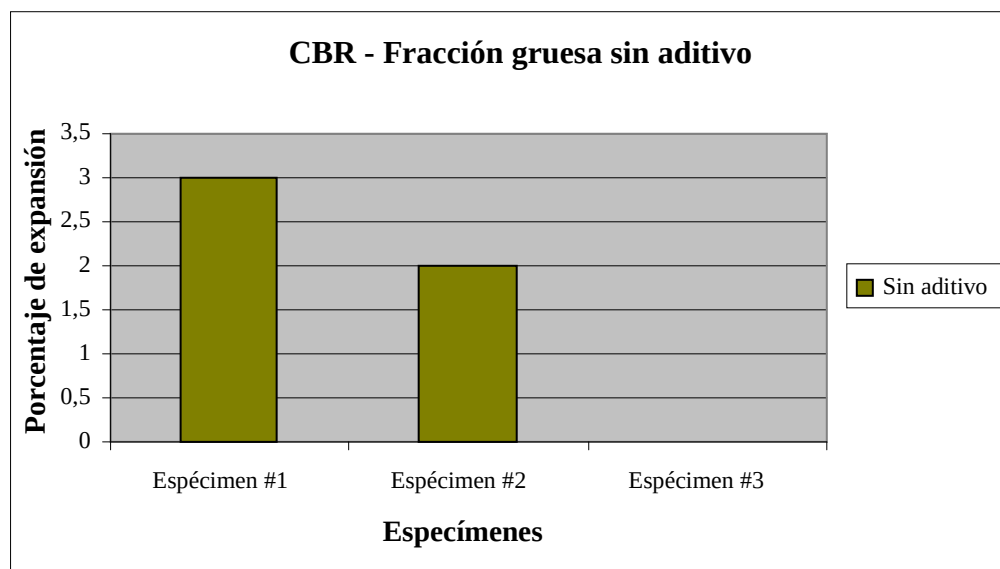


Figura 4.15. Valores del porcentaje de expansión para especímenes de fracción gruesa sin aditivo

b) Suelo con aditivo

Para estos suelos se trabajó con distintos porcentajes del producto como lo mostraremos a continuación.

Para los ensayos CBR se utilizó tanto la metodología convencional del ensayo dado por normas como una experimental que se usó con el fin de reproducir las condiciones de campo en laboratorio tan reales como fuera precisa.

El ensayo CBR se describe como el ensayo de resistencia de carga del suelo, en el cual se necesita que una vez compactada la muestra, ésta se coloque en una cámara de agua para que el suelo se sature; se mantiene el espécimen en dicha cámara por 4 días, luego se procede a realizar el ensayo para conocer la resistencia del suelo.

En las especificaciones técnicas del producto se describe que una carretera tratada con *Perma-Zyme 22X* se curará totalmente de 48 a 72 horas. En climas secos como Piura la carretera puede abrirse inmediatamente al tráfico. Es por esta razón que se decidió hacer una variación en cuanto al ensayo CBR, si bien se realizaron los ensayos convencionales, éstos no eran suficientes para poder observar los cambios que con el aditivo sufría el suelo; así es como se experimentó con muestras que tuvieran 24 horas de secado y 72 horas respectivamente, antes de colocarlas a la poza de agua y luego ensayarlas se necesitaba un tiempo significativo a que el aditivo surtiera efecto.

Se trabajó tanto con la fracción fina como con la fracción gruesa de la mezcla de suelos.

b.1) Fracción fina: *Perma-Zyme 22X* funciona sobre un suelo que contenga un mínimo de 15% de finos cohesivos pues estos suelos reaccionarían mejor. Ante esto se consideró necesario realizar pruebas sólo empleando la parte fina de la mezcla de suelo para ver como reacciona ante el producto.

Tabla 4.10. Resultados del ensayo CBR para suelo con aditivo. Fracción fina

	Características	CBR		
		Espécimen #1	Espécimen #2	Espécimen #3
0,9 L de aditivo en 30 m³	Normal	7	6	6
	1 día de secado	6	8	7
	3 días de secado	5	5	6
1,0 L de aditivo en 30 m³	Normal	9	6	9
	1 día de secado	6	8	5
	3 días de secado	6	5	8
1,1 L de aditivo en 30 m³	Normal	6	7	8
	1 día de secado	7	8	7
	3 días de secado	9	6	6
1,5 L de aditivo en 30 m³	Normal	7	7	4
	1 día de secado	5	5	5
	3 días de secado	9	7	11

En la tabla 4.10 se muestran los resultados finales de las pruebas para la fracción fina de la mezcla de suelos. Como se observa las pruebas se han realizado en diferentes condiciones: Para esta muestra que está compuesta, solamente por material fino los valores del CBR sufren algún cambio significativo que nos indique alguna acción por parte del aditivo, por el contrario éstos se mantienen bajos.

Un buen material para cualquier rama de la construcción es aquel que presenta una distribución pareja de los distintos tamaños de partículas, este tipo de material es el que va a soportar mejor las cargas. En el caso de la muestra estudiada, se puede decir que con un alto contenido de finos se necesitará material con tamaño variado para que alcance mayor resistencia.

En las figuras 4.16, 4.17, 4.18, 4.19, se muestra que no hay variación en los valores CBR ni para las distintas condiciones de secado y tampoco para las distintas cantidades de aditivo con las que se probó.

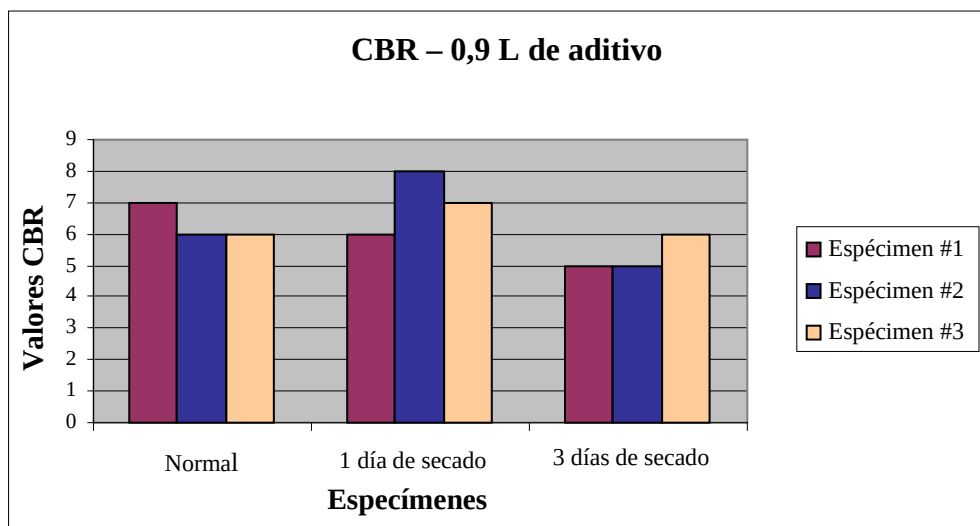


Figura 4.16. Valores CBR para especímenes de fracción fina con 0,9 L de aditivo en 30 m³

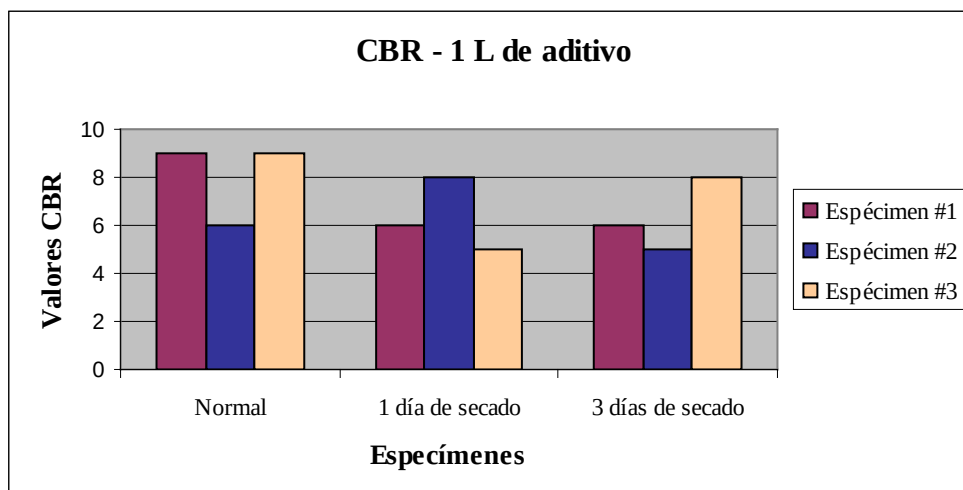


Figura 4.17. Valores CBR para especímenes de fracción fina con 1 L de aditivo en 30 m³

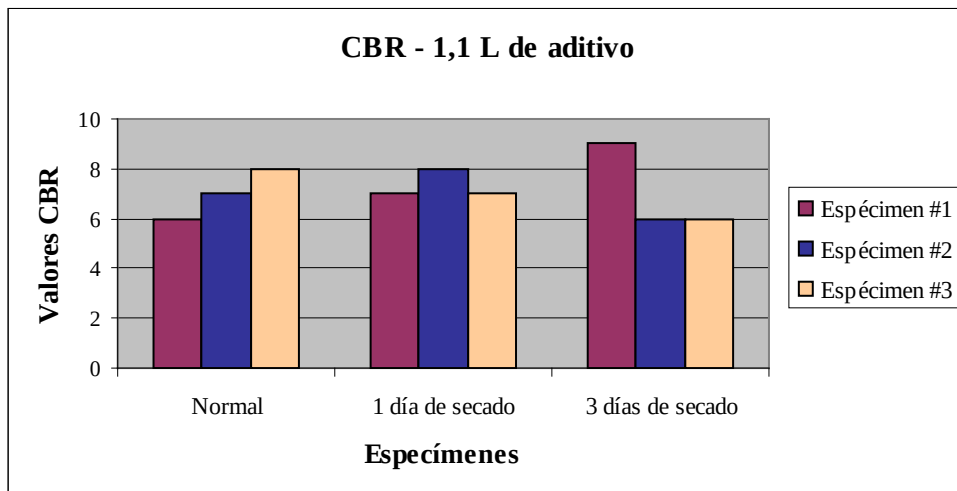


Figura 4.18. Valores CBR para especímenes de fracción fina con 1,1 L de aditivo en 30 m³

En la Figura 4.19, los resultados fueron más altos que el de las otras pruebas, pero si comparamos con los resultados obtenidos para las probetas sin aditivo de la misma fracción, no se observa variación mayor en los valores de la prueba CBR.

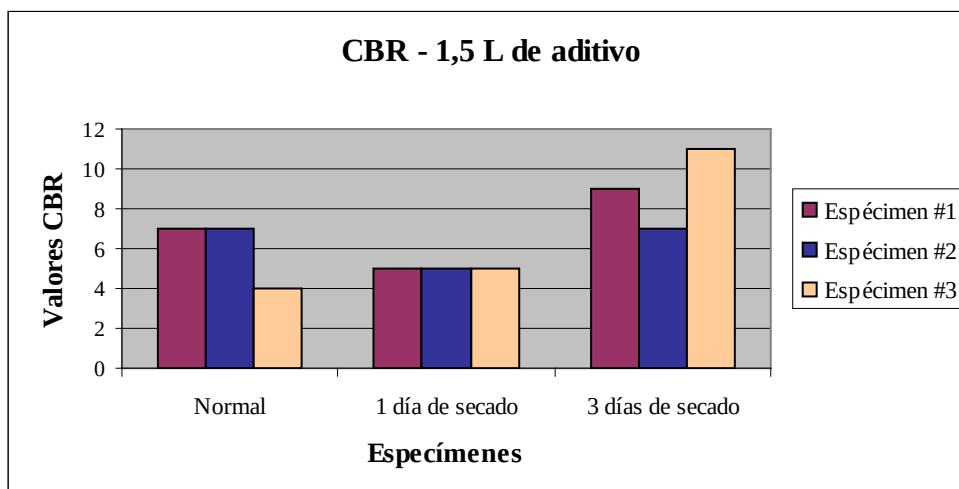


Figura 4.19. Valores CBR para especímenes de fracción fina con 1,5 L de aditivo en 30 m³

Los porcentajes de expansión de estos ensayos son mostrados en la tabla 4.11

Tabla 4.11. Porcentaje de expansión para suelo con aditivo. Fracción fina

	Características	Porcentaje de expansión (%)		
		Espécimen #1	Espécimen #2	Espécimen #3
0,9L de aditivo en 30 m³	Normal	3,2	3,0	3,0
	1 día de secado	3,0	3,3	3,5
	3 días de secado	4,5	3,6	4,0
1,0L de aditivo en 30 m³	Normal	2,6	4,3	2,2
	1 día de secado	3,0	3,3	3,5
	3 días de secado	3,8	3,9	3,6
1,1L de aditivo en 30 m³	Normal	2,9	3,5	2,9
	1 día de secado	3,4	---- *	3,1
	3 días de secado	3,4	3,8	3,5
1,5L de aditivo en 30 m³	Normal	3,2	3,5	3,4
	1 día de secado	3,8	3,3	3,4
	3 días de secado	3,1	3,1	2,6

A continuación los porcentajes de expansión que se tuvo como resultado de los ensayos en cuadros comparativos. (figuras 4.20, 4.21, 4.22, 4.23)

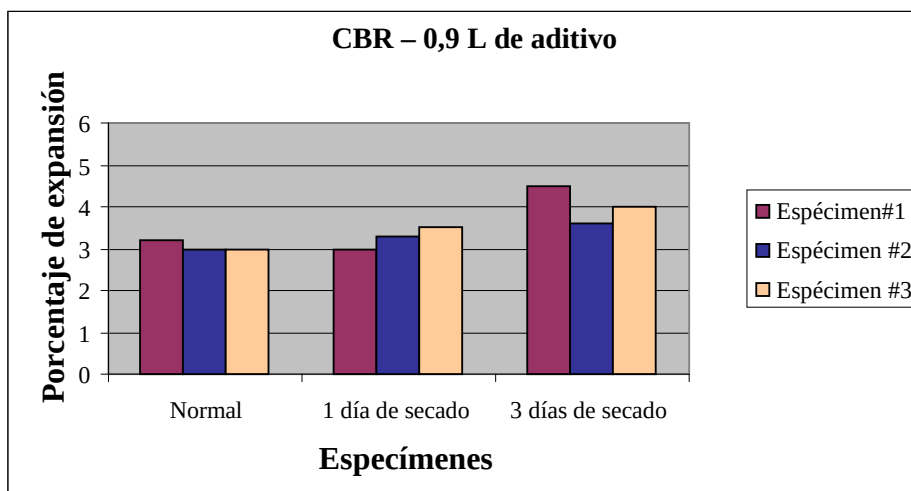


Figura 4.20. Valores del porcentaje de expansión para especímenes de fracción fina con 0,9 L de aditivo en 30 m³

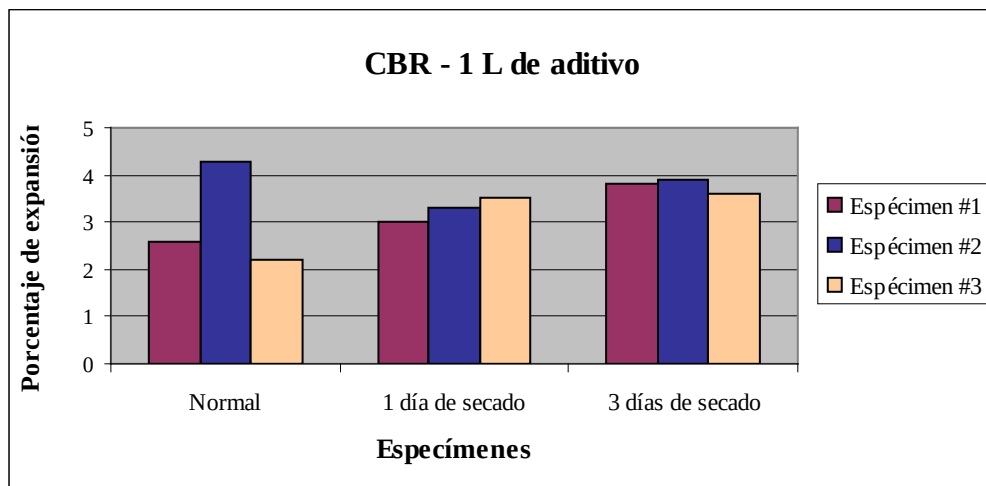


Figura 4.21. Valores del porcentaje de expansión para especímenes de fracción fina con 1 L de aditivo en 30 m³

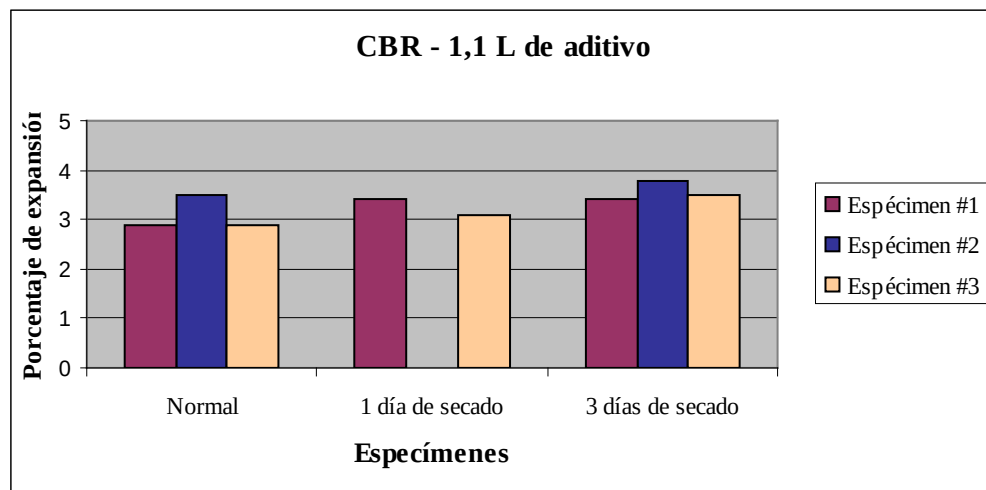


Figura 4.22. Valores del porcentaje de expansión para especímenes de fracción fina con 1,1 L de aditivo en 30 m³

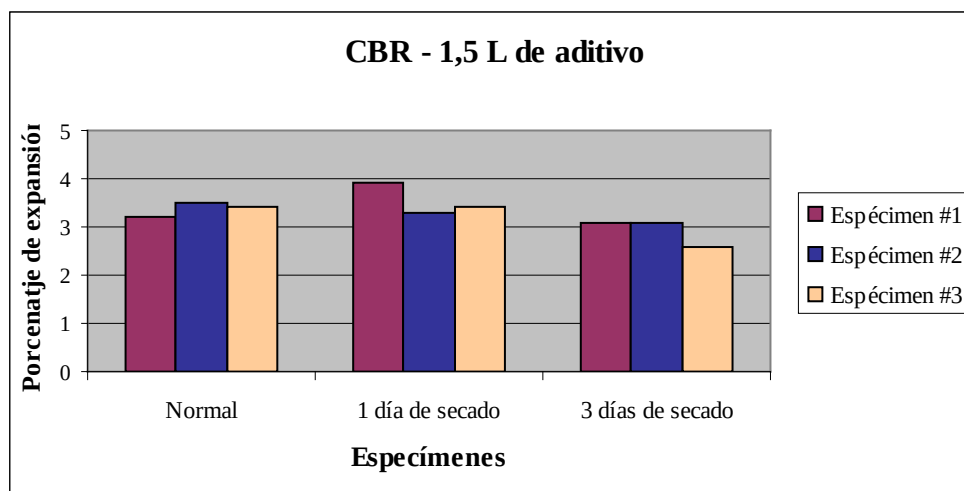


Figura 4.23. Valores del porcentaje de expansión para especímenes de fracción fina con 1,5 L de aditivo en 30 m³

El nulo aumento que se ha obtenido para la fracción fina puede ser debido a que se trabajó únicamente con los finos de la mezcla, si bien el aditivo funciona para los finos, estos solamente ocuparán cierto porcentaje significativo de todo el conjunto, es decir la cantidad necesaria para hacer que el aditivo reaccione. Es importante tener un porcentaje de agregado grueso que le dará resistencia al suelo, por lo tanto es necesario con o sin aditivo presente. Otro problema de trabajar sólo con los finos, es la presencia de los limos no cohesivos, los que forman parte de la fracción fina del afirmado, para este tipo de suelos el aditivo no tendrá ningún efecto como comprobaremos más adelante.

b.2) Fracción gruesa: La fracción gruesa trabajada es la mezcla del suelo conformada por el 75% de afirmado más el 25% de arcilla como ya se ha descrito.

En la siguiente tabla, se muestran los resultados obtenidos de aplicar las enzimas estabilizadoras. Es notorio el aumento en los valores CBR. En la tabla 4.13 se presentan los porcentajes de aumento de la capacidad portante con respecto al valor más alto de CBR obtenido a partir de ensayar especímenes sin aditivo.

Tabla 4.12. Resultados del ensayo CBR para suelo con aditivo. Fracción gruesa

	Características	CBR		
		Espécimen #1	Espécimen #2	Espécimen #3
0,9 L de aditivo en 30 m³	Normal	8	10	11
	1 día de secado	15	13	7
	3 días de secado	17	17	17
1,0 L de aditivo en 30 m³	Normal	22	18	15
	1 día de secado	9	16	12
	3 días de secado	19	19	25
1,1 L de aditivo en 30 m³	Normal	27	18	26
	1 día de secado	13	15	13
	3 días de secado	26	21	18
1,5 L de aditivo en 30 m³	Normal	27	19	19
	1 día de secado	11	13	13
	3 días de secado	21	27	18

Tabla 4.13. Porcentajes de mejoría en suelos tratados con enzimas orgánicas

	Características	Aumento de la capacidad de carga en porcentaje (%)			Promedio
		Espécimen #1	Espécimen #2	Espécimen #3	
0,9 L de aditivo en 30 m³	Normal	0% *	11%	22%	11%
	1 día de secado	67%	44%	0% *	37%
	3 días de secado	89%	89%	89%	89%
1,0 L de aditivo en 30 m³	Normal	144%	100%	67%	104%
	1 día de secado	0% *	78%	33%	37%
	3 días de secado	111%	111%	178%	133%
1,1 L de aditivo en 30 m³	Normal	200%	100%	189%	163%
	1 día de secado	44%	67%	44%	52%
	3 días de secado	189%	133%	100%	141%
1,5 L de aditivo en 30 m³	Normal	200%	111%	111%	141%
	1 día de secado	22%	44%	44%	37%
	3 días de secado	133%	200%	100%	144%

* Indica que el resultado puede haber sido afectado por la mala manipulación que hubo en estas probetas, cuyos moldes estuvieron mal manipulados

Tanto en las tablas 4.12 como en la tabla 4.13 los resultados de las pruebas muestran un aumento en la capacidad de carga. Se puede decir que hay un aumento

progresivo dependiendo del aumento del porcentaje de aditivo. Los valores más altos se presentan en las muestras con mayor concentración de aditivo, es decir, aquellas que tienen 10% y 50% más de la cantidad de aditivo recomendada.

Si observamos con detenimiento, los valores para la condición de 1 día de secado son muy inferiores a los valores logrados para las otras dos condiciones; aunque sí existe mejora del CBR. Sería conveniente realizar más pruebas con el fin de verificar los resultados y concluir si es efecto del aditivo o simplemente es efecto de la casualidad y manipulación técnica en estas probetas. Nuestro fin en ésta experimentación era comprobar si este tipo de suelo mejoraba sus propiedades.

A continuación se muestra cuadros comparativos, que representan mejor los resultados.

En la figura 4.24, los especímenes que se dejaron tres días secando, para que el producto actúe antes de ponerlos a la poza de agua, alcanzaron valores muy por encima de aquellos especímenes con los cuales trabajamos con otras condiciones, llegando a valores del doble del CBR original, que se obtuvo de las probetas ensayadas sin aditivo.

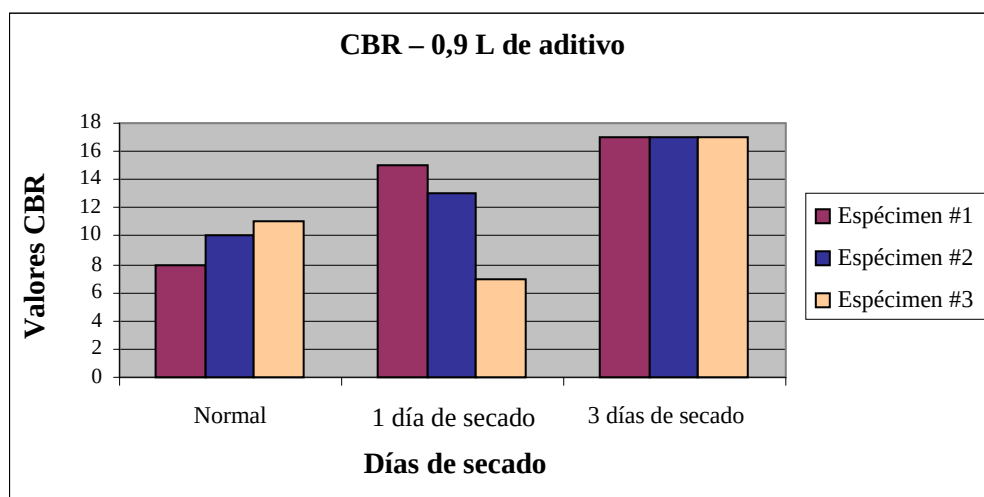


Figura 4.24. Valores CBR para especímenes de fracción gruesa con 0,9 L de aditivo en 30 m^3

En los siguientes gráficos (figuras 4.25, 4.26, 4.27) se muestra la poca diferencia que existe en los valores CBR entre las probetas que se ensayaron de forma convencional y aquellas que se dejaron secar 72 horas, pues según especificaciones técnicas toma todo ese tiempo completar la acción catalítica aglutinadora. También nos indican que para el proceso tampoco haría falta esperar todo este tiempo para colocar carga sobre el suelo trabajado pues no afectaría los resultados, esto, según los resultados que hemos visto, es cierto.

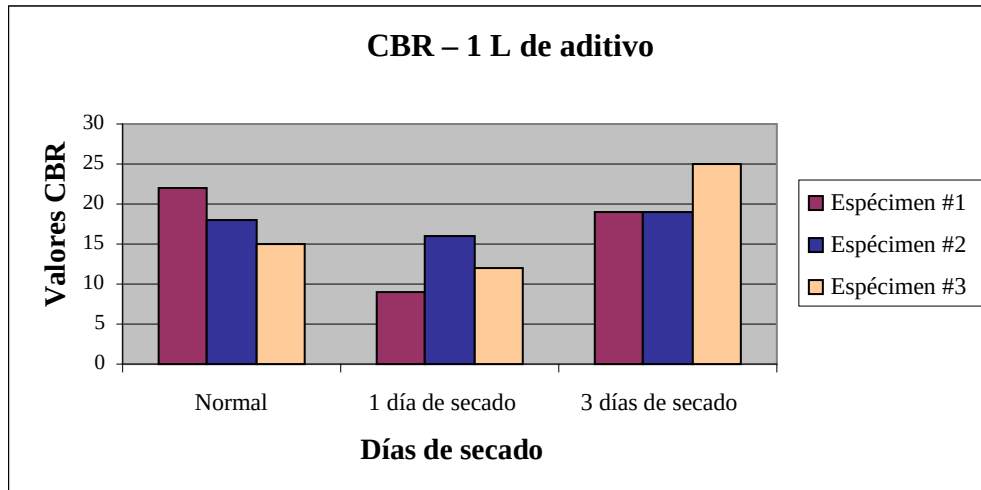


Figura 4.25. Valores CBR para especímenes de fracción gruesa con 1 L de aditivo en 30 m^3

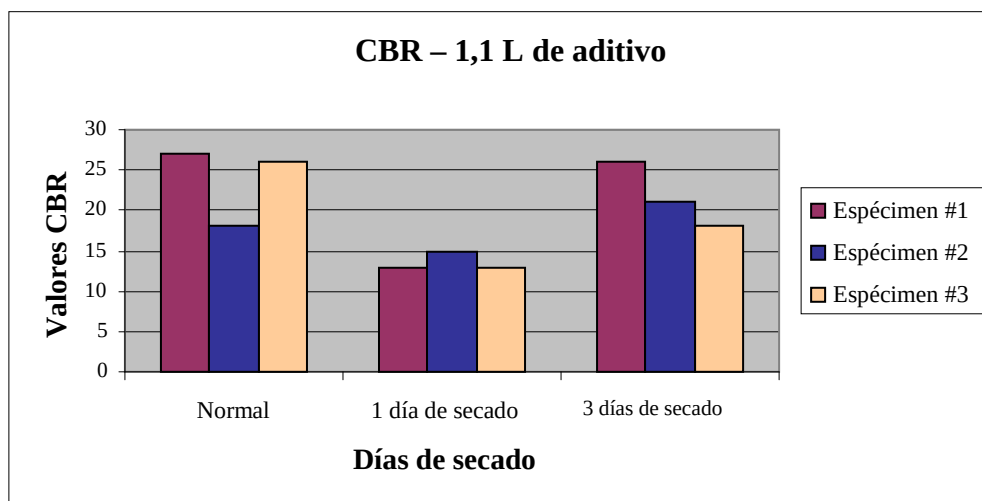


Figura 4.26. Valores CBR para especímenes de fracción gruesa con 1,1 L de aditivo en 30 m^3

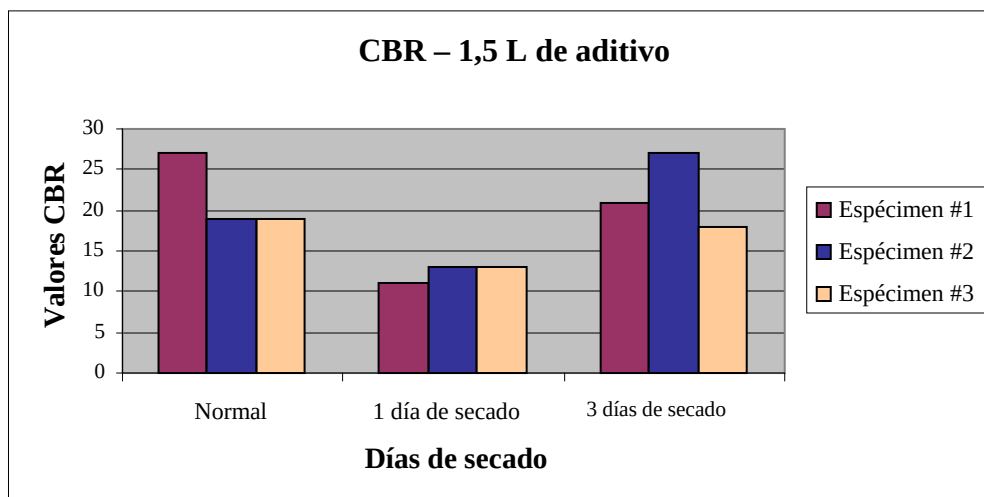


Figura 4.27. Valores CBR para especímenes de fracción gruesa con 1,5 L de aditivo en 30 m³

Los resultados de las mediciones para hallar los porcentajes de expansión son presentados en la tabla 4.13. Dada a continuación:

Tabla 4.13. Porcentaje de expansión para el suelo con aditivo. Fracción gruesa

	Características	Porcentaje de expansión (%)		
		Espécimen #1	Espécimen #2	Espécimen #3
0,9 L de aditivo en 30 m³	Normal	4,3	4,6	---- *
	1 día de secado	2,2	2,3	2,7
	3 días de secado	2,1	1,6	1,7
1,0 L de aditivo en 30 m³	Normal	---- *	3,6	3,4
	1 día de secado	4,1	1,6	2,2
	3 días de secado	1,5	1,5	1,1
1,1 L de aditivo en 30 m³	Normal	---- *	3,7	3,6
	1 día de secado	2,4	2,3	2,0
	3 días de secado	1,3	1,8	1,7
1,5 L de aditivo en 30 m³	Normal	3,2	---- *	3,6
	1 día de secado	2,2	2,4	2,3
	3 días de secado	1,6	1,5	1,5

*No se pudo medir a estos especímenes el porcentaje de expansión por falta de material de laboratorio

Tabla 4.14. Porcentajes de mejoría en suelos tratados con enzimas orgánicas

	Características	Porcentaje de expansión		
		Espécimen #1	Espécimen #2	Espécimen #3
0,9 L de aditivo en 30 m³	Normal	65%	77%	---- *
	1 día de secado	-15%	-12%	4%
	3 días de secado	-19%	-38%	-35%
1,0 L de aditivo en 30 m³	Normal	---- *	38%	31%
	1 día de secado	58%	-38%	-15%
	3 días de secado	-42%	-42%	-58%
1,1L de aditivo en 30 m³	Normal	---- *	42%	38%
	1 día de secado	-8%	-12%	-23%
	3 días de secado	-50%	-31%	-35%
1,5 L de aditivo en 30 m³	Normal	23%	---- *	38%
	1 día de secado	-15%	-8%	-12%
	3 días de secado	-38%	-42%	-42%

*No se pudo medir a estos especímenes el porcentaje de expansión por falta de material de laboratorio

Los porcentajes negativos indican una reducción del porcentaje de expansión, con mayor énfasis en aquellas probetas cuya condición fue de 3 días de secado antes de colocarlas a la poza sin tener mayor relevancia la cantidad de aditivo, excepto por aquellos especímenes con los que se trabajó con 10% menos de la cantidad de aditivo necesario según especificaciones técnicas.

En los gráficos se muestra claramente la tendencia a disminuir la expansión conforme la condición de secado varía del procedimiento normal para el CBR al secado de las probetas en tres días. La diferencia es notoria.

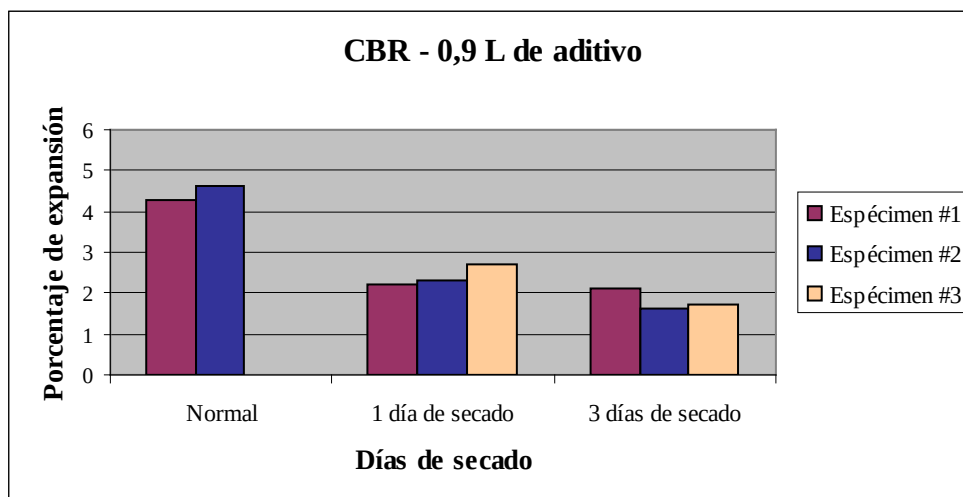


Figura 4.28. Valores del porcentaje de expansión para especímenes de fracción gruesa con 0,9 L de aditivo en 30 m³

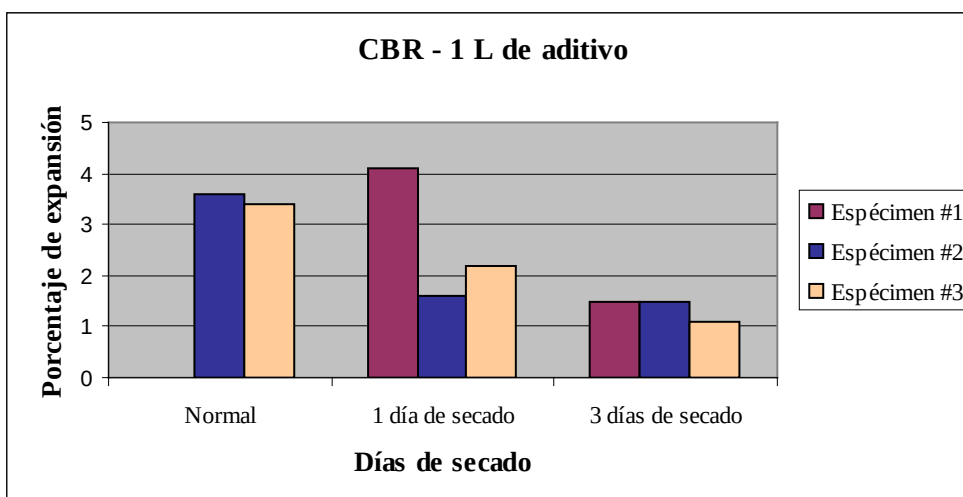


Figura 4.29. Valores del porcentaje de expansión para especímenes de fracción gruesa con 1 L de aditivo en 30 m³

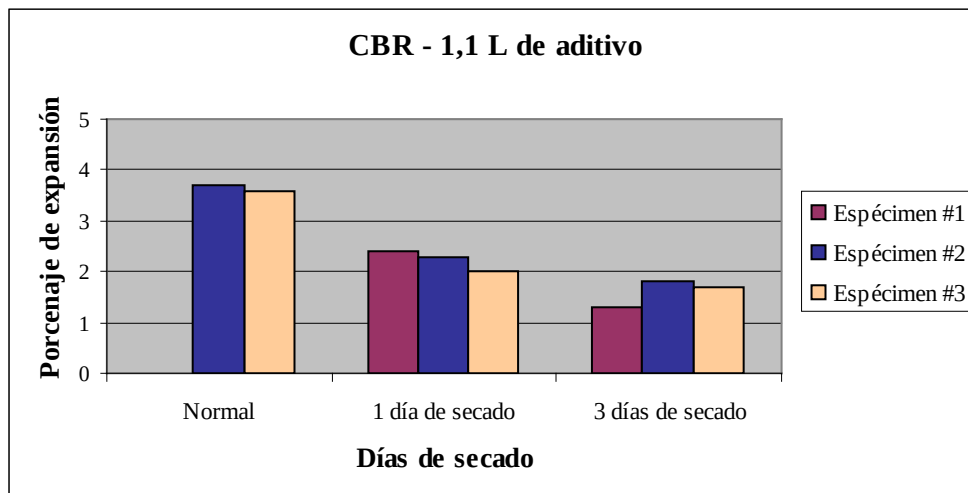


Figura 4.30. Valores del porcentaje de expansión para especímenes de fracción gruesa con 1,1 L de aditivo en 30 m³

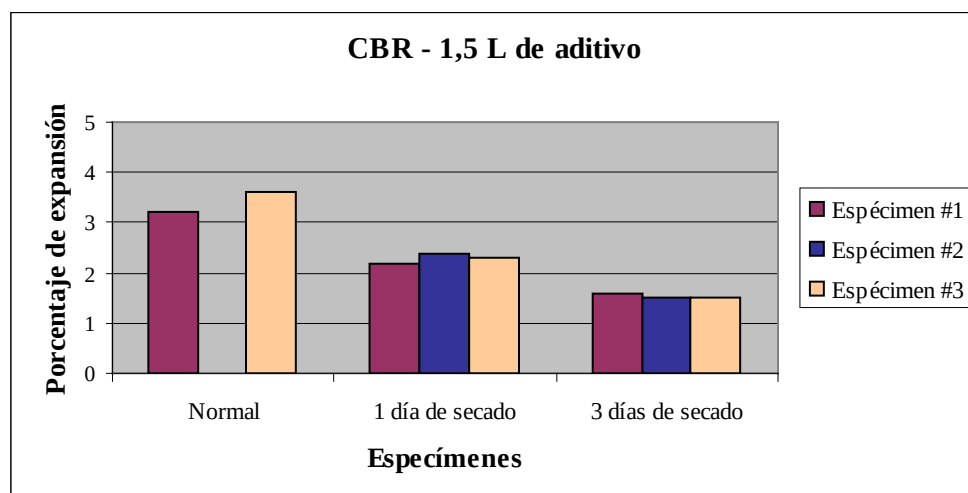


Figura 4.31. Valores del porcentaje de expansión para especímenes de fracción gruesa con 1,5 L de aditivo en 30 m³

4.5.1.5.-Valores CBR según pruebas del MTC con *Perma-Zyme 22X*:

El MTC (Ministerio de Transportes y Comunicaciones) realizó controles de calidad de éste aditivo sobre distintos suelos, entre ellos también sobre suelo CL (clasificación SUCS), el cual se está ensayando en esta tesis. Se pudo obtener los resultados de las pruebas CBR, las que se muestran en la figura 4.28. Para el suelo CL son las muestras M-1 y M-1A las primera sin aditivo y la segunda es la que se trabajó con el aditivo. Como se observa el cuadro muestra un suelo pobre en resistencia (CBR igual a 5) en la muestras M-1, luego, en la muestra M-1^a, los valores logran aumentar significativamente. Estos resultados coinciden con los obtenidos en nuestro experimento.

También se observa que las muestras M-3 y M-3A, no muestran mayor diferencia en sus resultados, estas muestras están compuestas en su mayoría por limos no plásticos,

material para el que el aditivo no está hecho; por lo tanto no se obtuvieron los mismos resultados positivos que con la arcilla plástica.

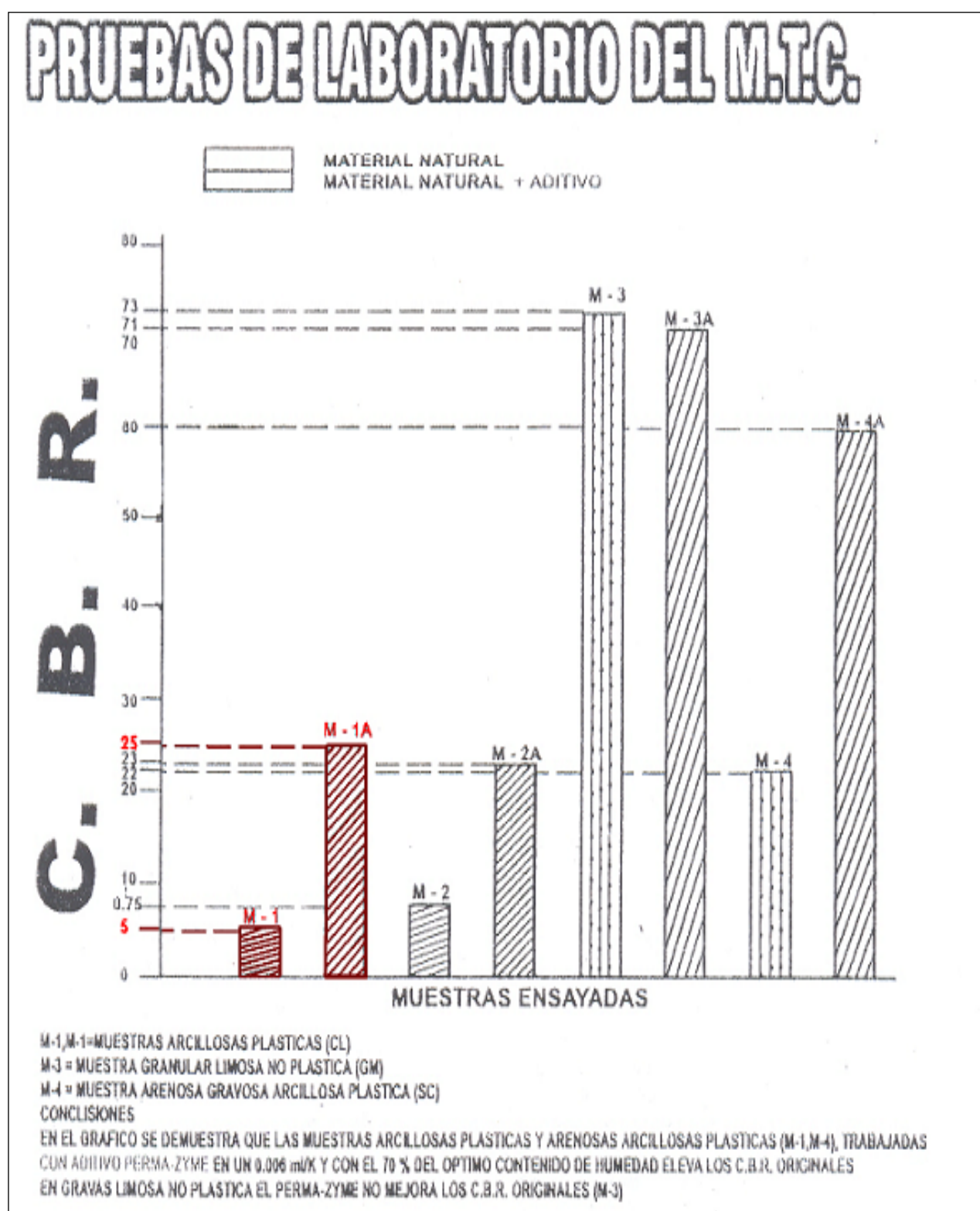


Figura 4.28. Valores CBR según pruebas del MTC

4.5.1.6.-Límites de consistencia

Por la presencia de arcilla en proporciones considerables, es necesario hallar las constantes físicas de suelos o los límites de consistencia tanto en la mezcla con aditivo como en la mezcla sin aditivo y evaluarlas.

a) Suelo sin aditivo

Determinaciones en el suelo sin aditivar dieron los siguientes resultados.

a.1) Fracción fina: Esta constituida tanto por arcillas como por limos. Los resultados fueron:

Características	Límite Líquido LL	Límite Plástico LP	IP
Sin aditivo	30	14	16

a.2) Fracción gruesa: Para hallar los límites, las muestras tomadas son de la parte fina de cada tipo de muestra.

Características	Límite Líquido LL	Límite Plástico LP	IP
Sin aditivo	30	14	16

Los límites plásticos muestran que el suelo posee valores superiores a los deseados tanto en el límite plástico como en el índice de plasticidad. Los valores indican en efecto un suelo plástico, débil. Se comparará con las muestras de suelo con aditivo.

b) Suelo con aditivo

Se determinaron los límites sobre el suelo trabajado con la concentración recomendada por el fabricante y con adiciones del 90% de la cantidad de aditivo, del 110 % y 150%; es decir con 10% y 50% más de la cantidad de aditivo recomendada.

b.1) Fracción fina: Para esta fracción se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 4.15. Límites de consistencia. Fracción fina

	Características	Límite Líquido LL	Límite Plástico LP	IP
0,9 L de aditivo en 30 m³	Normal	---- *	---- *	---- *
	1 día de secado	31	14	17
	3 días de secado	29	15	14
1,0 L de aditivo en 30 m³	Normal	28	17	11
	1 día de secado	31	15	16
	3 días de secado	29	13	16
1,1 L de aditivo en 30 m³	Normal	30	14	16
	1 día de secado	30	13	17
	3 días de secado	30	14	16
1,5 L de aditivo en 30 m³	Normal	30	14	16
	1 día de secado	31	14	17
	3 días de secado	29	14	15

* No se pudieron obtener muestras para realizar estas pruebas.

b.2) Fracción gruesa: Los resultados fueron los siguientes:

Tabla 4.16. Límites de consistencia. Fracción gruesa

	Características	Límite Líquido LL	Límite Plástico LP	IP
0,9 L de aditivo en 30 m³	Normal	---- *	---- *	----- *
	1 día de secado	29	13	16
	3 días de secado	30	14	16
1 L de aditivo en 30 m³	Normal	28	15	13
	1 día de secado	33	15	18
	3 días de secado	30	14	16
1,1 L de aditivo en 30 m³	Normal	---- *	---- *	---- *
	1 día de secado	31	14	17
	3 días de secado	29	13	16
1,5 L de aditivo en 30 m³	Normal	28	13	15
	1 día de secado	31	14	17
	3 días de secado	30	14	16

* No se pudieron obtener muestras para realizar estas pruebas.

Tanto en la tabla 4.15 como en la 4.16, se registran valores muy cercanos al de los límites del suelo sin aditivo. No hay alteración en los valores del límite plástico y no se evidencian cambios significativos en el índice plástico.

4.5.2.- Resultados de ensayos químicos:

Estas pruebas fueron llevadas a cabo en el Laboratorio de Química de la Universidad de Piura y se realizaron como ayuda adicional para comprobar si a través de las reacciones químicas se pueden corroborar de alguna manera los resultados mecánicos obtenidos.

Los resultados obtenidos en estas pruebas serán considerados como no relevantes en esta tesis. Las respuestas encontradas a partir de estos ensayos son confusas, por lo tanto no fiables para usarlas en esta investigación. Ésta situación se debe quizás a un error al momento de tomar las muestras por parte del investigador.

Sin embargo estudios anteriores realizados con una muestra aditivada de un suelo con las mismas características se tomarán como referencia; teniendo que resaltar el hecho que fueron tomadas para una investigación anterior con la misma finalidad.

El tipo de ensayo que se llevó a cabo fue de determinaciones físico – químicas varias en 2 muestras de suelo, cuyas características fueron las siguientes:

- **Muestra 1:** Suelo natural: Mezcla 75% de afirmado de la cantera La Ramsa más 25% de arcilla de la cantera parque Kurt Beer.
- **Muestra 2:** Suelo natural: Mezcla 75% de afirmado de la cantera La Ramsa más 25% de arcilla de la cantera parque Kurt Beer con aditivo *Perma-Zyme 22X* con solución patrón al 50 %.

Se determinó realizar las pruebas a estas dos muestras de suelo sin y con aditivo (al más alto porcentaje con el que se trabajó) para poder observar algún cambio significativo, de ésta manera se podría observar alguna diferencia en cuanto a una posible mejora por el uso del aditivo.

Ensayo	Código	Muestra 01	Muestra 02	Porcentaje de variación
Sulfatos²	%	0,0402	0,0333	17,16 %
	ppm	402	333	
Sales solubles³	%	0,1425	0,1223	14,18 %
	ppm	1425	1223	
Conductividad eléctrica	mS/cm	4,67	4,61	1,28 %
pH⁴		8,64	8,67	0,35 %

Métodos: ²NTP 339.178 ³NTP 339.152 ⁴NTP 339.176

Las determinaciones físicas químicas arrojaron los siguientes resultados:

- El pH del suelo está dentro del amplio rango establecido por las especificaciones técnicas del producto (4,5 – 9,5). El pH del suelo original es de 8,64; el cual es alto e indica un suelo alcalino, éste pH no presenta mayor diferencia en la siguiente prueba (la muestra 2), en la cual el pH es 8,67. Como hemos indicado la variación de pH modifica el grado de solubilidad de los minerales, efecto que no está definido pues el porcentaje de variación entre ambas muestras es del 0,35%, un mínimo.
- Las muestras de suelo poseen una alta concentración de sales solubles, así tenemos que en la muestra 1 el resultado fue de 1425 ppm y en la muestra 2 de 1223 ppm. La alta concentración de sales trae como consecuencia también una alta conductividad eléctrica (muestra 1: 4,67 mS/cm y muestra 2: 4,64 mS/cm). En los resultados se puede apreciar una diferencia en porcentaje del 14,18% de sales solubles entre la muestra 1 (sin aditivo) y la muestra 2 (con aditivo diluido); diferencia que se puede traducir como consecuencia final de una serie de reacciones de intercambio catiónico, que conllevarían a un efecto de asentamiento y aglutinamiento de las sales y por lo tanto a su disminución. Este efecto está indicado en las especificaciones técnicas del producto y sería una demostración de lo que se quería demostrar en la investigación; por lo tanto, se puede decir que químicamente las pruebas demostraron que hay tendencia a una acción cementante por la disminución de las sales.

Conclusiones

1. Las pruebas mecánicas demuestran que existe una tendencia a mejorar ciertas propiedades:
 - Aumento del valor soporte relativo y de la resistencia. Se confirma una mejoría en los resultados de las pruebas CBR, con un aumento en los resultados de las pruebas de hasta el 200% en el material con aditivo con respecto al material sin aditivo.
 - Los mejores resultados se dieron en aquellas probetas en la cuales se trabajó con la mayor concentración de aditivo y con la condición de 72 horas de secado antes de colocarlas en la poza de curado.
 - Los resultados de CBR coinciden con los resultados de las pruebas hechas por el MTC, lo que confiere una mayor credibilidad a la investigación.
 - Existe la tendencia a la disminución de absorción de agua. El aditivo provoca la acción aglutinante sobre los materiales finos plásticos-arcillosos, por la cual en las probetas con mayor porcentaje de finos la absorción de agua (aunque no muy notoria) es menor.
 - Existe la tendencia a la disminución del hinchamiento. Mayor reducción en aquellas probetas a las cuales se dejó el aditivo actuar 72 horas antes de ponerlas en la cámara de curado.
 - La mayor reducción del hinchamiento lograda fue de un 50% con respecto a las probetas si aditivo.

2. Desde el punto de vista físico-químico los parámetros medidos: sales solubles totales y conductividad eléctrica muestran los cambios producidos en el sistema suelo – aditivo. La diferencia sutil en la cantidad de sales solubles (en la muestra sin aditivo es mayor que en la muestra con aditivo) así como las mediciones de la conductividad eléctrica (en la muestra 1 es mayor que en la muestra 2); arrojan una posible tendencia de un efecto cementante (por la reducción de la cantidad de las sales y conductividad eléctrica) el que es originado por el aditivo.

Bibliografía

- **ASEFA.** Patologías por arcillas expansivas. Naturaleza y comportamiento. España. (2004).
- **ASOCIACIÓN BCEOM-OIST.** Manual de mantenimiento vial. Ministerio de transportes, comunicaciones, vivienda y construcción. República del Perú. (2001).
- **ANGULO C.** Estadística. Universidad de Piura, Piura. (2005).
- **ANGULO TRELLES R.** Estabilización de subrasantes con cal. Tesis en curso para optar el título de ingeniero civil por la Universidad de Piura, Piura (2004).
- **BORNEMISZA E.** Introducción a la química de suelos. Facultad de Agronomía. Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. (1982).
- **GARNICA P., GÓMEZ J., SESMA, J.** Mecánica de materiales para pavimentos. México. (2002).
- **GARNICA P, PÉREZ A., GÓMEZ J., OBIL E.** Estabilización de suelos con cloruro de sodio para su uso en las vías terrestres. Publicación técnica No.201. México. (2002).
- **IDPP (Instituto para el desarrollo de los pavimentos en el Perú),** La nueva guía AASHTO para el diseño de estructuras de pavimentos. Lima, Perú.

- **MTC (Ministerio de Transportes y Comunicaciones).** Especificaciones técnicas generales para la construcción de carreteras EG-2000. Lima, Perú. (2000).
- **MTC (Ministerio de Transportes y Comunicaciones).** Manual de especificaciones técnicas generales para construcción de caminos de bajo volumen de tránsito. Lima, Perú. (2005).
- **MTC (Ministerio de Transportes y Comunicaciones).** Manual de diseño geométrico para carreteras DG-2001. Lima, Perú. (2001).
- Norma Técnica de estabilizadores químicos. Dirección general de caminos y ferrocarriles. Lima, Perú. (2004).
- **KENT N., TINGLE J.** Emulsion polymers for soil stabilization. U.S. Army Engineer Research and Development Center. USA. (2004).
- **LIME (National LIME Association).** Manual de estabilización de suelo tratado con cal. Boletín 326. USA. (2004)
- **NTP (Norma Técnica Peruana) 339.128.** Método de ensayo para el análisis granulométrico. Lima, Perú. (1999)
- **NTP (Norma Técnica Peruana) 339.129.** Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelo. Lima, Perú. (1999).
- **NTP (Norma Técnica Peruana) 339.134.** Método para la clasificación de suelos con propósitos de ingeniería (Sistema unificado de clasificación de suelos, SUCS). Lima, Perú. (1999).
- **NTP (Norma Técnica Peruana) 339.135.** Método para la clasificación de suelos para uso en vías de transporte. Lima, Perú. (1999).
- **NTP (Norma Técnica Peruana) 339.145.** Método de ensayo de CBR (Relación de Soporte de California) de suelos compactados en laboratorio, Lima, Perú. (1999).
- **RAUCH, A., KATZ L., LILJESTRAND,** An analysis of the mechanisms and efficacy of three liquid chemical soil stabilizers. Texas. (1993).
- **RICO RODRÍGUEZ A., OROZCO y OROZCO J., TÉLLEZ GUTIERREZ R., PÉREZ GARCÍA A.** Manual de calidad de los materiales en secciones estructurales de pavimentos y carreteras. Documento Técnico N° 1, Sanfandila, Qro. (1990)

- **ROJAS J., ALVA J.**, Arcillas y lutitas expansivas en el norte y nororiente peruano. Ponencia presentada en el VII Congreso nacional de ingeniería civil. Huaraz.
- **TORRENTE M., SAGÜES L.** Estabilización de suelos – suelo/cemento. Barcelona, España. (1974).

Linkografía

- **BOTASSO H. G., FENSEL E. A., RICCI L.A.** Centro de Investigaciones Viales LEMaC, UTN. La Plata, Argentina. (2003). Estabilizantes iónicos de suelos para la construcción.
<http://www.materialessam.org.ar/sitio/biblioteca/bariloche/Trabajos/A09/0930.PDF> (estabilizantes iónicos)
- **CAMINOS ARGENTINOS S.A.** Perma-Zyme.
<http://www.caminosargentinossa.com.ar/>
- **CENTRO DE INVESTIGACIONES VIALES LEMaC.** Universidad Tecnológica Nacional. <http://www.frlp.utn.edu.ar/lemac/>
- **GLOBAL ZYME LTD.** Perma-Zyme. Inglaterra, UK. (2006).
<http://www.globalzyme.com/perma-zyme.htm>
- **HERNÁNDEZ Gil R.** Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela. (2007). Enzima. <http://www.forest.ula.ve/~rubenhg/enzimas/index.html>
- **LÓPE LARA T., HERNÁNDEZ-ZARAGOZA J., HORTA-RANGELL J., CORONADO-MÁRQUEZ A., CASTAÑO-MENESES V.** Universidad Autónoma de Querétaro –México. (2010). Polímeros para la estabilización volumétrica de arcillas expansivas.
<http://www.ehu.es/reviberpol/pdf/MAY10/lopez.pdf>
- **MTC (Ministerio de Transportes y Comunicaciones).** Manual de diseño geométrico para carreteras DG-2001. Lima, Perú. (2001).

<http://www.scribd.com/doc/29798627/manual-de-diseño-geométrico-para-carreteras-DG-%E2%80%93-2001-MTC>.

- **MTC (Ministerio de Transporte y Comunicaciones).** Lima, Perú.(2000). Especificaciones técnicas generales Especificaciones técnicas generales para la construcción de carreteras EG-2000.
<http://www.mtc.gob.pe/portal/transportes/caminosferro/manual/EG2000/index.htm>
- **QUINCHE GRANDA W., CARAGUAY CUENCA W., CARTUCHE MOROCHO A., ZÚÑIGA A., SERRANO R.** Universidad Técnica Particular de Loja, UTPL. Ecuador. (2008). Estabilización de suelos para su uso en vías terrestres.
http://www.utpl.edu.ec/ucg/images/stories/Investigaciones/quince_caragua_y_car-tuche_zu%F1iga_serrano.pdf
- **RUCKS L., GARCÍA F., KAPLÁN A., PONDE DE LEÓN J., HILL M.** Universidad de la República. Montevideo, Uruguay (2004). Propiedades físicas del suelo.
<http://www.fagro.edu.uy/~edafologia/curso/Material%20de%20lectura/FISICAS/fi-sicas.pdf>
- **SECSA S.A.** Perma-Zyme 11X. Bogotá. Colombia.
<http://www.secsasa.com/Productos/PermaZyme11x.htm>
- **STASOIL S.A.C.** Terra-Zyme. (2004)
http://www.stasoil.com/pdf/newterrazyme_10_01_04.pdf

Anexo A -1

PRUEBAS CBR

Suelo sin aditivo: Fracción fina

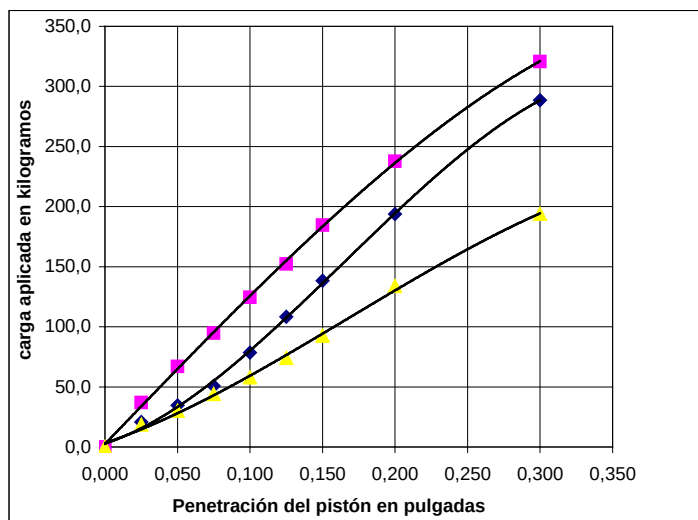
**MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA RAZÓN SOPORTE DE CALIFORNIA
DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO**
Norma : NTP - 339 - 145 - 1999

Solicitante: María Alejandra Ravines Merino
Obra : Tesis de grado

Muestra : Fracción fina sin aditivo.
Identificación : 1° Tanda

Procedencia : Mezcla: 75% de afirmado de cantera La Ramsa y 25% de arcilla de cantera Parque Kurt Beer.

	Especimen # 1		Molde # 44-56golp.		Especimen # 2		Molde # 46-56golp.		Especimen # 3		Molde # 49-56golp.	
	sin corregir		corregido		sin corregir		corregido		sin corregir		corregido	
Penetración	lect.dial	carga	carga	C.B.R.	lect.dial	carga	carga	C.B.R.	lect.dial	carga	carga	C.B.R.
pulgadas	pulg.	kg.	kg	%	pulg.	kg.	kg	%	pulg.	kg.	kg	%
0,000	0,0000	0,0			0,0000	0,0			0,0000	0,0		
0,025	0,0005	20,8			0,0008	36,9			0,0004	18,5		
0,050	0,0008	34,6			0,0015	66,9			0,0007	30,0		
0,075	0,0011	50,8			0,0021	94,6			0,001	43,8		
0,100	0,0017	78,5	78,5	6	0,0027	124,6	124,6	9	0,0013	57,7	57,7	4
0,125	0,0024	108,5			0,0033	152,3			0,0016	73,8		
0,150	0,0030	138,5			0,004	184,6			0,002	92,3		
0,200	0,0042	193,8	193,8	9	0,0052	237,7	237,7	12	0,0029	133,8	129,2	6
0,300	0,0063	288,4			0,007	320,7			0,0042	193,8		



Fecha de ensayo: 18/09/2009

**MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA RAZÓN SOPORTE DE CALIFORNIA
DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO
Norma: NTP – 339 – 145 - 1999**

MUESTRA:

Identificación : Fracción fina sin aditivo.

Procedencia : 75% afirmado de cantera La Ramsa y 25% arcilla de cantera parque Kurt Beer.

DATOS DE LOS ESPECÍMENES ENSAYADOS

Espécimen	# 1	# 2	# 3
<i>Método de preparación y compactación</i>	<i>Húmedo</i>	<i>Húmedo</i>	<i>Húmedo</i>
<i>Condición al momento de ensayarlos</i>	<i>Remojados 04 días</i>		
<i>% de humedad de compactación</i>	12	12	12
<i>Densidad seca antes de sumergirlos en agua</i>	2,00	2,00	2,00
<i>Compactación en golpes por capa</i>	56	56	56

RESULTADOS

Espécimen	# 1	# 2	# 3
% de expansión con respecto a su altura inicial	4,07	4,05	-----
C.B.R. corregido a 0,1" de penetración	6	9	4
C.B.R. corregido a 0,2" de penetración	9	12	6
Cantidad de sobrecarga	10 lbs	10 lbs	10 lbs

Operador : Sr. Alex Núñez
Supervisor : María Alejandra Ravines Merino
Fecha de ensayo : 18/09/2009

Anexo A - 2

PRUEBAS CBR

Suelo sin aditivo: Fracción gruesa

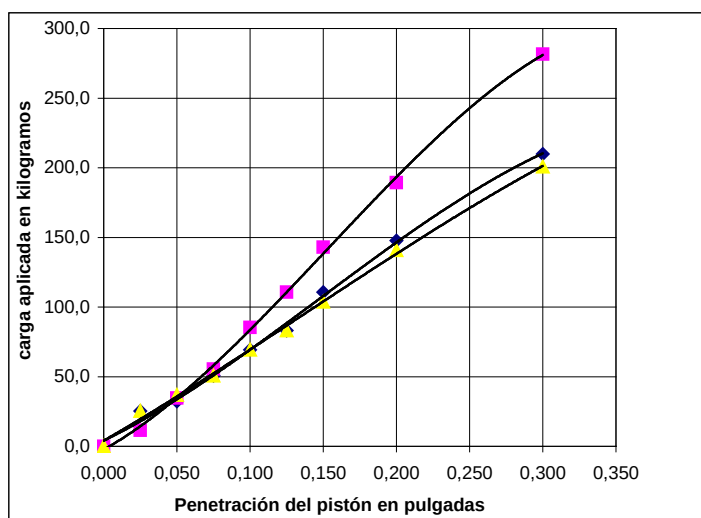
**MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA RAZÓN SOPORTE DE CALIFORNIA
DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO**
Norma : NTP - 339 - 145 - 1999

Solicitante: María Alejandra Ravines Merino
Obra : Tesis de grado

Muestra : Fracción gruesa sin aditivo.
Identificación : 1° Tanda

Procedencia : Mezcla: 75% afirmado de cantera La Ramsa y 25% arcilla de cantera parque Kurt Beer.

	Especimen # 1				Especimen # 2				Especimen # 3			
	sin corregir		corregido		sin corregir		corregido		sin corregir		corregido	
Penetración	lect.dial	carga	carga	C.B.R.	lect.dial	carga	carga	C.B.R.	lect.dial	carga	carga	C.B.R.
pulgadas	pulg.	kg.	kg	%	pulg.	kg.	kg	%	pulg.	kg.	kg	%
0,000	0,0000	0,0			0,0000	0,0			0,0000	0,0		
0,025	0,0006	25,4			0,0003	11,5			0,0006	25,4		
0,050	0,0007	32,3			0,0008	34,6			0,0008	36,9		
0,075	0,0011	50,8			0,0012	55,4			0,0011	50,8		
0,100	0,0015	69,2	69,2	5	0,0019	85,4	85,4	6	0,0015	69,2	69,2	5
0,125	0,0018	83,1			0,0024	110,8			0,0018	83,1		
0,150	0,0024	110,8			0,0031	143,1			0,0023	103,8		
0,200	0,0032	147,7	147,7	7	0,0041	189,2	189,2	9	0,0031	140,8	140,8	7
0,300	0,0046	210,0			0,0061	281,5			0,0044	200,8		



Fecha de ensayo: 18/09/2009

**MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA RAZÓN SOPORTE DE CALIFORNIA
DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO**

Norma: NTP – 339 – 145 - 1999

MUESTRA:

Identificación : Fracción gruesa sin aditivo.

Procedencia : 75% afirmado de cantera La Ramsa y 25% arcilla de cantera parque Kurt Beer.

DATOS DE LOS ESPECÍMENES ENSAYADOS

Espécimen	# 1	# 2	# 3
<i>Método de preparación y compactación</i>	<i>Húmedo</i>	<i>Húmedo</i>	<i>Húmedo</i>
<i>Condición al momento de ensayarlos</i>	<i>Remojados 04 días</i>		
<i>% de humedad de compactación</i>	<i>8</i>	<i>8</i>	<i>8</i>
<i>Densidad seca antes de sumergirlos en agua</i>	<i>2,14</i>	<i>2,17</i>	<i>2,16</i>
<i>Compactación en golpes por capa</i>	<i>56</i>	<i>56</i>	<i>56</i>

RESULTADOS

Espécimen	# 1	# 2	# 3
% de expansión con respecto a su altura inicial	2,62	1,84	-----
C.B.R. corregido a 0,1” de penetración	5	6	5
C.B.R. corregido a 0,2” de penetración	7	9	7
Cantidad de sobrecarga	10 lbs	10 lbs	10 lbs

Operador : Sr. Alex Núñez
Supervisor : María Alejandra Ravines Merino
Fecha de ensayo : 18/09/2009

Anexo B

PRUEBAS CBR

Procedimiento normal

Suelo con aditivo: Fracción fina

Anexo B – 1

0,9 L de aditivo en 30 m³ de suelo

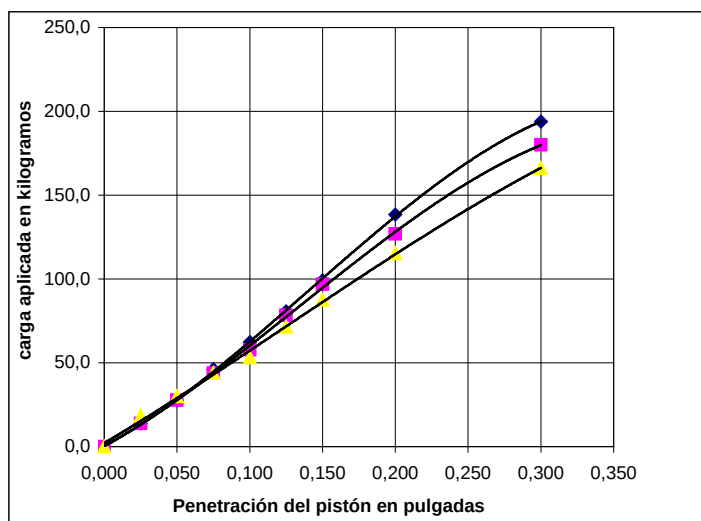
**MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA RAZÓN SOPORTE DE CALIFORNIA
DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO**
Norma : NTP - 339 - 145 - 1999

Solicitante: María Alejandra Ravines Merino
Obra : Tesis de grado

Muestra : Fracción fina con 0,9 L de aditivo.
Identificación : 3° Tanda

Procedencia : Mezcla: 75% afirmado de cantera La Ramsa y 25% arcilla de cantera parque Kurt Beer.

Penetración	Espécimen # 1				Espécimen # 2				Espécimen # 3			
	sin corregir		corregido		sin corregir		corregido		sin corregir		corregido	
	lect.dial	carga	carga	C.B.R.	lect.dial	carga	carga	C.B.R.	lect.dial	carga	carga	C.B.R.
pulgadas	pulg.	kg.	kg	%	pulg.	kg.	kg	%	pulg.	kg.	kg	%
0,000	0,0000	0,0			0,0000	0,0			0,0000	0,0		
0,025	0,0003	13,8			0,0003	13,8			0,0004	18,5		
0,050	0,0006	27,7			0,0006	27,7			0,0007	30,0		
0,075	0,0010	46,2			0,001	43,8			0,001	43,8		
0,100	0,0014	62,3	62,3	5	0,0013	57,7	57,7	4	0,0012	53,1	53,1	4
0,125	0,0018	80,8			0,0017	78,5			0,0016	71,5		
0,150	0,0022	99,2			0,0021	96,9			0,0019	87,7		
0,200	0,0030	138,5	138,5	7	0,0028	126,9	126,9	6	0,0025	115,4	115,4	6
0,300	0,0042	193,8			0,0039	180,0			0,0036	166,1		



Fecha de ensayo: 23/10/2009

**MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA RAZÓN SOPORTE DE CALIFORNIA
DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO
Norma: NTP – 339 – 145 - 1999**

MUESTRA:

Identificación : Fracción fina con 0,9 L de aditivo.

Procedencia : 75% afirmado de cantera La Ramsa y 25% arcilla de parque Kurt Beer.

DATOS DE LOS ESPECÍMENES ENSAYADOS

Espécimen	# 1	# 2	# 3
<i>Método de preparación y compactación</i>	<i>Húmedo</i>	<i>Húmedo</i>	<i>Húmedo</i>
<i>Condición al momento de ensayarlos</i>	<i>Remojados 04 días</i>		
<i>% de humedad de compactación</i>	<i>12</i>	<i>12</i>	<i>12</i>
<i>Densidad seca antes de sumergirlos en agua</i>	<i>2,00</i>	<i>1,98</i>	<i>1,98</i>
<i>Compactación en golpes por capa</i>	<i>56</i>	<i>56</i>	<i>56</i>

RESULTADOS

Espécimen	# 1	# 2	# 3
% de expansión con respecto a su altura inicial	3,15	3,04	3,02
C.B.R. corregido a 0,1" de penetración	5	4	4
C.B.R. corregido a 0,2" de penetración	7	6	6
Cantidad de sobrecarga	10 lbs	10 lbs	10 lbs

Operador : Sr. Alex Núñez
Supervisor : María Alejandra Ravines Merino
Fecha de ensayo : 23/10/2009

Anexo B – 2

1 L de aditivo en 30 m³ de suelo

MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA RAZÓN SOPORTE DE CALIFORNIA DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO

Norma : NTP - 339 - 145 - 1999

Solicitante: **María Alejandra Ravines Merino**

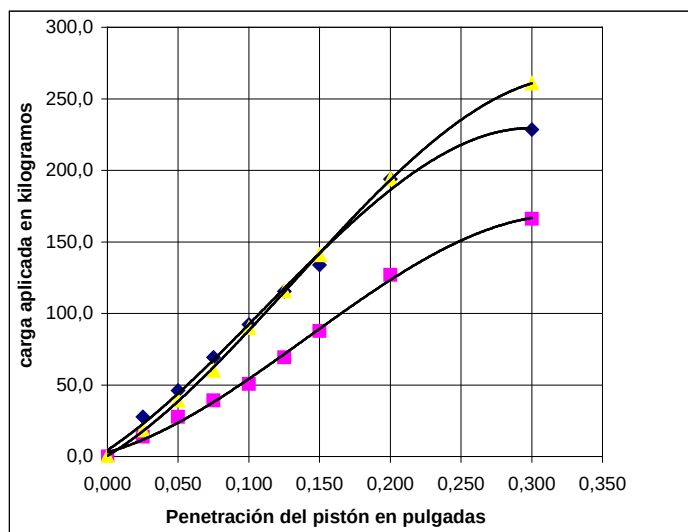
Obra : Tesis de grado

Muestra : Fracción fina con 1 L de aditivo

Identificación : 3° Tanda

Procedencia : Mezcla: 75% afirmado de cantera La Ramsa y 25% arcilla de cantera parque Kurt Beer.

		Especímen # 1		Molde # 47-56golg.		Especímen # 2		Molde # 48-56golg.		Especímen # 3		Molde # 49-56golg.	
		sin corregir		corregido		sin corregir		corregido		sin corregir		corregido	
Penetración	lect.dial	carga	carga	C.B.R.	lect.dial	carga	carga	C.B.R.	lect.dial	carga	carga	C.B.R.	
pulgadas	pulg.	kg.	kg	%	pulg.	kg.	kg	%	pulg.	kg.	kg	%	
0,000	0,0000	0,0			0,0000	0,0			0,0000	0,0			
0,025	0,0006	27,7			0,0003	13,8			0,0004	18,5			
0,050	0,0010	46,2			0,0006	27,7			0,0009	39,2			
0,075	0,0015	69,2			0,0009	39,2			0,0013	60,0			
0,100	0,0020	92,3	92,3	7	0,0011	50,8	50,8	4	0,002	90,0	90,0	7	
0,125	0,0025	115,4			0,0015	69,2			0,0025	115,4			
0,150	0,0029	133,8			0,0019	87,7			0,0031	140,8			
0,200	0,0037	193,8	193,8	9	0,0028	126,9	126,9	6	0,0042	193,8	193,8	9	
0,300	0,0050	228,4			0,0036	166,1			0,0057	260,7			



Fecha de ensayo: 18/09/2009

MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA RAZÓN SOPORTE DE CALIFORNIA

DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO

Norma: NTP – 339 – 145 - 1999

MUESTRA:

Identificación : Fracción fina con 1 L de aditivo.

Procedencia : 75% afirmado de cantera La Ramsa y 25% arcilla de cantera parque Kurt Beer.

DATOS DE LOS ESPECÍMENES ENSAYADOS

Espécimen	# 1	# 2	# 3
<i>Método de preparación y compactación</i>	<i>Húmedo</i>	<i>Húmedo</i>	<i>Húmedo</i>
<i>Condición al momento de ensayarlos</i>	<i>Remojados 04 días</i>		
<i>% de humedad de compactación</i>	<i>12</i>	<i>12</i>	<i>12</i>
<i>Densidad seca antes de sumergirlos en agua</i>	<i>2,00</i>	<i>1,98</i>	<i>1,98</i>
<i>Compactación en golpes por capa</i>	<i>56</i>	<i>56</i>	<i>56</i>

RESULTADOS

Espécimen	# 1	# 2	# 3
% de expansión con respecto a su altura inicial	2,63	4,31	2,23
C.B.R. corregido a 0,1” de penetración	7	4	7
C.B.R. corregido a 0,2” de penetración	9	6	9
Cantidad de sobrecarga	10 lbs	10 lbs	10 lbs

Operador : Sr. Alex Núñez
Supervisor : María Alejandra Ravines Merino
Fecha de ensayo : 18/09/2009

Anexo B – 3

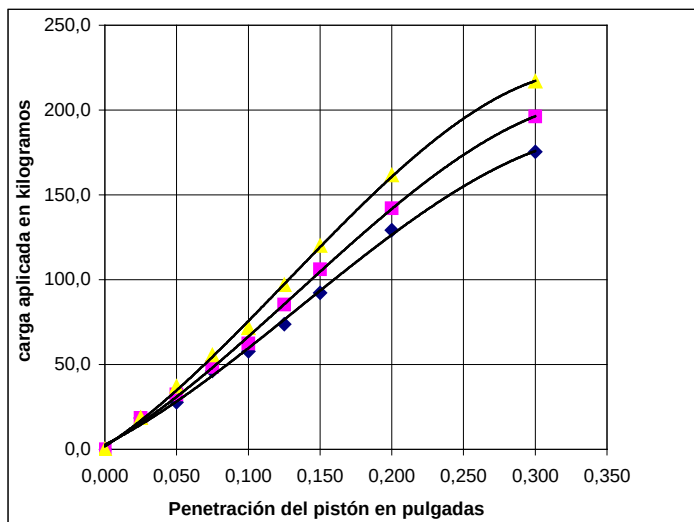
1,1 L de aditivo en 30 m³ de suelo

Obra : Tesis de grado

Identificación : 8º Tanda

Procedencia : Mezcla: 75% afirmado de cantera La Ramsa y 25% arcilla de cantera parque Kurt Beer.

Part B-201												
	Especimen # 1		Molde # 1A-56golp.		Especimen # 2		Molde # 2A-56golp.		Especimen # 3		Molde # 3A-56golp.	
	sin corregir		corregido		sin corregir		corregido		sin corregir		corregido	
Penetración	lect.dial	carga	carga	C.B.R.	lect.dial	carga	carga	C.B.R.	lect.dial	carga	carga	C.B.R.
pulgadas	pulg.	kg.	kg	%	pulg.	kg.	kg	%	pulg.	kg.	kg	%
0,000	0,0000	0,0			0,0000	0,0			0,0000	0,0		
0,025	0,0004	18,5			0,0004	18,5			0,0004	18,5		
0,050	0,0006	27,7			0,0007	32,3			0,0008	36,9		
0,075	0,0010	46,2			0,0011	48,5			0,0012	55,4		
0,100	0,0013	57,7	57,7	4	0,0014	62,3	62,3	5	0,0016	71,5	71,5	5
0,125	0,0016	73,8			0,0019	85,4			0,0021	96,9		
0,150	0,0020	92,3			0,0023	106,1			0,0026	120,0		
0,200	0,0028	129,2	129,2	6	0,0031	142,1	142,1	7	0,0035	161,5	161,5	8
0,300	0,0038	175,4			0,0043	196,1			0,0047	216,9		



Fecha de ensayo: 15/11/2009

MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA RAZÓN SOPORTE DE CALIFORNIA DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO

Norma: NTP – 339 – 145 - 1999

MUESTRA:

Identificación : Fracción fina con 1,1 L de aditivo.

Procedencia : 75% afirmado de cantera La Ramsa y 25% arcilla de cantera de parque Kurt Beer.

DATOS DE LOS ESPECÍMENES ENSAYADOS

Espécimen	# 1	# 2	# 3
<i>Método de preparación y compactación</i>	<i>Húmedo</i>	<i>Húmedo</i>	<i>Húmedo</i>
<i>Condición al momento de ensayarlos</i>	<i>Remojados 04 días</i>		
<i>% de humedad de compactación</i>	12	12	12
<i>Densidad seca antes de sumergirlos en agua</i>	1,99	1,96	1,96
<i>Compactación en golpes por capa</i>	56	56	56

RESULTADOS

Espécimen	# 1	# 2	# 3
% de expansión con respecto a su altura inicial	2,89	3,46	2,98
C.B.R. corregido a 0,1” de penetración	4	5	5
C.B.R. corregido a 0,2” de penetración	6	7	8
Cantidad de sobrecarga	10 lbs	10 lbs	10 lbs

Operador : Sr. Alex Núñez
Supervisor : María Alejandra Ravines Merino.
Fecha de ensayo : 15/11/2009

Anexo B – 4

1,5 L de aditivo en 30 m³ de suelo

MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA RAZÓN SOPORTE DE CALIFORNIA DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO

Norma : NTP - 339 - 145 - 1999

Solicitante: **María Alejandra Ravines Merino**

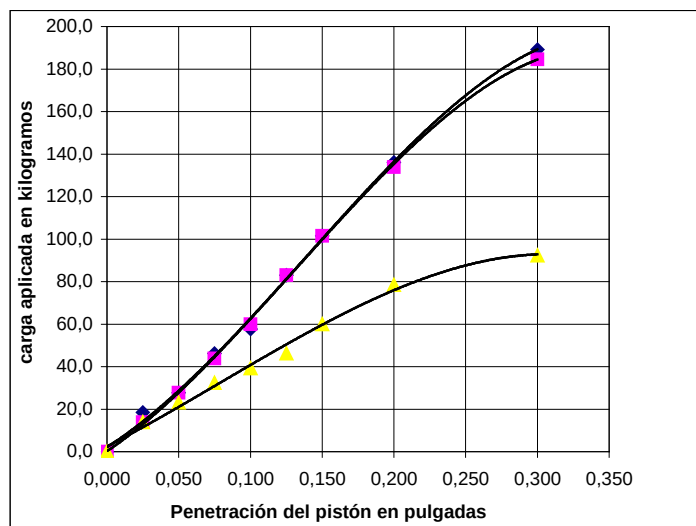
Obra : Tesis de grado

Muestra : Fracción fina con 1,5 L de aditivo

Identificación : 8º Tanda

Procedencia : Mezcla: 75% afirmado de cantera La Ramsa y 25% arcilla de cantera parque Kurt Beer.

Kali Dec.												
	Especimen # 1		Molde # 40-56golg.		Especimen # 2		Molde # 41-56golg.		Especimen # 3		Molde # 42-56golg.	
	sin corregir		corregido		sin corregir		corregido		sin corregir		corregido	
Penetración	lect.dial	carga	carga	C.B.R.	lect.dial	carga	carga	C.B.R.	lect.dial	carga	carga	C.B.R.
pulgadas	pulg.	kg.	kg	%	pulg.	kg.	kg	%	pulg.	kg.	kg	%
0,000	0,0000	0,0			0,0000	0,0			0,0000	0,0		
0,025	0,0004	18,5			0,0003	13,8			0,0003	13,8		
0,050	0,0006	27,7			0,0006	27,7			0,0005	23,1		
0,075	0,0010	46,2			0,001	43,8			0,0007	32,3		
0,100	0,0013	57,7	57,7	4	0,0013	60,0	60,0	4	0,0009	39,2	39,2	3
0,125	0,0018	83,1			0,0018	83,1			0,001	46,2		
0,150	0,0022	101,5			0,0022	101,5			0,0013	60,0		
0,200	0,0030	136,1	136,1	7	0,0029	133,8	133,8	7	0,0017	78,5	78,5	4
0,300	0,0041	189,2			0,004	184,6			0,002	92,3		



Fecha de ensayo: 15/11/2009

**MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA RAZÓN SOPORTE DE CALIFORNIA
DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO
Norma: NTP – 339 – 145 - 1999**

MUESTRA:

Identificación : Fracción fina con 1,5 L de aditivo.

Procedencia : 75% afirmado de cantera La Ramsa y 25% arcilla de cantera parque Kurt Beer.

DATOS DE LOS ESPECÍMENES ENSAYADOS

Espécimen	# 1	# 2	# 3
<i>Método de preparación y compactación</i>	<i>Húmedo</i>	<i>Húmedo</i>	<i>Húmedo</i>
<i>Condición al momento de ensayarlos</i>	<i>Remojados 04 días</i>		
<i>% de humedad de compactación</i>	<i>12</i>	<i>12</i>	<i>12</i>
<i>Densidad seca antes de sumergirlos en agua</i>	<i>1,97</i>	<i>1,98</i>	<i>1,96</i>
<i>Compactación en golpes por capa</i>	<i>56</i>	<i>56</i>	<i>56</i>

RESULTADOS

Espécimen	# 1	# 2	# 3
% de expansión con respecto a su altura inicial	3,22	3,49	3,37
C.B.R. corregido a 0,1" de penetración	4	4	3
C.B.R. corregido a 0,2" de penetración	7	7	4
Cantidad de sobrecarga	10 lbs	10 lbs	10 lbs

Operador : Sr. Alex Núñez
Supervisor : María Alejandra Ravines Merino
Fecha de ensayo : 15/11/2009

Anexo C

PRUEBAS CBR

Procedimiento: Secado 1 día

Suelo con aditivo: Fracción fina

Anexo C – 1

0,9 L de aditivo en 30 m³ de suelo

**MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA RAZÓN SOPORTE DE CALIFORNIA
DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO**

Norma : NTP - 339 - 145 - 1999

Solicitante: **María Alejandra Ravines Merino**

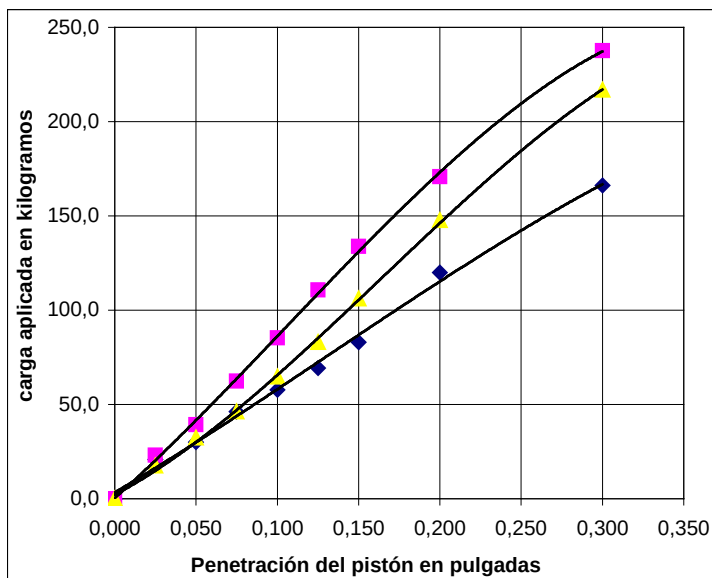
Obra : Tesis de grado

Muestra : Fracción fina con 0,9 L de aditivo. Secado 1 día.

Identificación : 10° Tanda

Procedencia : Mezcla: 75% afirmado de cantera La Ramsa y 25% arcilla de cantera parque
Kurt Beer.

	Especimen # 1				Especimen # 2				Especimen # 3			
	sin corregir		corregido		sin corregir		corregido		sin corregir		corregido	
Penetración	lect.dial	carga	carga	C.B.R.	lect.dial	carga	carga	C.B.R.	lect.dial	carga	carga	C.B.R.
pulgadas	pulg.	kg.	kg	%	pulg.	kg.	kg	%	pulg.	kg.	kg	%
0,000	0,0000	0,0			0,0000	0,0			0,0000	0,0		
0,025	0,0005	20,8			0,0005	23,1			0,0004	17,5		
0,050	0,0007	30,0			0,0009	39,2			0,0007	32,3		
0,075	0,0010	46,2			0,0014	62,3			0,001	46,2		
0,100	0,0013	57,7	57,7	4	0,0019	85,4	85,4	6	0,0014	64,6	64,6	5
0,125	0,0015	69,2			0,0024	110,8			0,0018	83,1		
0,150	0,0018	83,1			0,0029	133,8			0,0023	106,1		
0,200	0,0026	120,0	120,0	6	0,0037	170,8	170,8	8	0,0032	147,7	147,7	7
0,300	0,0036	166,1			0,0052	237,7			0,0047	216,9		



Fecha de ensayo: 24/11/2009

MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA RAZÓN SOPORTE DE CALIFORNIA DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO

Norma: NTP – 339 – 145 - 1999

MUESTRA:

Identificación : Fracción fina con 0,9 L de aditivo. Secado 1 día.

Procedencia : 75% afirmado de cantera La Ramsa y 25% arcilla de cantera parque Kurt Beer.

DATOS DE LOS ESPECÍMENES ENSAYADOS

Espécimen	# 1	# 2	# 3
<i>Método de preparación y compactación</i>	<i>Húmedo</i>	<i>Húmedo</i>	<i>Húmedo</i>
<i>Condición al momento de ensayarlos</i>	<i>Remojados 04 días</i>		
<i>% de humedad de compactación</i>	<i>12</i>	<i>12</i>	<i>12</i>
<i>Densidad seca antes de sumergirlos en agua</i>	<i>1,98</i>	<i>1,99</i>	<i>1,99</i>
<i>Compactación en golpes por capa</i>	<i>56</i>	<i>56</i>	<i>56</i>

RESULTADOS

Espécimen	# 1	# 2	# 3
% de expansión con respecto a su altura inicial	3,02	3,26	3,50
C.B.R. corregido a 0,1" de penetración	4	6	5
C.B.R. corregido a 0,2" de penetración	6	8	7
Cantidad de sobrecarga	10 lbs	10 lbs	10 lbs

Observaciones: Muestra 0,9 L de aditivo en 30m³ de suelo.

Especímenes #1, #2 y #3, han sido secadas al ambiente 01 día y después se procedió a colocarlas a la poza de agua por 4 días.

Operador : Sr. Alex Núñez

Supervisor : María Alejandra Ravines Merino

Fecha de ensayo : 28/11 /2009

Anexo C - 2

1 L de aditivo en 30 m³ de suelo

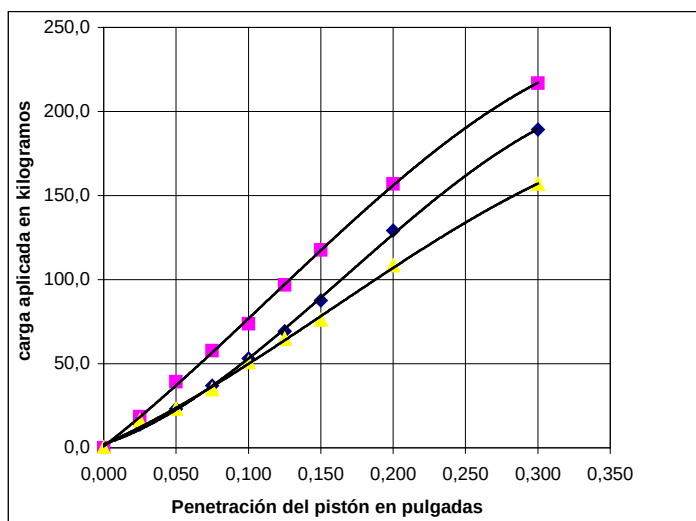
**MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA RAZÓN SOPORTE DE CALIFORNIA
DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO**
Norma : NTP - 339 - 145 - 1999

Solicitante: María Alejandra Ravines Merino
Obra : Tesis de grado

Muestra : Fracción fina con 1 L de aditivo. Secado 1 día.
Identificación : 10° Tanda

Procedencia : Mezcla: 75% afirmado de cantera La Ramsa y 25% arcilla de cantera parque Kurt Beer.

	Especimen # 1				Especimen # 2				Especimen # 3			
	sin corregir		corregido		sin corregir		corregido		sin corregir		corregido	
Penetración	lect.dial	carga	carga	C.B.R.	lect.dial	carga	carga	C.B.R.	lect.dial	carga	carga	C.B.R.
pulgadas	pulg.	kg.	kg	%	pulg.	kg.	kg	%	pulg.	kg.	kg	%
0,000	0,0000	0,0			0,0000	0,0			0,0000	0,0		
0,025	0,0003	13,8			0,0004	18,5			0,0004	16,2		
0,050	0,0005	23,1			0,0009	39,2			0,0005	23,1		
0,075	0,0008	36,9			0,0013	57,7			0,0008	34,6		
0,100	0,0012	53,1	53,1	4	0,0016	73,8	73,8	5	0,0011	50,8	50,8	4
0,125	0,0015	69,2			0,0021	96,9			0,0014	64,6		
0,150	0,0019	87,7			0,0026	117,7			0,0017	76,1		
0,200	0,0028	129,2	129,2	6	0,0034	156,9	156,9	8	0,0024	108,5	108,5	5
0,300	0,0041	189,2			0,0047	216,9			0,0034	156,9		



Fecha de ensayo: 28/11/2009

**MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA RAZÓN SOPORTE DE CALIFORNIA
DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO**
Norma: NTP – 339 – 145 - 1999

MUESTRA:

Identificación : Fracción fina con 1 L de aditivo. Secado 1 día.

Procedencia : 75% afirmado de cantera La Ramsa y 25% arcilla de cantera parque Kurt Beer.

DATOS DE LOS ESPECÍMENES ENSAYADOS

Espécimen	# 1	# 2	# 3
<i>Método de preparación y compactación</i>	<i>Húmedo</i>	<i>Húmedo</i>	<i>Húmedo</i>
<i>Condición al momento de ensayarlos</i>	<i>Remojados 04 días</i>		
<i>% de humedad de compactación</i>	<i>12</i>	<i>12</i>	<i>12</i>
<i>Densidad seca antes de sumergirlos en agua</i>	<i>1,98</i>	<i>1,99</i>	<i>1,99</i>
<i>Compactación en golpes por capa</i>	<i>56</i>	<i>56</i>	<i>56</i>

RESULTADOS

Espécimen	# 1	# 2	# 3
% de expansión con respecto a su altura inicial	3,02	3,26	3,50
C.B.R. corregido a 0.1" de penetración	4	5	4
C.B.R. corregido a 0.2" de penetración	6	8	5
Cantidad de sobrecarga	10 lbs	10 lbs	10 lbs

Observaciones: Muestra 1 L de aditivo en 30m³ de suelo.

Especímenes #1, #2 y #3, han sido secadas al ambiente 01 día y después se procedió a colocarlas a la poza de agua por 4 días.

Operador : Sr. Alex Núñez
Supervisor : María Alejandra Ravines Merino
Fecha de ensayo : 28/11 /2009

Anexo C – 3

1,1 L de aditivo en 30 m³ de suelo

MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA RAZÓN SOPORTE DE CALIFORNIA DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO

Norma : NTP - 339 - 145 - 1999

Solicitante: **María Alejandra Ravines Merino**

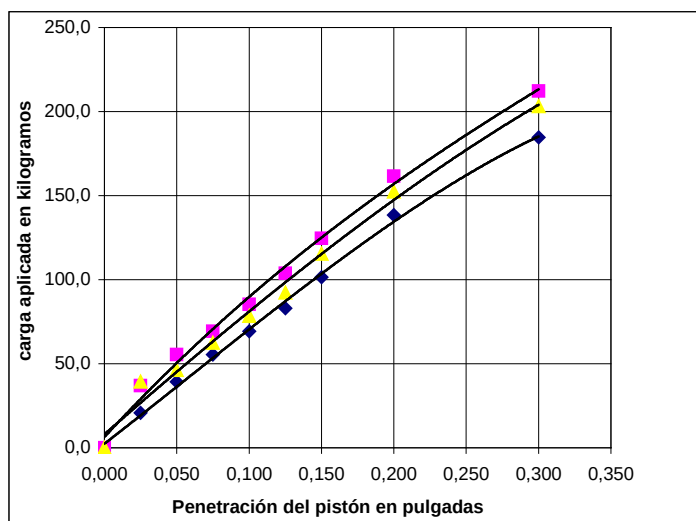
Obra : Tesis de grado

Muestra : Fracción fina con 1,1 L de aditivo. Secado 1 día.

Identificación : 10° Tanda

Procedencia : Mezcla: 75% afirmado de cantera La Ramsa y 25% arcilla de cantera parque Kurt Beer.

	Especimen # 1		Molde # 43-56golp.		Especimen # 2		Molde # 44-56golp.		Especimen # 3		Molde # 46-56golp.	
	sin corregir		corregido		sin corregir		corregido		sin corregir		corregido	
Penetración	lect.dial	carga	carga	C.B.R.	lect.dial	carga	carga	C.B.R.	lect.dial	carga	carga	C.B.R.
pulgadas	pulg.	kg.	kg	%	pulg.	kg.	kg	%	pulg.	kg.	kg	%
0,000	0,0000	0,0			0,0000	0,0			0,0000	0,0		
0,025	0,0005	20,8			0,0008	36,9			0,0009	39,2		
0,050	0,0009	39,2			0,0012	55,4			0,001	46,2		
0,075	0,0012	55,4			0,0015	69,2			0,0014	62,3		
0,100	0,0015	69,2	69,2	5	0,0019	85,4	85,4	6	0,0017	78,5	78,5	6
0,125	0,0018	83,1			0,0023	103,8			0,002	92,3		
0,150	0,0022	101,5			0,0027	124,6			0,0025	115,4		
0,200	0,0030	138,5	138,5	7	0,0035	161,5	161,5	8	0,0033	152,3	152,3	7
0,300	0,0040	184,6			0,0046	212,3			0,0044	203,1		



Fecha de ensayo: 28/11/2009

**MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA RAZÓN SOPORTE DE CALIFORNIA
DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO**

Norma: NTP – 339 – 145 - 1999

MUESTRA:

Identificación : Fracción fina con 1,1 L de aditivo. Secado 1 día.

Procedencia : 75% afirmado de cantera La Ramsa y 25% arcilla de cantera parque Kurt Beer.

DATOS DE LOS ESPECÍMENES ENSAYADOS

Espécimen	# 1	# 2	# 3
<i>Método de preparación y compactación</i>	<i>Húmedo</i>	<i>Húmedo</i>	<i>Húmedo</i>
<i>Condición al momento de ensayarlos</i>	<i>Remojados 04 días</i>		
<i>% de humedad de compactación</i>	12	12	12
<i>Densidad seca antes de sumergirlos en agua</i>	1,99	1,99	1,97
<i>Compactación en golpes por capa</i>	56	56	56

RESULTADOS

Espécimen	# 1	# 2	# 3
% de expansión con respecto a su altura inicial	3,39	----	3,13
C.B.R. corregido a 0,1” de penetración	5	6	6
C.B.R. corregido a 0,2” de penetración	7	8	7
Cantidad de sobrecarga	10 lbs	10 lbs	10 lbs

Observaciones: Muestra 1,1 L de aditivo en 30m³ de suelo.

Especímenes #1, #2 y #3, han sido secadas al ambiente 01 día y después se procedió a colocarlas a la poza de agua por 4 días.

Operador : Sr. Alex Núñez

Supervisor : María Alejandra Ravines Merino

Fecha de ensayo : 28/11 /2009

Anexo C - 4

1,5 L de aditivo en 30 m³ de suelo

**MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA RAZÓN SOPORTE DE CALIFORNIA
DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO**

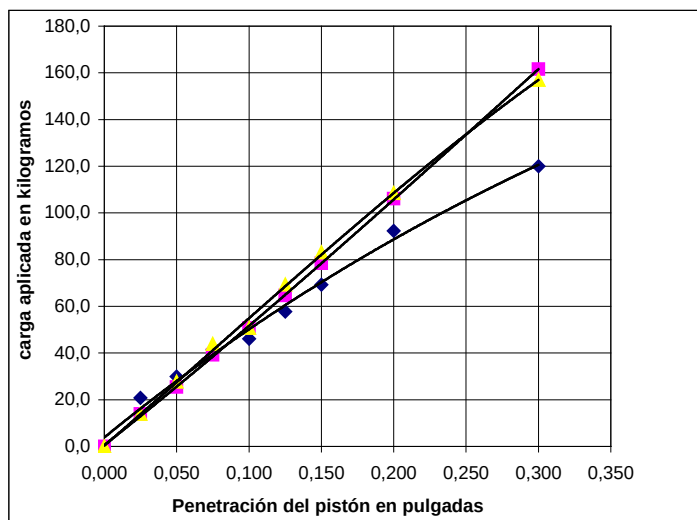
Norma : NTP - 339 - 145 - 1999

Solicitante: María Alejandra Ravines Merino
Obra : Tesis de grado

Muestra : Fracción fina con 1,5 L de aditivo. Secado 1 día.
Identificación : 10° Tanda

Procedencia : Mezcla: 75% afirmado de cantera La Ramsa y 25% arcilla de cantera parque Kurt Beer.

Penetración	Espécimen # 1				Espécimen # 2				Espécimen # 3			
	sin corregir		Molde # 40-56golp. corregido		sin corregir		Molde # 41-56golp. corregido		sin corregir		Molde # 42-56golp. corregido	
	lect.dial	carga	carga	C.B.R.	lect.dial	carga	carga	C.B.R.	lect.dial	carga	carga	C.B.R.
pulgadas	pulg.	kg.	kg	%	pulg.	kg.	kg	%	pulg.	kg.	kg	%
0,000	0,0000	0,0			0,0000	0,0			0,0000	0,0		
0,025	0,0005	20,8			0,0003	13,8			0,0003	13,8		
0,050	0,0007	30,0			0,0006	25,4			0,0006	27,7		
0,075	0,0009	41,5			0,0009	39,2			0,001	43,8		
0,100	0,0010	46,2	46,2	3	0,0011	50,8	50,8	4	0,0011	50,8	50,8	4
0,125	0,0013	57,7			0,0014	64,6			0,0015	69,2		
0,150	0,0015	69,2			0,0017	78,5			0,0018	83,1		
0,200	0,0020	92,3	92,3	5	0,0023	106,1	106,1	5	0,0024	108,5	108,5	5
0,300	0,0026	120,0			0,0035	161,5			0,0034	156,9		



Fecha de ensayo: 28/11/2009

**MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA RAZÓN SOPORTE DE CALIFORNIA
DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO
Norma: NTP – 339 – 145 - 1999**

MUESTRA:

Identificación : Fracción fina con 1,5 L de aditivo. Secado 1 día.

Procedencia : 75% afirmado de cantera La Ramsa y 25% arcilla de cantera parque Kurt Beer.

DATOS DE LOS ESPECÍMENES ENSAYADOS

Espécimen	# 1	# 2	# 3
<i>Método de preparación y compactación</i>	<i>Húmedo</i>	<i>Húmedo</i>	<i>Húmedo</i>
<i>Condición al momento de ensayarlos</i>	<i>Remojados 04 días</i>		
<i>% de humedad de compactación</i>	<i>12</i>	<i>12</i>	<i>12</i>
<i>Densidad seca antes de sumergirlos en agua</i>	<i>1,99</i>	<i>1,99</i>	<i>1,99</i>
<i>Compactación en golpes por capa</i>	<i>56</i>	<i>56</i>	<i>56</i>

RESULTADOS

Espécimen	# 1	# 2	# 3
% de expansión con respecto a su altura inicial	3,88	3,33	3,35
C.B.R. corregido a 0,1" de penetración	3	4	4
C.B.R. corregido a 0,2" de penetración	5	5	5
Cantidad de sobrecarga	10 lbs	10 lbs	10 lbs

Observaciones: Muestra 1,5 L de aditivo en 30m³ de suelo.

Especímenes #1, #2 y #3, han sido secadas al ambiente 01 día y después se procedió a colocarlas a la poza de agua por 4 días.

Operador : Sr. Alex Núñez
Supervisor : María Alejandra Ravines Merino
Fecha de ensayo : 28/11 /2009

Anexo D

PRUEBAS CBR

Procedimiento: Secado 3 días

Suelo con aditivo: Fracción fina

Anexo D – 1

0,9 L de aditivo en 30 m³ de suelo

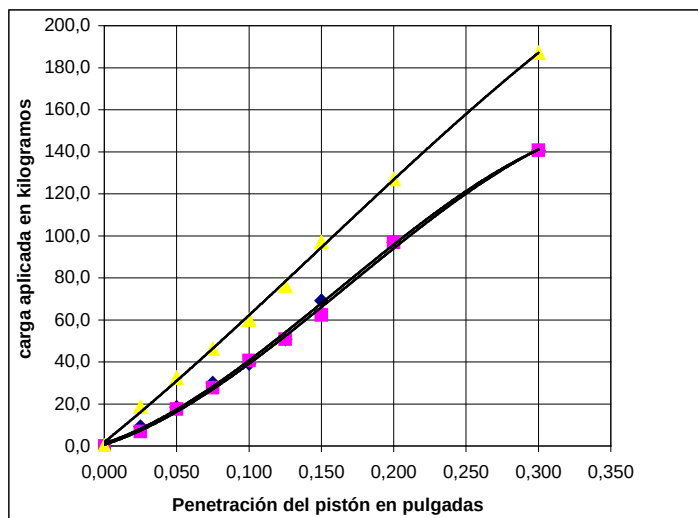
**MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA RAZÓN SOPORTE DE CALIFORNIA
DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO**
Norma : NTP - 339 - 145 - 1999

Solicitante: María Alejandra Ravines Merino
Obra : Tesis de grado

Muestra : Fracción fina con 0,9 L de aditivo. Secado 3 días.
Identificación : 6° Tanda

Procedencia : Mezcla: 75% afirmado de cantera La Ramsa y 25% arcilla de cantera parque Kurt Beer.

	Especimen # 1		Molde # 43-56golg.		Especimen # 2		Molde # 44-56golg.		Especimen # 3		Molde # 46-56golg.	
	sin corregir		corregido		sin corregir		corregido		sin corregir		corregido	
Penetración	lect.dial	carga	carga	C.B.R.	lect.dial	carga	carga	C.B.R.	lect.dial	carga	carga	C.B.R.
pulgadas	pulg.	kg.	kg	%	pulg.	kg.	kg	%	pulg.	kg.	kg	%
0,000	0,0000	0,0			0,0000	0,0			0,0000	0,0		
0,025	0,0002	9,2			0,0002	6,9			0,0004	18,5		
0,050	0,0004	18,5			0,0004	17,5			0,0007	32,3		
0,075	0,0007	30,0			0,0006	27,7			0,001	46,2		
0,100	0,0009	39,2	39,2	3	0,0009	40,6	40,6	3	0,0013	60,0	60,0	4
0,125	0,0011	50,8			0,0011	50,8			0,0017	76,1		
0,150	0,0015	69,2			0,0014	62,3			0,0021	96,9		
0,200	0,0021	96,9	96,9	5	0,0021	96,9	96,9	5	0,0028	126,9	126,9	6
0,300	0,0031	140,8			0,0031	140,8			0,0041	186,9		



Fecha de ensayo: 15/11/2009

**MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA RAZÓN SOPORTE DE CALIFORNIA
DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO
Norma: NTP – 339 – 145 - 1999**

MUESTRA:

Identificación : Fracción fina con 0,9 L de aditivo. Secado 3 días.

Procedencia : 75% afirmado de cantera La Ramsa y 25% arcilla de cantera de parque Kurt Beer.

DATOS DE LOS ESPECÍMENES ENSAYADOS

Espécimen	# 1	# 2	# 3
<i>Método de preparación y compactación</i>	<i>Húmedo</i>	<i>Húmedo</i>	<i>Húmedo</i>
<i>Condición al momento de ensayarlos</i>	<i>Remojados 04 días</i>		
<i>% de humedad de compactación</i>	12	12	12
<i>Densidad seca antes de sumergirlos en agua</i>	1,97	1,97	1,98
<i>Compactación en golpes por capa</i>	56	56	56

RESULTADOS

Espécimen	# 1	# 2	# 3
% de expansión con respecto a su altura inicial	4,46	3,63	4,01
C.B.R. corregido a 0,1" de penetración	3	3	4
C.B.R. corregido a 0,2" de penetración	5	5	6
Cantidad de sobrecarga	10 lbs	10 lbs	10 lbs

Observaciones: *Muestra 0,9 L de aditivo en 30 m³ de suelo.*

Especímenes #1, #2 y #3, han sido secadas al ambiente 03 días y después se procedió a colocarlas a la poza de agua por 4 días.

Operador : Sr. Alex Núñez
Supervisor : María Alejandra Ravines Merino
Fecha de ensayo : 15/11 /2009

Anexo D – 2

1 L de aditivo en 30 m³ de suelo

**MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA RAZÓN SOPORTE DE CALIFORNIA
DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO**
Norma : NTP - 339 - 145 - 1999

Solicitante: María Alejandra Ravines Merino

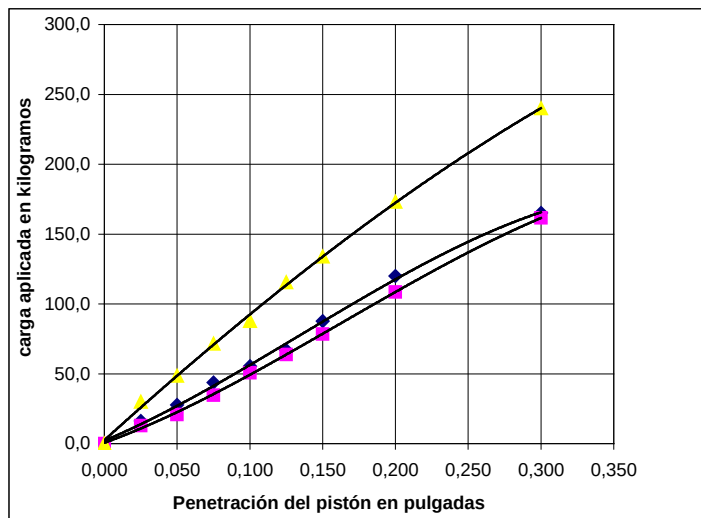
Obra : Tesis de grado

Muestra : Fracción gruesa con 1 L de aditivo. Secado 3 días.

Identificación : 6° Tanda

Procedencia : Mezcla: 75% afirmado de cantera La Ramsa y 25% arcilla de cantera parque Kurt Beer.

Penetración	Especimen # 1		Molde # 1A-56golg.		Especimen # 2		Molde # 2A-56golg.		Especimen # 3		Molde # 3A-56golg.	
	sin corregir		corregido		sin corregir		corregido		sin corregir		corregido	
	lect.dial	carga	carga	C.B.R.	lect.dial	carga	carga	C.B.R.	lect.dial	carga	carga	C.B.R.
pulgadas	pulg.	kg.	kg	%	pulg.	kg.	kg	%	pulg.	kg.	kg	%
0,000	0,0000	0,0			0,0000	0,0			0,0000	0,0		
0,025	0,0004	16,2			0,0003	12,9			0,0007	30,0		
0,050	0,0006	27,7			0,0005	20,8			0,0011	48,5		
0,075	0,0010	43,8			0,0008	34,6			0,0016	71,5		
0,100	0,0012	55,4	55,4	4	0,0011	50,8	50,8	4	0,0019	87,7	87,7	6
0,125	0,0015	66,9			0,0014	63,7			0,0025	115,4		
0,150	0,0019	87,7			0,0017	78,5			0,0029	133,8		
0,200	0,0026	120,0	120,0	6	0,0024	108,5	108,5	5	0,0038	173,1	173,1	8
0,300	0,0036	165,2			0,0035	161,5			0,0052	240,0		



Fecha de ensayo: 03/11/2009

MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA RAZÓN SOPORTE DE CALIFORNIA DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO

Norma: NTP – 339 – 145 - 1999

MUESTRA:

Identificación : Fracción fina con 1 L de aditivo. Secado 3 días.

Procedencia : 75% afirmado de cantera La Ramsa y 25% arcilla de cantera de parque Kurt Beer.

DATOS DE LOS ESPECÍMENES ENSAYADOS

Espécimen	# 1	# 2	# 3
<i>Método de preparación y compactación</i>	<i>Húmedo</i>	<i>Húmedo</i>	<i>Húmedo</i>
<i>Condición al momento de ensayarlos</i>	<i>Remojados 04 días</i>		
<i>% de humedad de compactación</i>	<i>12</i>	<i>12</i>	<i>12</i>
<i>Densidad seca antes de sumergirlos en agua</i>	<i>1,99</i>	<i>1,99</i>	<i>1,99</i>
<i>Compactación en golpes por capa</i>	<i>56</i>	<i>56</i>	<i>56</i>

RESULTADOS

Espécimen	# 1	# 2	# 3
% de expansión con respecto a su altura inicial	3,83	3,88	3,63
C.B.R. corregido a 0,1" de penetración	4	4	6
C.B.R. corregido a 0,2" de penetración	6	5	8
Cantidad de sobrecarga	10 lbs	10 lbs	10 lbs

Observaciones: *Muestra 1 L de aditivo en 30 m³ de suelo.*

Especímenes #1, #2 y #3, han sido secadas al ambiente 03 días y después se procedió a colocarlas a la poza de agua por 4 días.

Operador : Sr. Alex Núñez

Supervisor : María Alejandra Ravines Merino

Fecha de ensayo : 3/11/2009

Anexo D – 3

1,1 L de aditivo en 30 m³ de suelo

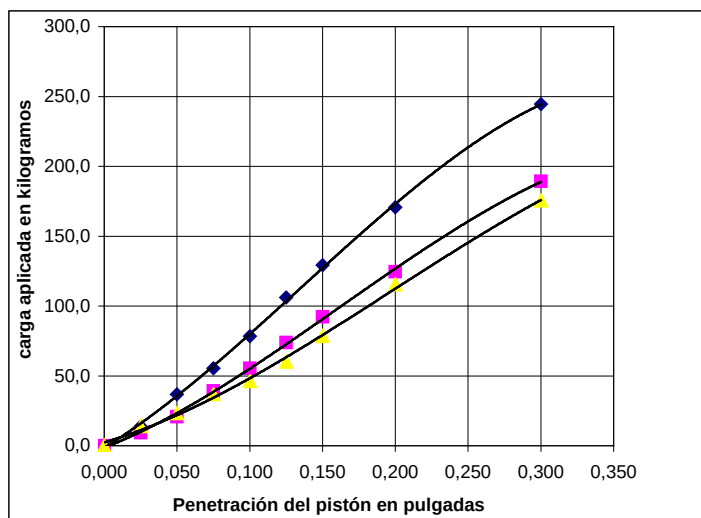
**MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA RAZÓN SOPORTE DE CALIFORNIA
DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO**
Norma : NTP - 339 - 145 - 1999

Solicitante: María Alejandra Ravines Merino
Obra : Tesis de grado

Muestra : Fracción gruesa con 1,1 L de aditivo. Secado 3 días.
Identificación : 5° Tanda

Procedencia : Mezcla: 75% afirmado de cantera La Ramsa y 25% arcilla de cantera parque Kurt Beer.

Penetración	Espécimen # 1				Espécimen # 2				Espécimen # 3			
	Molde # 1A-56golp.		Molde # 2A-56golp.		Molde # 3A-56golp.		Molde # 3A-56golp.		Molde # 3A-56golp.		Molde # 3A-56golp.	
	sin corregir	corregido	sin corregir	corregido	sin corregir	corregido	sin corregir	corregido	sin corregir	corregido	sin corregir	corregido
pulgadas	lect.dial	carga	carga	C.B.R.	lect.dial	carga	carga	C.B.R.	lect.dial	carga	carga	C.B.R.
	pulg.	kg.	kg	%	pulg.	kg.	kg	%	pulg.	kg.	kg	%
0,000	0,0000	0,0			0,0000	0,0			0,0000	0,0		
0,025	0,0003	13,8			0,0002	9,2			0,0003	13,8		
0,050	0,0008	36,9			0,0005	20,8			0,0005	23,1		
0,075	0,0012	55,4			0,0009	39,2			0,0008	36,9		
0,100	0,0017	78,5	78,5	6	0,0012	55,4	55,4	4	0,001	46,2	46,2	3
0,125	0,0023	106,1			0,0016	73,8			0,0013	60,0		
0,150	0,0028	129,2			0,002	92,3			0,0017	78,5		
0,200	0,0037	170,8	170,8	8	0,0027	124,6	124,6	6	0,0025	115,4	115,4	6
0,300	0,0053	244,6			0,0041	189,2			0,0038	175,4		



Fecha de ensayo: 03/11/2009

**MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA RAZÓN SOPORTE DE CALIFORNIA
DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO
Norma: NTP – 339 – 145 - 1999**

MUESTRA:

Identificación : Fracción fina con 1,1 L de aditivo. Secado 3 días.

Procedencia : 75% afirmado de cantera La Ramsa y 25% arcilla de cantera parque Kurt Beer.

DATOS DE LOS ESPECÍMENES ENSAYADOS

Espécimen	# 1	# 2	# 3
<i>Método de preparación y compactación</i>	<i>Húmedo</i>	<i>Húmedo</i>	<i>Húmedo</i>
<i>Condición al momento de ensayarlos</i>	<i>Remojados 04 días</i>		
<i>% de humedad de compactación</i>	12	12	12
<i>Densidad seca antes de sumergirlos en agua</i>	1,97	1,97	1,98
<i>Compactación en golpes por capa</i>	56	56	56

RESULTADOS

Espécimen	# 1	# 2	# 3
% de expansión con respecto a su altura inicial	3,44	3,77	3,53
C.B.R. corregido a 0,1" de penetración	6	4	3
C.B.R. corregido a 0,2" de penetración	8	6	6
Cantidad de sobrecarga	10 lbs	10 lbs	10 lbs

Observaciones: *Muestra 1,1 L de aditivo en 30 m³ de suelo.*

Especímenes #1, #2 y #3, han sido secadas al ambiente 03 días y después se procedió a colocarlas a la poza de agua por 4 días.

Operador : Sr. Alex Núñez
Supervisor : María Alejandra Ravines Merino
Fecha de ensayo : 3/11/2009

Anexo D – 4

1,5 L de aditivo en 30 m³ de suelo

MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA RAZÓN SOPORTE DE CALIFORNIA DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO

Norma : NTP - 339 - 145 - 1999

Solicitante: **María Alejandra Ravines Merino**

Obra : Tesis de grado

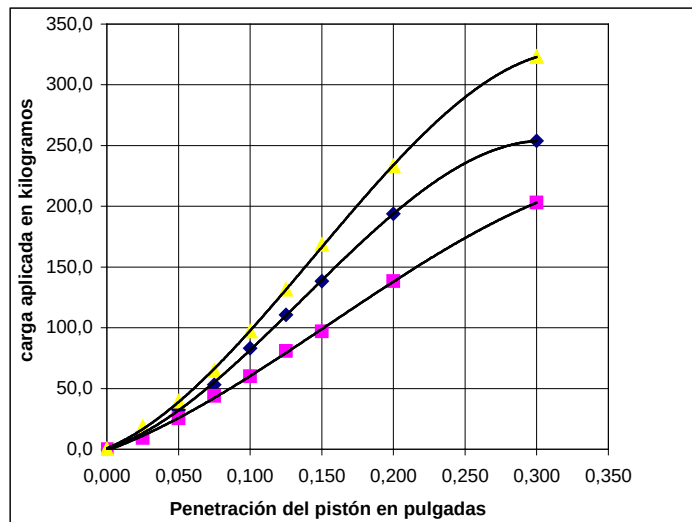
Muestra : Fracción fina con 1,5 L de aditivo. Secado 3 días.

Identificación : 4° Tanda

Procedencia : Mezcla: 75% afirmado de cantera La Ramsa y 25% arcilla de cantera parque

Kurt Beer.

	Especímen # 1		Molde # 1A-56golp.		Especímen # 2		Molde # 2A-56golp.		Especímen # 3		Molde # 3A-56golp.	
	sin corregir		corregido		sin corregir		corregido		sin corregir		corregido	
Penetración	lect.dial	carga	carga	C.B.R.	lect.dial	carga	carga	C.B.R.	lect.dial	carga	carga	C.B.R.
pulgadas	pulg.	kg.	kg	%	pulg.	kg.	kg	%	pulg.	kg.	kg	%
0,000	0,0000	0,0			0,0000	0,0			0,0000	0,0		
0,025	0,0003	13,8			0,0002	9,2			0,0004	18,5		
0,050	0,0007	32,3			0,0006	25,4			0,0009	39,2		
0,075	0,0012	53,1			0,001	43,8			0,0014	64,6		
0,100	0,0018	83,1	83,1	6	0,0013	60,0	60,0	4	0,0021	96,9	96,9	7
0,125	0,0024	110,8			0,0018	80,8			0,0029	131,5		
0,150	0,0030	138,5			0,0021	96,9			0,0037	168,4		
0,200	0,0040	193,8	193,8	9	0,003	138,5	138,5	7	0,0051	233,1	233,1	11
0,300	0,0055	253,8			0,0044	203,1			0,007	323,1		



Fecha de ensayo: 30/10/2009

**MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA RAZÓN SOPORTE DE CALIFORNIA
DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO
Norma: NTP – 339 – 145 - 1999**

MUESTRA:

Identificación : Fracción fina con 1,5 L de aditivo. Secado 3 días.

Procedencia : 75% afirmado de cantera La Ramsa y 25% arcilla de cantera parque Kurt Beer.

DATOS DE LOS ESPECÍMENES ENSAYADOS

Espécimen	# 1	# 2	# 3
<i>Método de preparación y compactación</i>	<i>Húmedo</i>	<i>Húmedo</i>	<i>Húmedo</i>
<i>Condición al momento de ensayarlos</i>	<i>Remojados 04 días</i>		
<i>% de humedad de compactación</i>	<i>12</i>	<i>12</i>	<i>12</i>
<i>Densidad seca antes de sumergirlos en agua</i>	<i>1,96</i>	<i>1,96</i>	<i>1,96</i>
<i>Compactación en golpes por capa</i>	<i>56</i>	<i>56</i>	<i>56</i>

RESULTADOS

Espécimen	# 1	# 2	# 3
% de expansión con respecto a su altura inicial	3,07	3,14	2,63
C.B.R. corregido a 0,1" de penetración	6	4	7
C.B.R. corregido a 0,2" de penetración	9	7	11
Cantidad de sobrecarga	10 lbs	10 lbs	10 lbs

Observaciones: Muestra 1,5 L de aditivo en /30m³ de suelo.

Especímenes #1, #2 y #3, han sido secadas al ambiente 03 días y después se procedió a colocarlas a la poza de agua por 4 días.

Operador : Sr. Alex Núñez
Supervisor : María Alejandra Ravines Merino
Fecha de ensayo : 30/10/2009

Anexo E

PRUEBAS CBR

Procedimiento normal

Suelo con aditivo: Fracción gruesa

Anexo E – 1

0,9 L de aditivo en 30 m³ de suelo

**MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA RAZÓN SOPORTE DE CALIFORNIA
DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO**

Norma : NTP - 339 - 145 - 1999

Solicitante: **María Alejandra Ravines Merino**

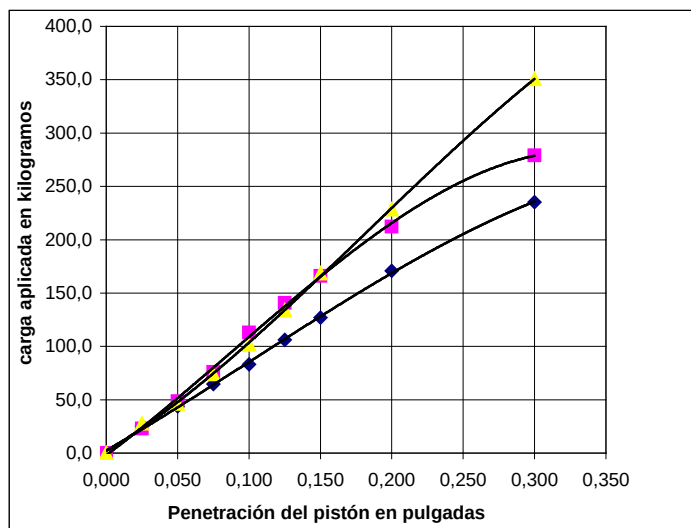
Obra : Tesis de grado

Muestra : Fracción gruesa con 0,9 L de aditivo.

Identificación : 1° Tanda

Procedencia : Mezcla: 75% afirmado de cantera La Ramsa y 25% arcilla de cantera parque
Kurt Beer.

	Especimen # 1		Molde # 3A-56golp.		Especimen # 2		Molde # 47-56golp.		Especimen # 3		Molde # 44-56golp	
	sin corregir		corregido		sin corregir		corregido		sin corregir		corregido	
Penetración	lect.dial	carga	carga	C.B.R.	lect.dial	carga	carga	C.B.R.	lect.dial	carga	carga	C.B.R.
pulgadas	pulg.	kg.	kg	%	pulg.	kg.	kg	%	pulg.	kg.	kg	%
0,000	0,0000	0,0			0,0000	0,0			0,0000	0,0		
0,025	0,0006	25,4			0,0005	23,1			0,0006	27,7		
0,050	0,0010	43,8			0,0011	48,5			0,001	46,2		
0,075	0,0014	64,6			0,0017	76,1			0,0016	73,8		
0,100	0,0018	83,1	83,1	6	0,0025	113,1	113,1	8	0,0022	101,5	101,5	7
0,125	0,0023	106,1			0,0031	140,8			0,0029	133,8		
0,150	0,0028	126,9			0,0036	166,1			0,0037	168,4		
0,200	0,0037	170,8	170,8	8	0,0046	212,3	212,3	10	0,005	228,4	228,4	11
0,300	0,0051	235,4			0,0061	279,2			0,0076	350,7		



Fecha de ensayo: 18/09/2009

**MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA RAZÓN SOPORTE DE CALIFORNIA
DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO
Norma: NTP – 339 – 145 - 1999**

MUESTRA:

Identificación : Fracción gruesa con 0,9 L de aditivo.

Procedencia : 75% afirmado de cantera La Ramsa y 25% arcilla de cantera parque Kurt Beer.

DATOS DE LOS ESPECÍMENES ENSAYADOS

Espécimen	# 1	# 2	# 3
<i>Método de preparación y compactación</i>	<i>Húmedo</i>	<i>Húmedo</i>	<i>Húmedo</i>
<i>Condición al momento de ensayarlos</i>	<i>Remojados 04 días</i>		
<i>% de humedad de compactación</i>	8	8	8
<i>Densidad seca antes de sumergirlos en agua</i>	2,17	2,17	2,14
<i>Compactación en golpes por capa</i>	56	56	56

RESULTADOS

Espécimen	# 1	# 2	# 3
% de expansión con respecto a su altura inicial	4,27	4,59	-----
C.B.R. corregido a 0,1" de penetración	6	8	7
C.B.R. corregido a 0,2" de penetración	8	10	11
Cantidad de sobrecarga	10 lbs	10lbs	10 lbs

Operador : Sr. Alex Núñez
Supervisor : María Alejandra Ravines Merino
Fecha de ensayo : 18/09/2009

Anexo E – 2

1 L de aditivo en 30 m³ de suelo

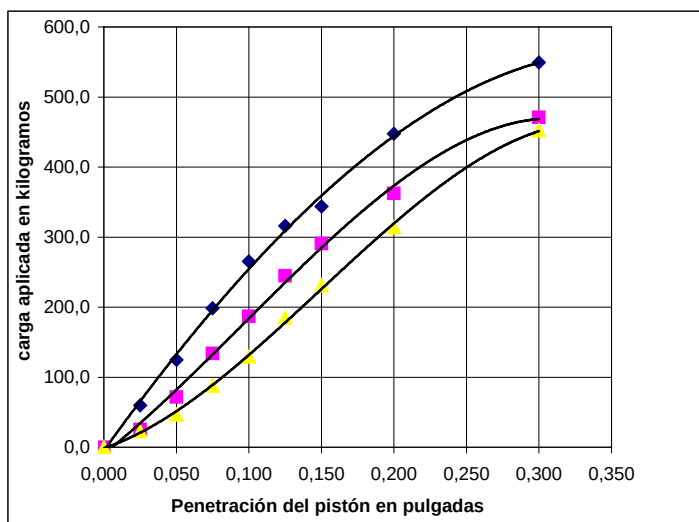
**MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA RAZÓN SOPORTE DE CALIFORNIA
DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO**
Norma : NTP - 339 - 145 - 1999

Solicitante: María Alejandra Ravines Merino
Obra : Tesis de grado

Muestra : Fracción gruesa con 1 L de aditivo.
Identificación : 2° Tanda

Procedencia : Mezcla: 75% afirmado de cantera La Ramsa y 25% arcilla de cantera parque Kurt Beer.

	Especimen # 1				Especimen # 2				Especimen # 3			
	sin corregir		corregido		sin corregir		corregido		sin corregir		corregido	
Penetración	lect.dial	carga	carga	C.B.R.	lect.dial	carga	carga	C.B.R.	lect.dial	carga	carga	C.B.R.
pulgadas	pulg.	kg.	kg	%	pulg.	kg.	kg	%	pulg.	kg.	kg	%
0,000	0,0000	0,0			0,0000	0,0			0,0000	0,0		
0,025	0,0013	60,0			0,0006	25,4			0,0005	23,1		
0,050	0,0027	124,6			0,0016	71,5			0,001	46,2		
0,075	0,0043	198,4			0,0029	133,8			0,0019	87,7		
0,100	0,0058	265,4	265,4	20	0,0041	186,9	186,9	14	0,0028	129,2	129,2	9
0,125	0,0069	316,1			0,0053	244,6			0,004	184,6		
0,150	0,0075	343,8			0,0063	290,7			0,005	230,8		
0,200	0,0097	447,7	447,7	22	0,0079	362,3	362,3	18	0,0068	313,8	313,8	15
0,300	0,0119	549,2			0,0102	470,7			0,0098	452,3		



Fecha de ensayo: 23/09/2009

**MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA RAZÓN SOPORTE DE CALIFORNIA
DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO
Norma: NTP – 339 – 145 - 1999**

MUESTRA:

Identificación : Fracción gruesa con 1 L de aditivo.

Procedencia : 75% afirmado de cantera La Ramsa y 25% arcilla de cantera parque Kurt Beer.

DATOS DE LOS ESPECÍMENES ENSAYADOS

Espécimen	# 1	# 2	# 3
<i>Método de preparación y compactación</i>	<i>Húmedo</i>	<i>Húmedo</i>	<i>Húmedo</i>
<i>Condición al momento de ensayarlos</i>	<i>Remojados 04 días</i>		
<i>% de humedad de compactación</i>	<i>8</i>	<i>8</i>	<i>8</i>
<i>Densidad seca antes de sumergirlos en agua</i>	<i>2,17</i>	<i>2,17</i>	<i>2,15</i>
<i>Compactación en golpes por capa</i>	<i>56</i>	<i>56</i>	<i>56</i>

RESULTADOS

Espécimen	# 1	# 2	# 3
% de expansión con respecto a su altura inicial	-----	3,55	3,37
C.B.R. corregido a 0,1" de penetración	20	14	9
C.B.R. corregido a 0,2" de penetración	22	18	15
Cantidad de sobrecarga	10 lbs	10 lbs	10 lbs

Operador : Sr. Alex Núñez
Supervisor : María Alejandra Ravines Merino
Fecha de ensayo : 18/09/2009

Anexo E – 3

1,1 L de aditivo en 30 m³ de suelo

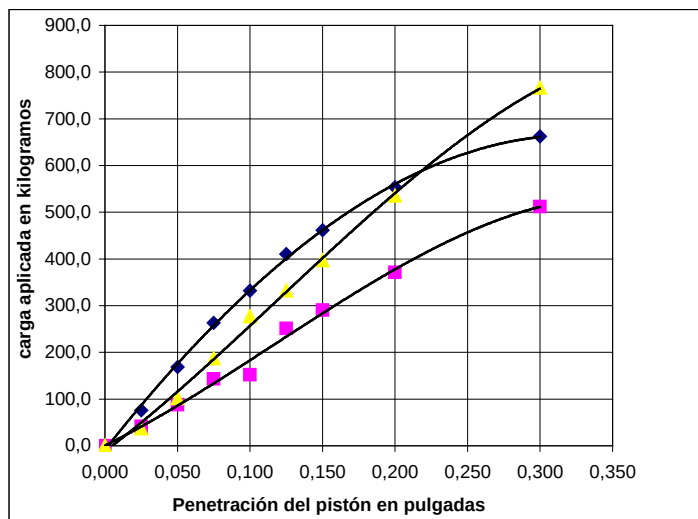
**MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA RAZÓN SOPORTE DE CALIFORNIA
DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO**
Norma : NTP - 339 - 145 - 1999

Solicitante: **María Alejandra Ravines Merino**
Obra : Tesis de grado

Muestra : Fracción gruesa con 1,1 L de aditivo.
Identificación : 2° Tanda

Procedencia : Mezcla: 75% afirmado de cantera La Ramsa y 25% arcilla de cantera parque
Kurt Beer.

	Especimen # 1				Especimen # 2				Especimen # 3			
	sin corregir		molde # 48-56golp. corregido		sin corregir		molde # 44-56golp. corregido		sin corregir		molde # 43-56golp. corregido	
Penetración	lect.dial	carga	carga	C.B.R.	lect.dial	carga	carga	C.B.R.	lect.dial	carga	carga	C.B.R.
pulgadas	pulg.	kg.	kg	%	pulg.	kg.	kg	%	pulg.	kg.	kg	%
0,000	0,0000	0,0			0,0000	0,0			0,0000	0,0		
0,025	0,0017	76,1			0,0009	41,5			0,0008	36,9		
0,050	0,0037	168,4			0,0019	87,7			0,0022	101,5		
0,075	0,0057	263,1			0,0031	143,1			0,0041	186,9		
0,100	0,0072	332,3	332,3	24	0,0033	152,3	152,3	11	0,006	276,9	276,9	20
0,125	0,0089	410,7			0,0055	251,5			0,0072	332,3		
0,150	0,0100	461,5			0,0063	290,7			0,0086	396,9		
0,200	0,0120	553,8	553,8	27	0,0081	371,5	371,5	18	0,0116	535,3	535,3	26
0,300	0,0144	662,3			0,0111	512,3			0,0166	766,1		



Fecha de ensayo: 23/09/2009

**MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA RAZÓN SOPORTE DE CALIFORNIA
DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO**

Norma: NTP – 339 – 145 - 1999

MUESTRA:

Identificación : Fracción gruesa con 1,1 L de aditivo.

Procedencia : 75% afirmado de cantera La Ramsa y 25% arcilla de cantera parque Kurt Beer.

DATOS DE LOS ESPECÍMENES ENSAYADOS

Espécimen	# 1	# 2	# 3
<i>Método de preparación y compactación</i>	<i>Húmedo</i>	<i>Húmedo</i>	<i>Húmedo</i>
<i>Condición al momento de ensayarlos</i>	<i>Remojados 04 días</i>		
<i>% de humedad de compactación</i>	<i>8</i>	<i>8</i>	<i>8</i>
<i>Densidad seca antes de sumergirlos en agua</i>	<i>2,17</i>	<i>2,17</i>	<i>2,17</i>
<i>Compactación en golpes por capa</i>	<i>56</i>	<i>56</i>	<i>56</i>

RESULTADOS

Espécimen	# 1	# 2	# 3
% de expansión con respecto a su altura inicial	-----	3,66	3,59
C.B.R. corregido a 0,1” de penetración	24	11	20
C.B.R. corregido a 0,2” de penetración	27	18	26
Cantidad de sobrecarga	10 lbs	10 lbs	10 lbs

Operador : Sr. Alex Núñez
Supervisor : María Alejandra Ravines Merino
Fecha de ensayo : 23/09/2009

Anexo E - 4

1,5 L de aditivo en 30 m³ de suelo

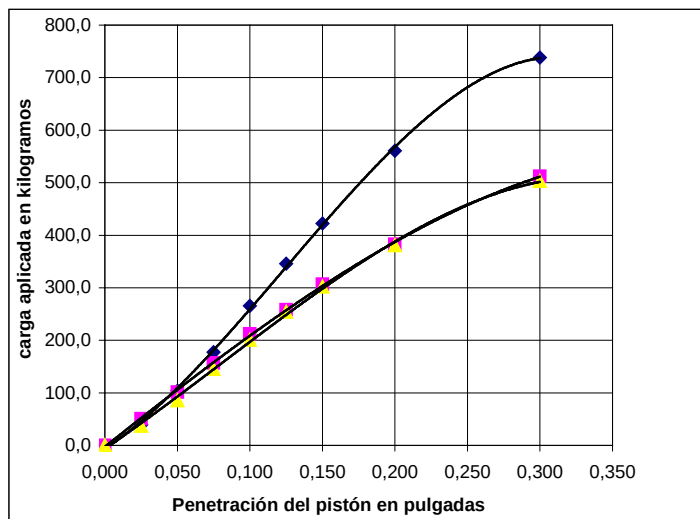
**MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA RAZÓN SOPORTE DE CALIFORNIA
DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO**
Norma : NTP - 339 - 145 - 1999

Solicitante: María Alejandra Ravines Merino
Obra : Tesis de grado

Muestra : Fracción gruesa con 1,5 L de aditivo.
Identificación : 2° Tanda

Procedencia : Mezcla: 75% afirmado de cantera La Ramsa y 25% arcilla de cantera parque Kurt Beer.

Penetración	Especimen # 1				Especimen # 2				Especimen # 3			
	Molde # 46-56golp.		Molde # 47-56golp.		Molde # 48-56golp.		Molde # 49-56golp.		Molde # 50-56golp.		Molde # 51-56golp.	
	sin corregir	corregido	sin corregir	corregido	sin corregir	corregido	sin corregir	corregido	sin corregir	corregido	sin corregir	corregido
lect.dial	carga	carga	C.B.R.	lect.dial	carga	carga	C.B.R.	lect.dial	carga	carga	C.B.R.	
pulgadas	pulg.	kg.	kg	%	pulg.	kg.	kg	%	pulg.	kg.	kg	%
0,000	0,0000	0,0			0,0000	0,0			0,0000	0,0		
0,025	0,0009	39,2			0,0011	50,8			0,0008	36,9		
0,050	0,0023	103,8			0,0022	101,5			0,0019	85,4		
0,075	0,0039	177,7			0,0034	156,9			0,0032	145,4		
0,100	0,0058	265,4	265,4	20	0,0046	212,3	212,3	16	0,0044	200,8	200,8	15
0,125	0,0075	346,1			0,0056	258,4			0,0055	253,8		
0,150	0,0092	422,3			0,0067	306,9			0,0066	302,3		
0,200	0,0122	560,7	560,7	27	0,0083	383,0	383,0	19	0,0083	380,7	380,7	19
0,300	0,0160	738,4			0,0111	512,3			0,0109	503,0		



Fecha de ensayo: 23/09/2009

**MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA RAZÓN SOPORTE DE CALIFORNIA
DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO**
Norma: NTP – 339 – 145 - 1999

MUESTRA:

Identificación : Fracción gruesa con 1,5 L de aditivo.

Procedencia : 75% afirmado de cantera La Ramsa y 25% arcilla de cantera parque Kurt Beer.

DATOS DE LOS ESPECÍMENES ENSAYADOS

Espécimen	# 1	# 2	# 3
<i>Método de preparación y compactación</i>	<i>Húmedo</i>	<i>Húmedo</i>	<i>Húmedo</i>
<i>Condición al momento de ensayarlos</i>	<i>Remojados 04 días</i>		
<i>% de humedad de compactación</i>	8	8	8
<i>Densidad seca antes de sumergirlos en agua</i>	2,17	2,17	2,17
<i>Compactación en golpes por capa</i>	56	56	56

RESULTADOS

Espécimen	# 1	# 2	# 3
% de expansión con respecto a su altura inicial	3,21	-----	3,59
C.B.R. corregido a 0,1" de penetración	20	16	15
C.B.R. corregido a 0,2" de penetración	27	19	19
Cantidad de sobrecarga	10 lbs	10 lbs	10 lbs

Operador : Sr. Alex Núñez
Supervisor : María Alejandra Ravines Merino
Fecha de ensayo : 23/09/2009

Anexo F

PRUEBAS CBR

Procedimiento: Secado 1 día

Suelo con aditivo: Fracción gruesa

Anexo F – 1

0,9 L de aditivo en 30 m³ de suelo

**MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA RAZÓN SOPORTE DE CALIFORNIA
DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO**

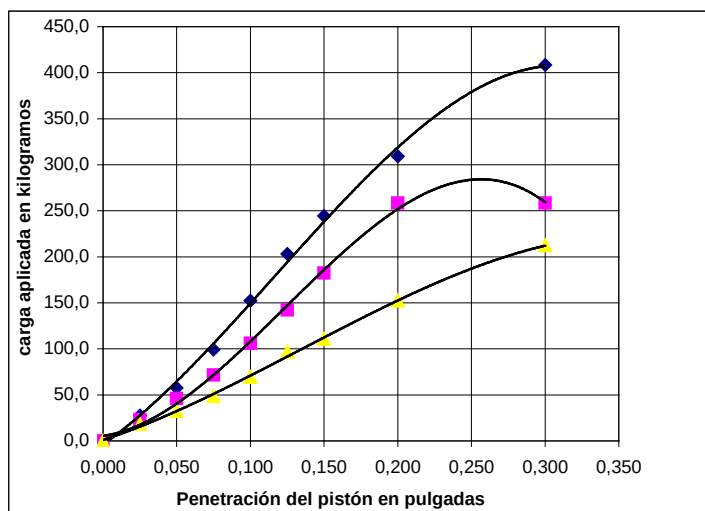
Norma : NTP - 339 - 145 - 1999

Solicitante: María Alejandra Ravines Merino
Obra : Tesis de grado

Muestra : Fracción gruesa con 0,9 L de aditivo. Secado 1 día.
Identificación : 9° Tanda

Procedencia : Mezcla: 75% afirmado de cantera La Ramsa y 25% arcilla de cantera parque Kurt Beer.

	Espécimen # 1				Espécimen # 2				Espécimen # 3			
	sin corregir		corregido		sin corregir		corregido		sin corregir		corregido	
Penetración	lect.dial	carga	carga	C.B.R.	lect.dial	carga	carga	C.B.R.	lect.dial	carga	carga	C.B.R.
pulgadas	pulg.	kg.	kg	%	pulg.	kg.	kg	%	pulg.	kg.	kg	%
0,000	0,0000	0,0			0,0000	0,0			0,0000	0,0		
0,025	0,0006	27,7			0,0005	23,1			0,0004	18,5		
0,050	0,0013	57,7			0,001	46,2			0,0007	32,3		
0,075	0,0022	99,2			0,0016	71,5			0,0011	48,5		
0,100	0,0033	152,3	152,3	11	0,0023	106,1	106,1	8	0,0015	69,2	69,2	5
0,125	0,0044	203,1			0,0031	142,1			0,0021	96,9		
0,150	0,0053	244,6			0,004	182,3			0,0024	110,8		
0,200	0,0067	309,2	309,2	15	0,0056	258,4	258,4	13	0,0033	152,3	152,3	7
0,300	0,0089	408,4			0,0056	258,4			0,0046	212,3		



Fecha de ensayo: 24/11/2009

**MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA RAZÓN SOPORTE DE CALIFORNIA
DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO
Norma: NTP – 339 – 145 - 1999**

MUESTRA:

Identificación : Fracción gruesa con 0,9 L de aditivo. Secado 1 día.

Procedencia : 75% afirmado de cantera La Ramsa y 25% arcilla de parque Kurt Beer.

DATOS DE LOS ESPECÍMENES ENSAYADOS

Espécimen	# 1	# 2	# 3
<i>Método de preparación y compactación</i>	<i>Húmedo</i>	<i>Húmedo</i>	<i>Húmedo</i>
<i>Condición al momento de ensayarlos</i>	<i>Remojados 04 días</i>		
<i>% de humedad de compactación</i>	8	8	8
<i>Densidad seca antes de sumergirlos en agua</i>	2,17	2,16	2,16
<i>Compactación en golpes por capa</i>	56	56	56

RESULTADOS

Espécimen	# 1	# 2	# 3
% de expansión con respecto a su altura inicial	2,18	2,32	2,65
C.B.R. corregido a 0.1" de penetración	11	8	5
C.B.R. corregido a 0.2" de penetración	15	13	7
Cantidad de sobrecarga	10 lbs.	10 lbs	10 lbs

Observaciones: *Muestra 0.9 L de aditivo en 30 m³ de suelo.*

Especímenes #1, #2 y #3, han sido secadas al ambiente 01 día y después se procedió a colocarlas a la poza de agua por 4 días.

Operador : Sr. Alex Núñez
Supervisor : María Alejandra Ravines Merino
Fecha de ensayo : 24/11/2009

Anexo F – 2

1 L de aditivo en 30 m³ de suelo

**MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA RAZÓN SOPORTE DE CALIFORNIA
DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO**

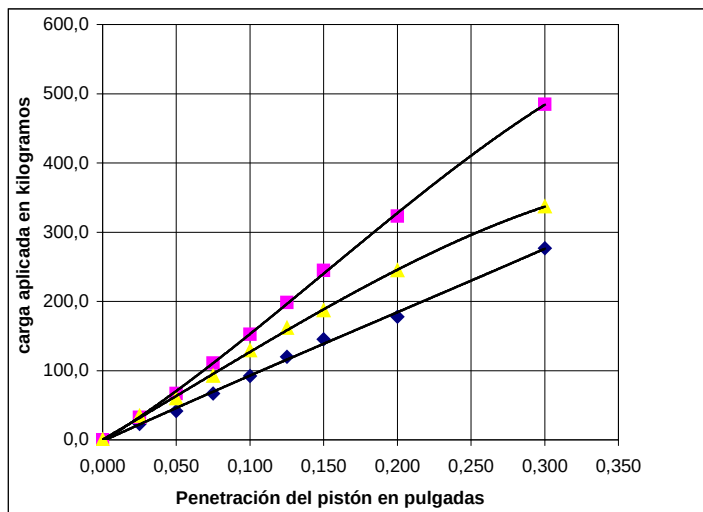
Norma : NTP - 339 - 145 - 1999

Solicitante: María Alejandra Ravines Merino
Obra : Tesis de grado

Muestra : Fracción gruesa con 1 L de aditivo. Secado 1 día.
Identificación : 9° Tanda

Procedencia : Mezcla: 75% afirmado de cantera La Ramsa y 25% arcilla de cantera parque Kurt Beer.

Penetración pulgadas	Especimen # 1		Molde # 47-56golg.		Especimen # 2		Molde # 48-56golg.		Especimen # 3		Molde # 49-56golg.	
	sin corregir		corregido		sin corregir		corregido		sin corregir		corregido	
	lect.dial pulg.	carga kg.	carga kg.	C.B.R. %	lect.dial pulg.	carga kg.	carga kg.	C.B.R. %	lect.dial pulg.	carga kg.	carga kg.	C.B.R. %
0,000	0,0000	0,0			0,0000	0,0			0,0000	0,0		
0,025	0,0005	23,1			0,0007	32,3			0,0008	34,6		
0,050	0,0009	41,5			0,0015	66,9			0,0013	60,0		
0,075	0,0015	66,9			0,0024	110,8			0,002	92,3		
0,100	0,0020	92,3	92,3	7	0,0033	152,3	152,3	11	0,0028	129,2	129,2	9
0,125	0,0026	120,0			0,0043	198,4			0,0035	161,5		
0,150	0,0032	145,4			0,0053	244,6			0,0041	186,9		
0,200	0,0039	177,7	177,7	9	0,007	323,1	323,1	16	0,0053	244,6	244,6	12
0,300	0,0060	276,9			0,0105	484,6			0,0073	336,9		



Fecha de ensayo: 24/11/2009

**MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA RAZÓN SOPORTE DE CALIFORNIA
DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO
Norma: NTP – 339 – 145 - 1999**

MUESTRA:

Identificación : Fracción gruesa con 1 L de aditivo. Secado 1 día.

Procedencia : 75% afirmado de cantera La Ramsa y 25% arcilla de cantera parque Kurt Beer.

DATOS DE LOS ESPECÍMENES ENSAYADOS

Espécimen	# 1	# 2	# 3
<i>Método de preparación y compactación</i>	<i>Húmedo</i>	<i>Húmedo</i>	<i>Húmedo</i>
<i>Condición al momento de ensayarlos</i>	<i>Remojados 04 días</i>		
<i>% de humedad de compactación</i>	8	8	8
<i>Densidad seca antes de sumergirlos en agua</i>	2,17	2,17	2,16
<i>Compactación en golpes por capa</i>	56	56	56

RESULTADOS

Espécimen	# 1	# 2	# 3
% de expansión con respecto a su altura inicial	4,09	1,60	2,21
C.B.R. corregido a 0.1" de penetración	7	11	9
C.B.R. corregido a 0.2" de penetración	9	16	12
Cantidad de sobrecarga	10 lbs	10 lbs	10 lbs

Observaciones: Muestra 0.9 L de aditivo en 30m³ de suelo.

Especímenes #1, #2 y #3, han sido secadas al ambiente 01 día y después se procedió a colocarlas a la poza de agua por 4 días.

Operador : Sr. Alex Núñez

Supervisor : María Alejandra Ravines Merino

Fecha de ensayo : 24/11/2009

Anexo F – 3

1,1 L de aditivo en 30 m³ de suelo

**MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA RAZÓN SOPORTE DE CALIFORNIA
DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO**

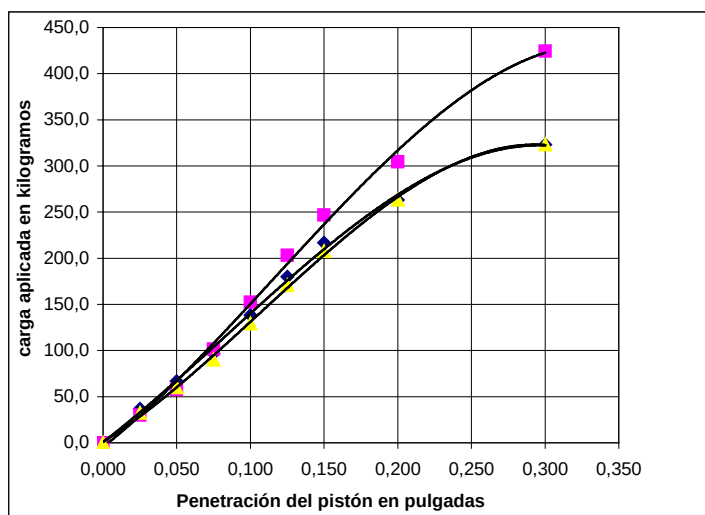
Norma : NTP - 339 - 145 - 1999

Solicitante: María Alejandra Ravines Merino
Obra : Tesis de grado

Muestra : Fracción gruesa con 1,1 L de aditivo. Secado 1 día.
Identificación : 10° Tanda

Procedencia : Mezcla: 74% afirmado de cantera La Ramsa y 25% arcilla de cantera parque Kurt Beer.

	Especimen # 1		Molde # 1A-56golg.		Especimen # 2		Molde # 2A-56golg.		Especimen # 3		Molde # 3A-56golg.	
	sin corregir		corregido		sin corregir		corregido		sin corregir		corregido	
Penetración	lect.dial	carga	carga	C.B.R.	lect.dial	carga	carga	C.B.R.	lect.dial	carga	carga	C.B.R.
pulgadas	pulg.	kg.	kg	%	pulg.	kg.	kg	%	pulg.	kg.	kg	%
0,000	0,0000	0,0			0,0000	0,0			0,0000	0,0		
0,025	0,0008	36,9			0,0007	30,0			0,0007	32,3		
0,050	0,0015	66,9			0,0013	57,7			0,0013	60,0		
0,075	0,0021	96,9			0,0022	101,5			0,002	90,0		
0,100	0,0030	138,5	138,5	10	0,0033	152,3	152,3	11	0,0028	129,2	129,2	9
0,125	0,0039	180,0			0,0044	203,1			0,0037	170,8		
0,150	0,0047	216,9			0,0054	246,9			0,0045	207,7		
0,200	0,0057	263,1	263,1	13	0,0066	304,6	304,6	15	0,0057	263,1	263,1	13
0,300	0,0070	323,1			0,0092	424,6			0,007	323,1		



Fecha de ensayo: 24/11/2009

**MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA RAZÓN SOPORTE DE CALIFORNIA
DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO
Norma: NTP – 339 – 145 - 1999**

MUESTRA:

Identificación : Fracción gruesa con 1,1 L de aditivo. Secado 1 día.

Procedencia : 75% afirmado de cantera La Ramsa y 25% arcilla de cantera parque Kurt Beer.

DATOS DE LOS ESPECÍMENES ENSAYADOS

Espécimen	# 1	# 2	# 3
<i>Método de preparación y compactación</i>	<i>Húmedo</i>	<i>Húmedo</i>	<i>Húmedo</i>
<i>Condición al momento de ensayarlos</i>	<i>Remojados 04 días</i>		
<i>% de humedad de compactación</i>	8	8	8
<i>Densidad seca antes de sumergirlos en agua</i>	2,17	2,17	2,16
<i>Compactación en golpes por capa</i>	56	56	56

RESULTADOS

Espécimen	# 1	# 2	# 3
% de expansión con respecto a su altura inicial	2,36	2,30	2,01
C.B.R. corregido a 0,1" de penetración	10	11	9
C.B.R. corregido a 0,2" de penetración	13	15	13
Cantidad de sobrecarga	10 lbs	10 lbs	10 lbs

Observaciones: *Muestra 1,1 L de aditivo en 30m³ de suelo.*

Especímenes #1, #2 y #3, han sido secadas al ambiente 01 día y después se procedió a colocarlas a la poza de agua por 4 días.

Operador : Sr. Alex Núñez
Supervisor : María Alejandra Ravines Merino
Fecha de ensayo : 24/11/2009

Anexo F – 4

1,5 L de aditivo en 30 m³ de suelo

**MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA RAZÓN SOPORTE DE CALIFORNIA
DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO**

Norma : NTP - 339 - 145 - 1999

Solicitante: María Alejandra Ravines Merino

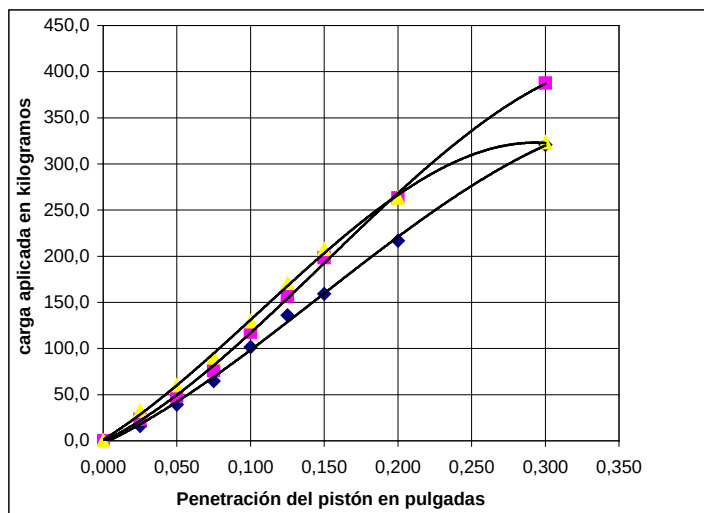
Obra : Tesis de grado

Muestra : Fracción gruesa con 1,5 L de aditivo. Secado 1 día.

Identificación : 10° Tanda

Procedencia : Mezcla: 75% afirmado de cantera La Ramsa y 25% arcilla de cantera parque Kurt Beer.

Penetración	Espécimen # 1				Espécimen # 2				Espécimen # 3			
	sin corregir				sin corregir				sin corregir			
	lect.dial	carga	carga	C.B.R.	lect.dial	carga	carga	C.B.R.	lect.dial	carga	carga	C.B.R.
pulgadas	pulg.	kg.	kg	%	pulg.	kg.	kg	%	pulg.	kg.	kg	%
0,000	0,0000	0,0			0,0000	0,0			0,0000	0,0		
0,025	0,0004	16,2			0,0005	23,1			0,0007	32,3		
0,050	0,0009	39,2			0,0011	48,5			0,0013	60,0		
0,075	0,0014	64,6			0,0017	76,1			0,002	90,0		
0,100	0,0022	101,5	101,5	7	0,0026	117,7	117,7	9	0,0028	129,2	129,2	9
0,125	0,0030	136,1			0,0034	156,9			0,0037	170,8		
0,150	0,0035	159,2			0,0043	198,4			0,0045	207,7		
0,200	0,0047	216,9	216,9	11	0,0057	263,1	263,1	13	0,0057	263,1	263,1	13
0,300	0,0070	320,7			0,0084	387,7			0,007	323,1		



Fecha de ensayo: 24/11/2009

MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA RAZÓN SOPORTE DE CALIFORNIA DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO

Norma: NTP – 339 – 145 - 1999

MUESTRA:

Identificación : Fracción gruesa con 1,5 L de aditivo. Secado 1 día.

Procedencia : 75% afirmado de cantera La Ramsa y 25% arcilla de cantera parque Kurt Beer.

DATOS DE LOS ESPECÍMENES ENSAYADOS

Espécimen	# 1	# 2	# 3
<i>Método de preparación y compactación</i>	<i>Húmedo</i>	<i>Húmedo</i>	<i>Húmedo</i>
<i>Condición al momento de ensayarlos</i>	<i>Remojados 04 días</i>		
<i>% de humedad de compactación</i>	8	8	8
<i>Densidad seca antes de sumergirlos en agua</i>	2,17	2,17	2,16
<i>Compactación en golpes por capa</i>	56	56	56

RESULTADOS

Espécimen	# 1	# 2	# 3
% de expansión con respecto a su altura inicial	2,19	2,41	2,30
C.B.R. corregido a 0,1" de penetración	7	9	9
C.B.R. corregido a 0,2" de penetración	11	13	13
Cantidad de sobrecarga	10 lbs	10 lbs	10 lbs

Observaciones: *Muestra 1,5 L de aditivo en 30m³ de suelo.*

Especímenes #1, #2 y #3, han sido secadas al ambiente 01 día y después se procedió a colocarlas a la poza de agua por 4 días.

Operador : Sr. Alex Núñez

Supervisor : María Alejandra Ravines Merino

Fecha de ensayo : 24/11/2009

Anexo G

PRUEBAS CBR

Procedimiento: Secado 3 días

Suelo con aditivo: Fracción gruesa

Anexo G – 1

0,9 L de aditivo en 30 m³ de suelo

MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA RAZÓN SOPORTE DE CALIFORNIA DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO

Norma : NTP - 339 - 145 - 1999

Solicitante: **María Alejandra Ravines Merino**

Obra : Tesis de grado

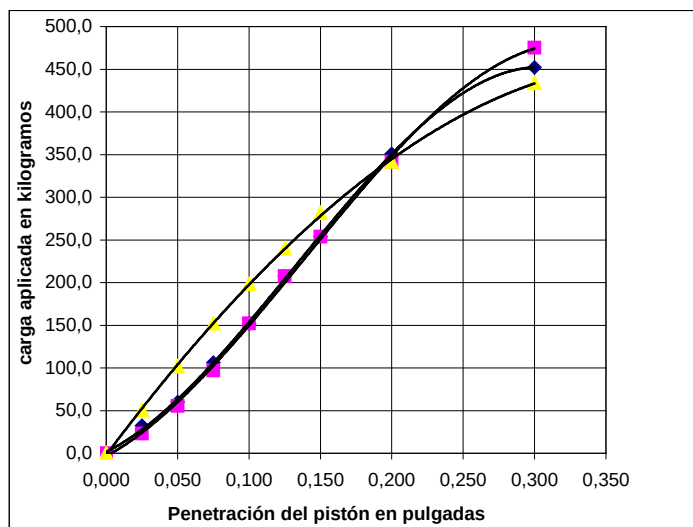
Muestra : Fracción gruesa con 0,9 L de aditivo. Secado 3 días.

Identificación : 7° Tanda

Procedencia : Mezcla: 75% afirmado de cantera La Ramsa y 25% arcilla cantera parque

Kurt Beer.

	Especímen # 1		Molde # 40-56golp.		Especímen # 2		Molde # 41-56golp.		Especímen # 3		Molde # 42-56golp.	
	sin corregir		corregido		sin corregir		corregido		sin corregir		corregido	
Penetración	lect.dial	carga	carga	C.B.R.	lect.dial	carga	carga	C.B.R.	lect.dial	carga	carga	C.B.R.
pulgadas	pulg.	kg.	kg	%	pulg.	kg.	kg	%	pulg.	kg.	kg	%
0,000	0,0000	0,0			0,0000	0,0			0,0000	0,0		
0,025	0,0007	32,3			0,0005	23,1			0,0011	50,8		
0,050	0,0013	60,0			0,0012	55,4			0,0022	101,5		
0,075	0,0023	106,1			0,0021	96,9			0,0033	152,3		
0,100	0,0033	152,3	152,3	11	0,0033	152,3	152,3	11	0,0043	198,4	198,4	15
0,125	0,0045	207,7			0,0045	207,7			0,0052	240,0		
0,150	0,0055	253,8			0,0055	253,8			0,0061	281,5		
0,200	0,0076	350,7	350,7	17	0,0074	341,5	341,5	17	0,0074	341,5	341,5	17
0,300	0,0098	452,3			0,0103	475,3			0,0094	433,8		



Fecha de ensayo: 11/11/2009

**MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA RAZÓN SOPORTE DE CALIFORNIA
DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO**
Norma: NTP – 339 – 145 - 1999

MUESTRA:

Identificación : Fracción gruesa con 0,9 L de aditivo. Secado 3 días.

Procedencia : 75% afirmado de cantera La Ramsa y 25% arcilla de cantera parque Kurt Beer.

DATOS DE LOS ESPECÍMENES ENSAYADOS

Espécimen	# 1	# 2	# 3
<i>Método de preparación y compactación</i>	<i>Húmedo</i>	<i>Húmedo</i>	<i>Húmedo</i>
<i>Condición al momento de ensayarlos</i>	<i>Remojados 04 días</i>		
<i>% de humedad de compactación</i>	8	8	8
<i>Densidad seca antes de sumergirlos en agua</i>	2,17	2,15	2,17
<i>Compactación en golpes por capa</i>	56	56	56

RESULTADOS

Espécimen	# 1	# 2	# 3
% de expansión con respecto a su altura inicial	2,1	1,64	1,71
C.B.R. corregido a 0.1" de penetración	11	11	15
C.B.R. corregido a 0.2" de penetración	17	17	17
Cantidad de sobrecarga	10 lbs	10 lbs	10 lbs

Observaciones: *Muestra 0,9 L de aditivo en 30 m³ de suelo.*

Especímenes #1, #2 y #3, han sido secadas al ambiente 01 día y después se procedió a colocarlas a la poza de agua por 4 días.

Operador : Sr. Alex Núñez
Supervisor : María Alejandra Ravines Merino
Fecha de ensayo : 24/11/2009

Anexo G – 2

1 L de aditivo en 30 m³ de suelo

**MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA RAZÓN SOPORTE DE CALIFORNIA
DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO
Norma: NTP – 339 – 145 - 1999**

MUESTRA:

Identificación : Fracción gruesa con 1 L de aditivo. Secado 3 días.

Procedencia : 75% afirmado de cantera La Ramsa y 25% arcilla de cantera parque Kurt Beer.

DATOS DE LOS ESPECÍMENES ENSAYADOS

Espécimen	# 1	# 2	# 3
<i>Método de preparación y compactación</i>	<i>Húmedo</i>	<i>Húmedo</i>	<i>Húmedo</i>
<i>Condición al momento de ensayarlos</i>	<i>Remojados 04 días</i>		
<i>% de humedad de compactación</i>	<i>8</i>	<i>8</i>	<i>8</i>
<i>Densidad seca antes de sumergirlos en agua</i>	<i>2,17</i>	<i>2,17</i>	<i>2,17</i>
<i>Compactación en golpes por capa</i>	<i>56</i>	<i>56</i>	<i>56</i>

RESULTADOS

Espécimen	# 1	# 2	# 3
% de expansión con respecto a su altura inicial	1,51	1,47	1,09
C.B.R. corregido a 0,1" de penetración	14	15	20
C.B.R. corregido a 0,2" de penetración	19	19	25
Cantidad de sobrecarga	10 lbs	10 lbs	10 lbs

Observaciones: Muestra 1 L de aditivo en 30 m³ de suelo.

Especímenes #1, #2 y #3, han sido secadas al ambiente 03 días y después se procedió a colocarlas a la poza de agua por 4 días.

Operador : Sr. Alex Núñez
Supervisor : María Alejandra Ravines Merino
Fecha de ensayo : 11/11/2009

Anexo G – 3

1,1 L de aditivo en 30 m³ de suelo

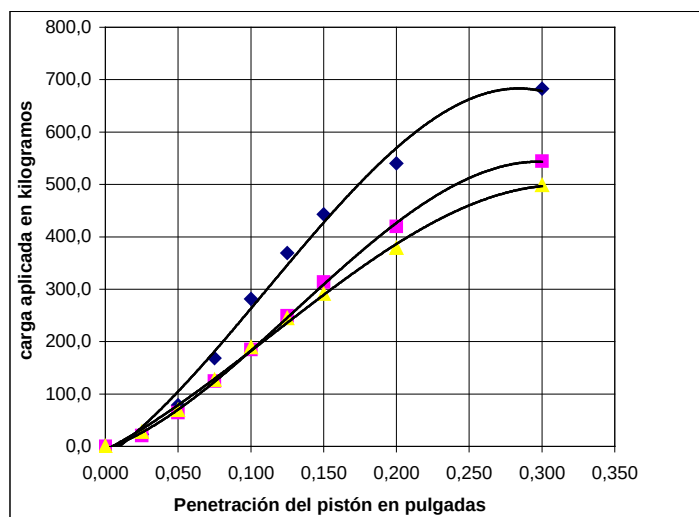
**MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA RAZÓN SOPORTE DE CALIFORNIA
DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO**
Norma : NTP - 339 - 145 - 1999

Solicitante: **María Alejandra Ravines Merino**
Obra : Tesis de grado

Muestra : Fracción gruesa con 1,1 L de aditivo. Secado 3 días.
Identificación : 5° Tanda

Procedencia : Mezcla: 75% afirmado de cantera La Ramsa y 25% arcilla de cantera parque Kurt Beer.

	Especímen # 1		Molde # 47-56golg.		Especímen # 2		Molde # 48-56golg.		Especímen # 3		Molde # 49-56golg.	
	sin corregir		corregido		sin corregir		corregido		sin corregir		corregido	
Penetración	lect.dial	carga	carga	C.B.R.	lect.dial	carga	carga	C.B.R.	lect.dial	carga	carga	C.B.R.
pulgadas	pulg.	kg.	kg	%	pulg.	kg.	kg	%	pulg.	kg.	kg	%
0,000	0,0000	0,0			0,0000	0,0			0,0000	0,0		
0,025	0,0005	23,1			0,0005	20,8			0,0006	27,7		
0,050	0,0017	78,5			0,0014	64,6			0,0015	69,2		
0,075	0,0037	168,4			0,0027	124,6			0,0028	126,9		
0,100	0,0061	281,5	281,5	21	0,004	184,6	184,6	14	0,0041	189,2	189,2	14
0,125	0,0080	369,2			0,0054	249,2			0,0053	244,6		
0,150	0,0096	443,0			0,0068	313,8			0,0063	290,7		
0,200	0,0117	540,0	540,0	26	0,0091	420,0	420,0	21	0,0082	378,4	378,4	19
0,300	0,0148	683,0			0,0118	544,6			0,0108	498,4		



Fecha de ensayo: 03/11/2009

MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA RAZÓN SOPORTE DE CALIFORNIA DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO

Norma: NTP – 339 – 145 - 1999

MUESTRA:

Identificación : Fracción gruesa con 1,1 L de aditivo. Secado 3 días.

Procedencia : 75% afirmado de cantera La Ramsa y 25% arcilla de cantera de parque Kurt Beer.

DATOS DE LOS ESPECÍMENES ENSAYADOS

Espécimen	# 1	# 2	# 3
<i>Método de preparación y compactación</i>	<i>Húmedo</i>	<i>Húmedo</i>	<i>Húmedo</i>
<i>Condición al momento de ensayarlos</i>	<i>Remojados 04 días</i>		
<i>% de humedad de compactación</i>	8	8	8
<i>Densidad seca antes de sumergirlos en agua</i>	2,13	2,13	2,16
<i>Compactación en golpes por capa</i>	56	56	56

RESULTADOS

Espécimen	# 1	# 2	# 3
% de expansión con respecto a su altura inicial	1,29	1,77	1,69
C.B.R. corregido a 0,1" de penetración	21	14	14
C.B.R. corregido a 0,2" de penetración	26	21	19
Cantidad de sobrecarga	10 lbs	10 lbs	10 lbs

Observaciones: *Muestra 1,1 L de aditivo en 30m³ de suelo.*

Especímenes #1, #2 y #3, han sido secadas al ambiente 03 días y después se procedió a colocarlas a la poza de agua por 4 días.

Operador : Sr. Alex Núñez
Supervisor : María Alejandra Ravines Merino
Fecha de ensayo : 3/11/2009

Anexo G – 4

1,5 L de aditivo en 30 m³ de suelo

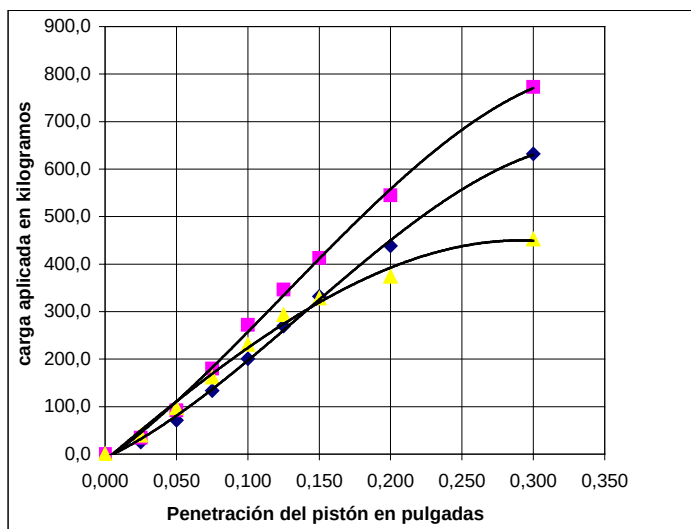
**MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA RAZÓN SOPORTE DE CALIFORNIA
DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO
Norma : NTP - 339 - 145 - 1999**

Solicitante: **María Alejandra Ravines Merino**
Obra : Tesis de grado

Muestra : Fracción gruesa con 1,5 L de aditivo. Secado 3 días.
Identificación : 1° Tanda

Procedencia : Mezcla: 75% afirmado de cantera La Ramsa y 25% arcilla cantera parque
Kurt Beer.

	Especimen # 1				Especimen # 2				Especimen # 3			
	sin corregir		Molde # 40-56golg.		sin corregir		Molde # 41-56golg.		sin corregir		Molde # 42-56golg.	
Penetración	lect.dial	carga	carga	C.B.R.	lect.dial	carga	carga	C.B.R.	lect.dial	carga	carga	C.B.R.
pulgadas	pulg.	kg.	kg	%	pulg.	kg.	kg	%	pulg.	kg.	kg	%
0,000	0,0000	0,0			0,0000	0,0			0,0000	0,0		
0,025	0,0006	25,4			0,0008	34,6			0,0009	39,2		
0,050	0,0016	71,5			0,002	92,3			0,0021	96,9		
0,075	0,0029	133,8			0,0039	180,0			0,0035	161,5		
0,100	0,0044	200,8	200,8	15	0,0059	272,3	272,3	20	0,005	230,8	230,8	17
0,125	0,0059	270,0			0,0075	346,1			0,0064	293,1		
0,150	0,0072	332,3			0,009	413,0			0,0071	327,7		
0,200	0,0095	438,4	438,4	21	0,0118	544,6	544,6	27	0,0081	373,8	373,8	18
0,300	0,0137	632,3			0,0168	773,0			0,0098	452,3		



Fecha de ensayo: 30/10/2009

**MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA RAZÓN SOPORTE DE CALIFORNIA
DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO
Norma: NTP – 339 – 145 - 1999**

MUESTRA:

Identificación : Fracción gruesa con 1,5 L de aditivo. Secado 3 días.

Procedencia : 75% afirmado de cantera La Ramsa y 25% arcilla de cantera parque Kurt Beer.

DATOS DE LOS ESPECÍMENES ENSAYADOS

Espécimen	# 1	# 2	# 3
<i>Método de preparación y compactación</i>	<i>Húmedo</i>	<i>Húmedo</i>	<i>Húmedo</i>
<i>Condición al momento de ensayarlos</i>	<i>Remojados 04 días</i>		
<i>% de humedad de compactación</i>	<i>8</i>	<i>8</i>	<i>8</i>
<i>Densidad seca antes de sumergirlos en agua</i>	<i>2,13</i>	<i>2,12</i>	<i>2,13</i>
<i>Compactación en golpes por capa</i>	<i>56</i>	<i>56</i>	<i>56</i>

RESULTADOS

Espécimen	# 1	# 2	# 3
% de expansión con respecto a su altura inicial	1,59	1,54	1,51
C.B.R. corregido a 0,1" de penetración	15	20	17
C.B.R. corregido a 0,2" de penetración	21	27	18
Cantidad de sobrecarga	10 lbs	10 lbs	10 lbs

Observaciones: *Muestra 1,5 L de aditivo en 30 m³ de suelo.*

Especímenes #1, #2 y #3, han sido secadas al ambiente 03 días y después se procedió a colocarlas a la poza de agua por 4 días.

Operador : Sr. Alex Núñez
Supervisor : María Alejandra Ravines Merino
Fecha de ensayo : 30/10/2009

Anexo H - 1

LIMITES DE CONSISTENCIA

Suelo 1: Afirmado

LÍMITES LÍQUIDO - PLÁSTICO - ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS

Norma : NTP - 339 - 129 - 1999

Muestra

Identificación: Afirmado

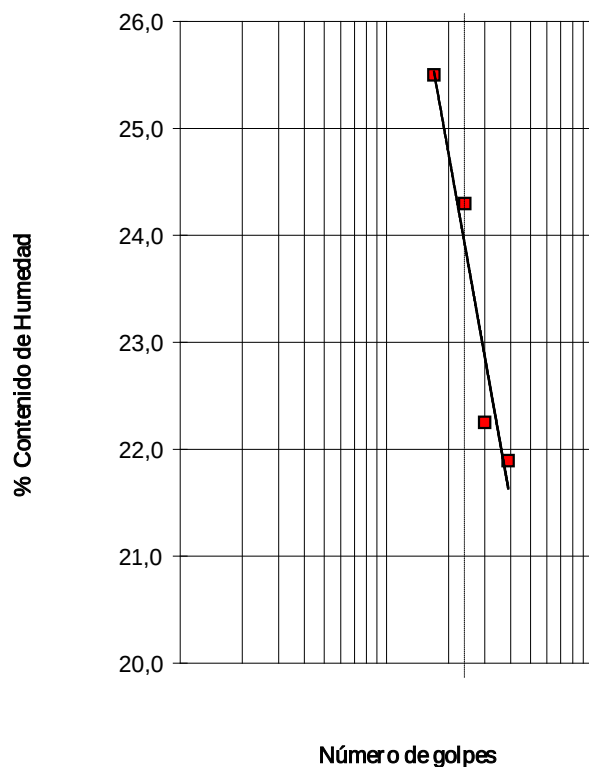
Procedencia: Cantera La Ramsa

LÍMITE LÍQUIDO

Peso húmedo	24,61	29,56	29,98	33,96		
Peso seco	20,19	24,18	24,12	27,06		
Peso de agua	4,42	5,38	5,86	6,90		
% de Humedad	21,9	22,2	24,3	25,5		
Nº de golpes	39	30	24	17		

LÍMITE PLÁSTICO

Peso húmedo	9,16	10,73	9,71			
Peso seco	7,85	9,08	8,28			
Peso de agua	1,31	1,65	1,43			
% de Humedad	16,7	18,2	17,3			



LÍMITE LÍQUIDO L. L.	23
LÍMITE PLÁSTICO L. P.	17
ÍNDICE PLÁSTICO I. P.	6

FECHA: 01/09/2009
 OPERADOR: Sr. Alex Núñez
 SUPERVISOR: María Alejandra Ravines Merino

Anexo H - 2

LIMITES DE CONSISTENCIA

Suelo 2: Arcilla

LÍMITES LÍQUIDO - PLÁSTICO - ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS

Norma : NTP - 339 - 129 - 1999

Muestra

Identificación: Arcilla

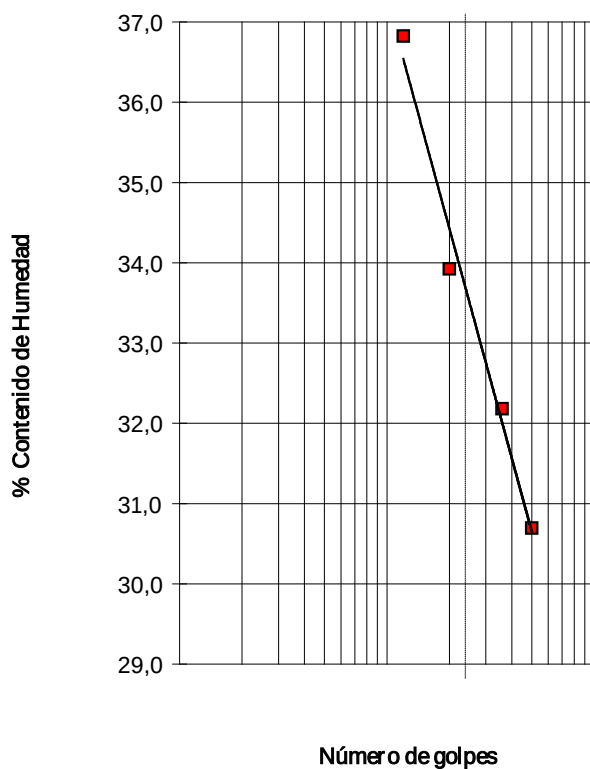
Procedencia: Parque Kurt Beer

LÍMITE LÍQUIDO

Peso húmedo	29,72	34,79	34,15	33,44		
Peso seco	22,74	26,32	25,50	24,44		
Peso de agua	6,98	8,47	8,65	9,00		
% de Humedad	30,7	32,2	33,9	36,8		
Nº de golpes	50	36	20	12		

LÍMITE PLÁSTICO

Peso húmedo	8,52	7,29	8,47			
Peso seco	7,38	6,34	7,43			
Peso de agua	1,14	0,95	1,04			
% de Humedad	15,4	15,0	14,0			



LÍMITE LÍQUIDO L. L.	34
LÍMITE PLÁSTICO L. P.	15
ÍNDICE PLÁSTICO I. P.	19

FECHA: 01/09/2009

OPERADOR: Sr. Alex Núñez

SUPERVISOR: María Alejandra Ravines Merino

Anexo H - 3

LIMITES DE CONSISTENCIA

Suelo final: Mezcla de 75% afirmado y 25% arcilla

LÍMITES LÍQUIDO - PLÁSTICO - ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS

Norma: NTP - 339 - 129 - 1999

Muestra

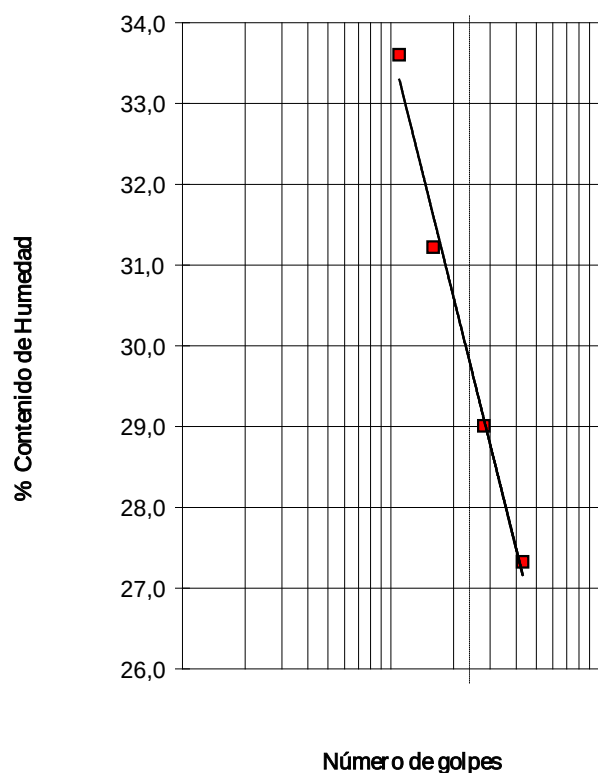
Identificación: 75% afirmado de cantera La Ramsa y 25% arcilla de cantera parque Kurt Beer.

LÍMITE LÍQUIDO

Peso húmedo	26,42	28,24	28,79	26,40		
Peso seco	20,75	21,89	21,94	19,76		
Peso de agua	5,67	6,35	6,85	6,64		
% de Humedad	27,3	29,0	31,2	33,6		
Nº de golpes	43	28	16	11		

LÍMITE PLÁSTICO

Peso húmedo	5,38	5,13	9,49			
Peso seco	4,72	4,48	8,27			
Peso de agua	0,66	0,65	1,22			
% de Humedad	14,0	14,5	14,8			



LÍMITE LÍQUIDO L. L. 30
 LÍMITE PLÁSTICO L. P. 14
 ÍNDICE PLÁSTICO I. P. 16

FECHA: 01/09/2009
 OPERADOR: Sr. Alex Núñez
 SUPERVISOR: María Alejandra Ravines Merino

Anexo I

LIMITES DE CONSISTENCIA

Procedimiento para CBR: Secado normal

Suelo con aditivo: Fracción fina

Anexo I – 1

1 L de aditivo en 30 m³ de suelo

LÍMITES LÍQUIDO - PLÁSTICO - ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS

Norma : NTP - 339 - 129 - 1999

Muestra

Identificación: Fracción fina con 1 L de aditivo.

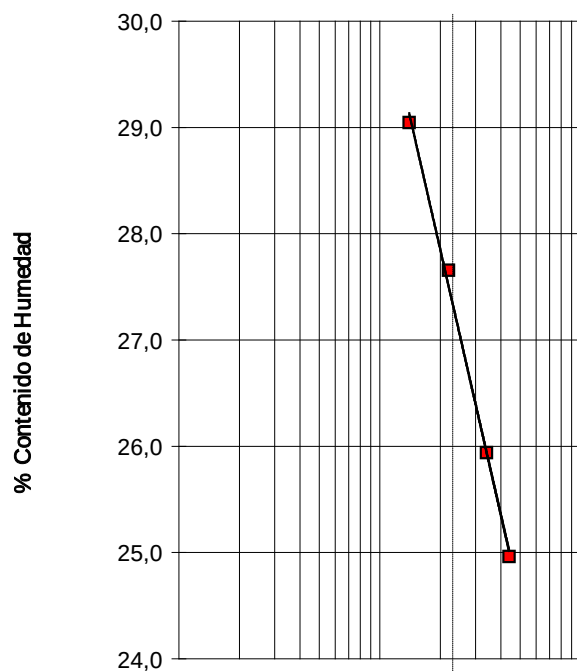
Procedencia: 75% afirmado de cantera La Ramsa y 25% arcilla de cantera de parque Kurt Beer.

LÍMITE LÍQUIDO

Peso húmedo	24,23	28,16	28,25	33,41		
Peso seco	19,39	22,36	22,13	25,89		
Peso de agua	4,84	5,80	6,12	7,52		
% de Humedad	25,0	25,9	27,7	29,0		
Nº de golpes	44	34	22	14		

LÍMITE PLÁSTICO

Peso húmedo	5,03	5,28	7,11			
Peso seco	4,37	4,63	5,89			
Peso de agua	0,66	0,65	1,22			
% de Humedad	15,1	14,0	20,7			



LÍMITE LÍQUIDO L. L.	28
LÍMITE PLÁSTICO L. P.	17
ÍNDICE PLÁSTICO I. P.	11

FECHA: 01/09/2009
 OPERADOR: Sr. Alex Núñez
 SUPERVISOR: María Alejandra Ravines Merino

Número de golpes

Anexo I – 2

1,1 L de aditivo en 30 m³ de suelo

LÍMITES LÍQUIDO - PLÁSTICO - ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS

Norma : NTP - 339 - 129 - 1999

Muestra

Identificación: Fracción fina con 1,1 L de aditivo.

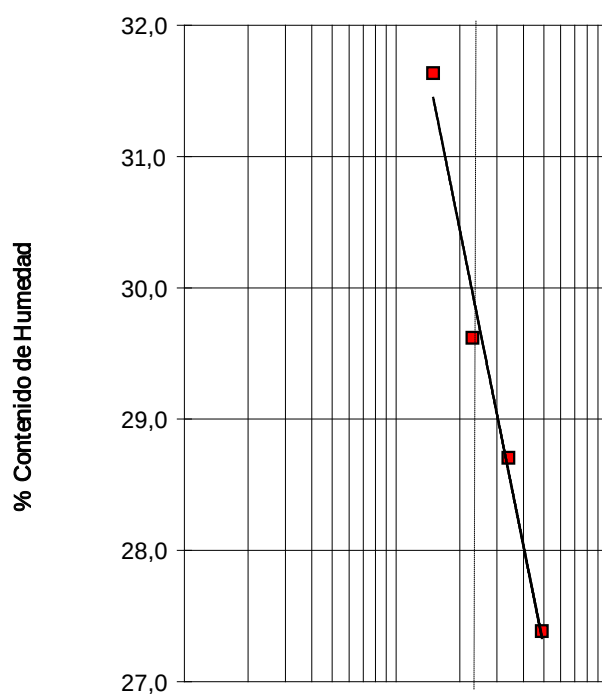
Procedencia: 75% afirmado de cantera La Ramsa y 25% arcilla de cantera aparque Kurt Beer.

LÍMITE LÍQUIDO

Peso húmedo	26,84	27,35	28,84	27,38		
Peso seco	21,07	21,25	22,25	20,80		
Peso de agua	5,77	6,10	6,59	6,58		
% de Humedad	27,4	28,7	29,6	31,6		
Nº de golpes	49	34	23	15		

LÍMITE PLÁSTICO

Peso húmedo	5,61	6,19	6,80			
Peso seco	4,92	5,42	5,95			
Peso de agua	0,69	0,77	0,85			
% de Humedad	14,0	14,2	14,3			



LÍMITE LÍQUIDO L. L.	30
LÍMITE PLÁSTICO L. P.	14
ÍNDICE PLÁSTICO I. P.	16

FECHA: 01/09/2009
 OPERADOR: Sr. Alex Núñez
 SUPERVISOR: María Alejandra Ravines Merino

Número de golpes

Anexo I – 3

1,5 L de aditivo en 30 m³ de suelo

LÍMITES LÍQUIDO - PLÁSTICO - ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS

Norma : NTP - 339 - 129 - 1999

Muestra

Identificación: Fracción fina con 1,5 L de aditivo.

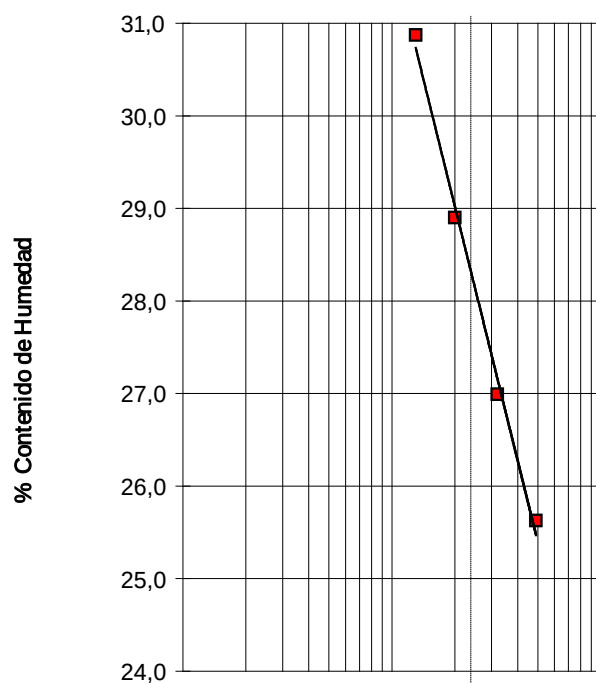
Procedencia: 75% afirmado de cantera La Ramsa y 25% arcilla de cantera parque Kurt Beer.

LÍMITE LÍQUIDO

Peso húmedo	33,58	30,91	26,85	31,20		
Peso seco	26,73	24,34	20,83	23,84		
Peso de agua	6,85	6,57	6,02	7,36		
% de Humedad	25,6	27,0	28,9	30,9		
Nº de golpes	49	32	20	13		

LÍMITE PLÁSTICO

Peso húmedo	5,98	6,67	6,39			
Peso seco	5,25	5,84	5,61			
Peso de agua	0,73	0,83	0,78			
% de Humedad	13,9	14,2	13,9			



LÍMITE LÍQUIDO L. L. 30
 LÍMITE PLÁSTICO L. P. 14
 ÍNDICE PLÁSTICO I. P. 16

FECHA: 01/09/2009
 OPERADOR: Sr. Alex Núñez
 SUPERVISOR: María Alejandra Ravines Merino

Número de golpes

Anexo J

LIMITES DE CONSISTENCIA

Procedimiento para CBR: Secado 1 día

Suelo con aditivo: Fracción fina

Anexo J – 1

0,9 L de aditivo en 30 m³ de suelo

LÍMITES LÍQUIDO - PLÁSTICO - ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS

Norma : NTP - 339 - 129 - 1999

Muestra

Identificación: Fracción fina con 0,9 L aditivo.

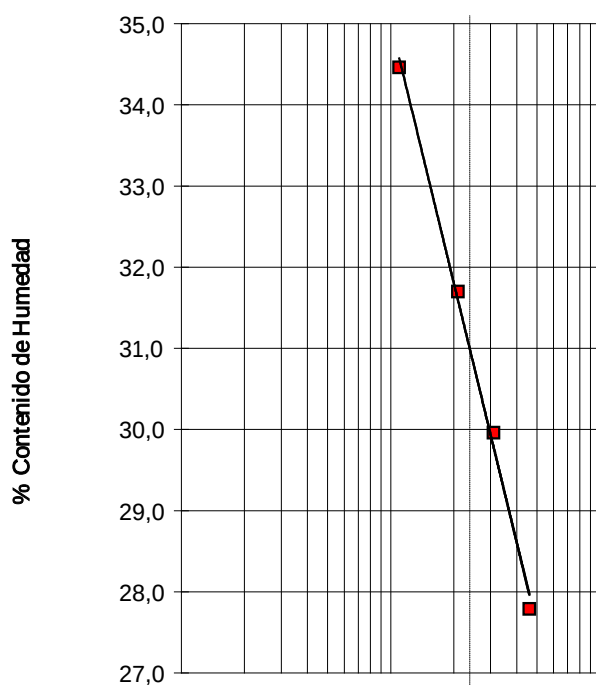
Procedencia: 75% afirmado de cantera La Ramsa y 25% arcilla de cantera parque Kurt Beer.

LÍMITE LÍQUIDO

Peso húmedo	19,82	25,68	23,89	24,62		
Peso seco	15,51	19,76	18,14	18,31		
Peso de agua	4,31	5,92	5,75	6,31		
% de Humedad	27,8	30,0	31,7	34,5		
Nº de golpes	46	31	21	11		

LÍMITE PLÁSTICO

Peso húmedo	5,99	4,89	7,79			
Peso seco	5,27	4,32	6,85			
Peso de agua	0,72	0,57	0,94			
% de Humedad	13,7	13,2	13,7			



LÍMITE LÍQUIDO L. L.	31
LÍMITE PLÁSTICO L. P.	14
ÍNDICE PLÁSTICO I. P.	17

FECHA: 01/09/2009
 OPERADOR: Sr. Alex Núñez
 SUPERVISOR: María Alejandra Ravines Merino

Número de golpes

Anexo J – 2

1 L de aditivo en 30 m³ de suelo

LÍMITES LÍQUIDO - PLÁSTICO - ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS

Norma: NTP - 339 - 129 - 1999

Muestra

Identificación: Fracción fina con 1,1 L aditivo. Secado 1 día.

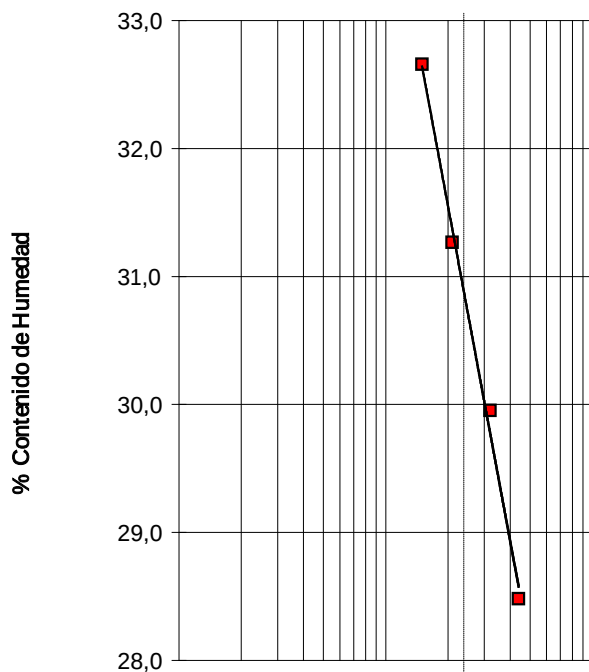
Procedencia: 75% afirmado de cantera La Ramsa y 25% arcilla de cantera parque Kurt Beer.

LÍMITE LÍQUIDO

Peso húmedo	18,54	22,30	22,88	21,65		
Peso seco	14,43	17,16	17,43	16,32		
Peso de agua	4,11	5,14	5,45	5,33		
% de Humedad	28,5	30,0	31,3	32,7		
Nº de golpes	44	32	21	15		

LÍMITE PLÁSTICO

Peso húmedo	6,04	6,96	5,84			
Peso seco	6,22	6,06	5,04			
Peso de agua	0,80	0,90	0,80			
% de Humedad	15,3	14,9	15,9			



LÍMITE LÍQUIDO L. L.	30
LÍMITE PLÁSTICO L. P.	15
ÍNDICE PLÁSTICO I. P.	15

FECHA: 01/09/2009
 OPERADOR: Sr. Alex Núñez
 SUPERVISOR: María Alejandra Ravines Merino

Número de golpes

Anexo J – 3

1,1 L de aditivo en 30 m³ de suelo

LÍMITES LÍQUIDO - PLÁSTICO - ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS

Norma : NTP - 339 - 129 - 1999

Muestra

Identificación: Fracción fina con 0,9 L aditivo.

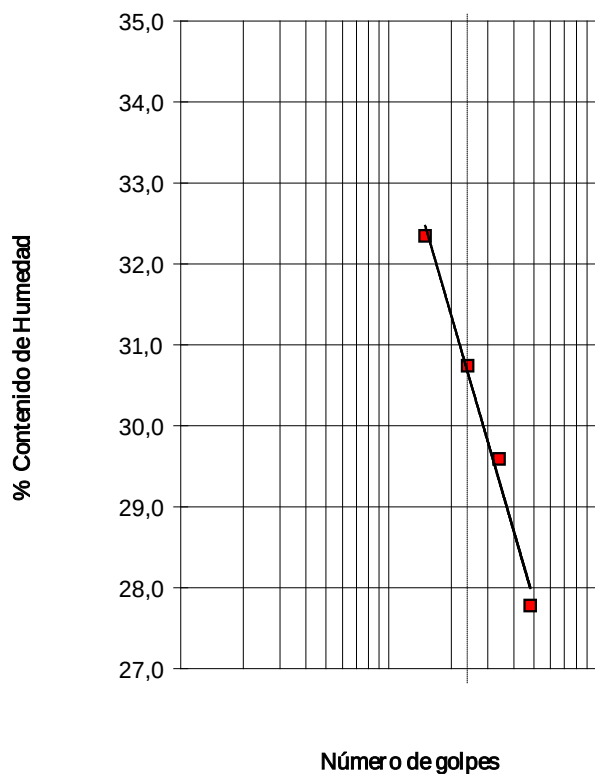
Procedencia: 75% afirmado de cantera La Ramsa y 25% arcilla de cantera Kurt Beer.

LÍMITE LÍQUIDO

Peso húmedo	23,69	24,22	22,03	23,20		
Peso seco	18,54	18,69	16,85	17,53		
Peso de agua	5,15	5,53	5,18	5,67		
% de Humedad	27,8	29,6	30,7	32,3		
Nº de golpes	48	34	24	15		

LÍMITE PLÁSTICO

Peso húmedo	6,50	9,19	9,22			
Peso seco	5,70	8,13	8,21			
Peso de agua	0,80	1,06	1,01			
% de Humedad	14,0	13,0	12,3			



LÍMITE LÍQUIDO L. L.	30
LÍMITE PLÁSTICO L. P.	13
ÍNDICE PLÁSTICO I. P.	17

FECHA: 01/09/2009
 OPERADOR: Sr. Alex Núñez
 SUPERVISOR: María Alejandra Ravines Merino

Anexo J – 4

1,5 L de aditivo en 30 m³ de suelo

LÍMITES LÍQUIDO - PLÁSTICO - ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS

Norma : NTP - 339 - 129 - 1999

Muestra

Identificación: Fracción fina con 1,5 L aditivo. Secado 1 día.

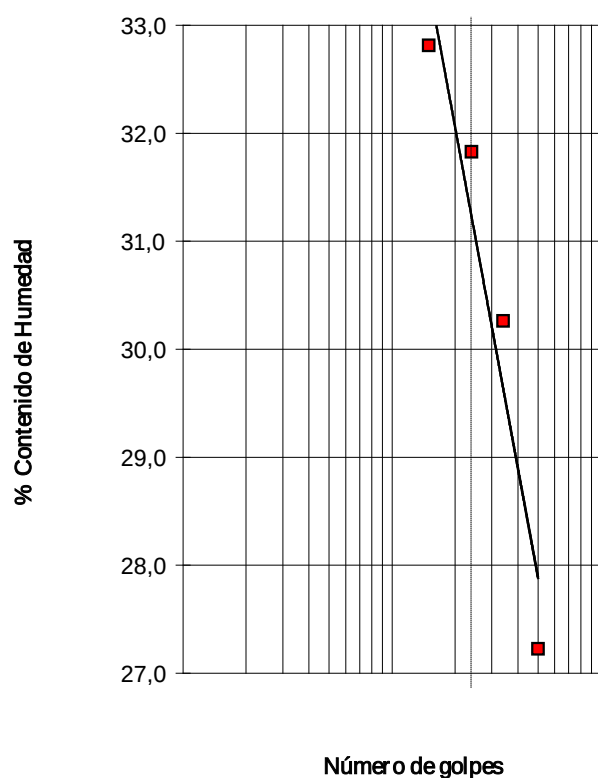
Procedencia: 75% afirmado de cantera La Ramsa y 25% arcilla de cantera parque Kurt Beer.

LÍMITE LÍQUIDO

Peso húmedo	19,72	22,77	23,65	21,25		
Peso seco	15,50	17,48	17,94	16,00		
Peso de agua	4,22	5,29	5,71	5,25		
% de Humedad	27,2	30,3	31,8	32,8		
Nº de golpes	50	34	24	15		

LÍMITE PLÁSTICO

Peso húmedo	6,70	6,55	5,88			
Peso seco	5,90	5,75	5,18			
Peso de agua	0,80	0,80	0,70			
% de Humedad	13,6	13,9	13,5			



LÍMITE LÍQUIDO L. L.	31
LÍMITE PLÁSTICO L. P.	14
ÍNDICE PLÁSTICO I. P.	17

FECHA: 01/09/2009

OPERADOR: Sr. Alex Núñez

SUPERVISOR: María Alejandra Ravines Merino

Anexo K

LIMITES DE CONSISTENCIA

Procedimiento para CBR: Secado 3 días

Suelo con aditivo: Fracción fina

Anexo K – 1

0,9 L de aditivo en 30 m³ de suelo

LÍMITES LÍQUIDO - PLÁSTICO - ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS

Norma : NTP - 339 - 129 - 1999

Muestra

Identificación: Fracción fina con 0,9 L. Secado 3 días.

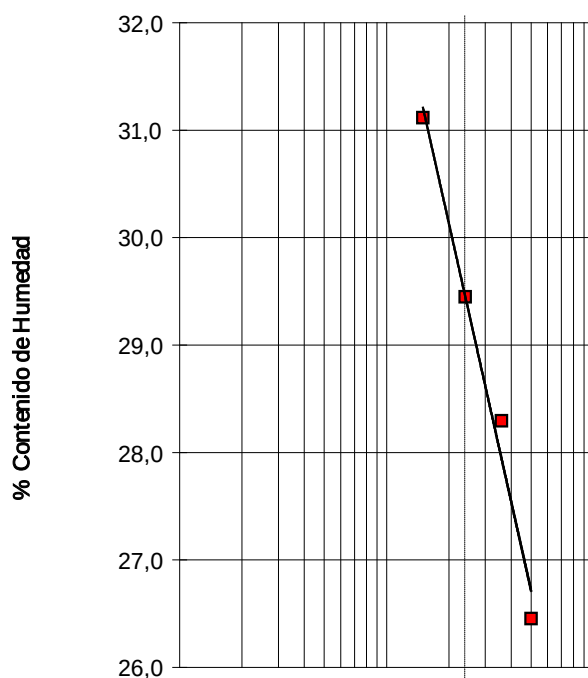
Procedencia: 75% afirmado de cantera La Ramsa y 25% arcilla de cantera Kurt Beer.

LÍMITE LÍQUIDO

Peso húmedo	31,07	27,25	26,55	27,98		
Peso seco	24,57	21,24	20,51	21,34		
Peso de agua	6,50	6,01	6,04	6,64		
% de Humedad	26,5	28,3	29,4	31,1		
Nº de golpes	50	36	24	15		

LÍMITE PLÁSTICO

Peso húmedo	6,41	7,86	7,76			
Peso seco	5,59	6,86	6,78			
Peso de agua	0,82	1,00	0,98			
% de Humedad	14,7	14,6	14,5			



LÍMITE LÍQUIDO L. L. 29
 LÍMITE PLÁSTICO L. P. 15
 ÍNDICE PLÁSTICO I. P. 14

FECHA: 01/09/2009
 OPERADOR: Sr. Alex Núñez
 SUPERVISOR: María Alejandra Ravines Merino

Número de golpes

Anexo K – 2

1 L de aditivo en 30 m³ de suelo

LÍMITES LÍQUIDO - PLÁSTICO - ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS

Norma : NTP - 339 - 129 - 1999

Muestra

Identificación: Fracción fina con 1 L de aditivo. Secado 3 días.

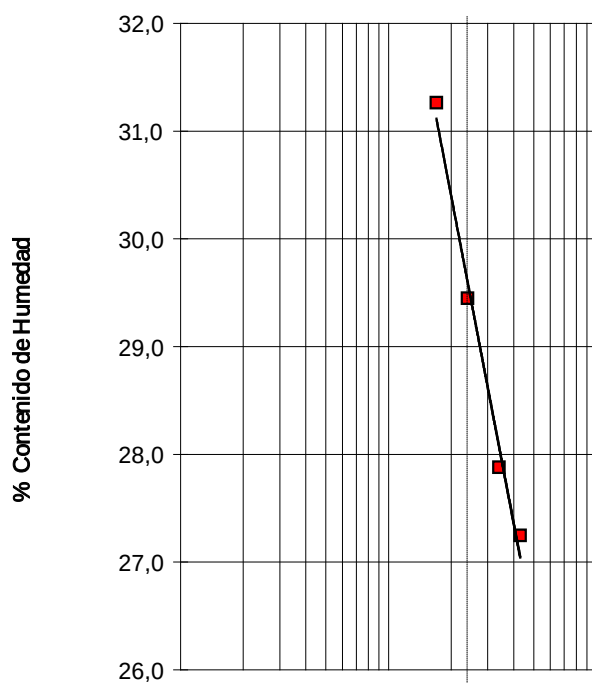
Procedencia: 75% afirmado de cantera La Ramsa y 25% arcilla de cantera Kurt Beer.

LÍMITE LÍQUIDO

Peso húmedo	26,62	25,32	29,10	25,78		
Peso seco	20,92	19,80	22,48	19,64		
Peso de agua	5,70	5,52	6,62	6,14		
% de Humedad	27,2	27,9	29,4	31,3		
Nº de golpes	43	34	24	17		

LÍMITE PLÁSTICO

Peso húmedo	3,95	4,00	4,09			
Peso seco	3,47	3,52	3,62			
Peso de agua	0,48	0,48	0,47			
% de Humedad	13,8	13,6	13,0			



LÍMITE LÍQUIDO L. L. 29
 LÍMITE PLÁSTICO L. P. 13
 ÍNDICE PLÁSTICO I. P. 16

FECHA: 01/09/2009
 OPERADOR: Sr. Alex Núñez
 SUPERVISOR: María Alejandra Ravines Merino

Número de golpes

Anexo K – 3

1,1 L de aditivo en 30 m³ de suelo

LÍMITES LÍQUIDO - PLÁSTICO - ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS

Norma : NTP - 339 - 129 - 1999

Muestra

Identificación: Fracción gruesa con 1.1 L de aditivo. Secado 3 días.

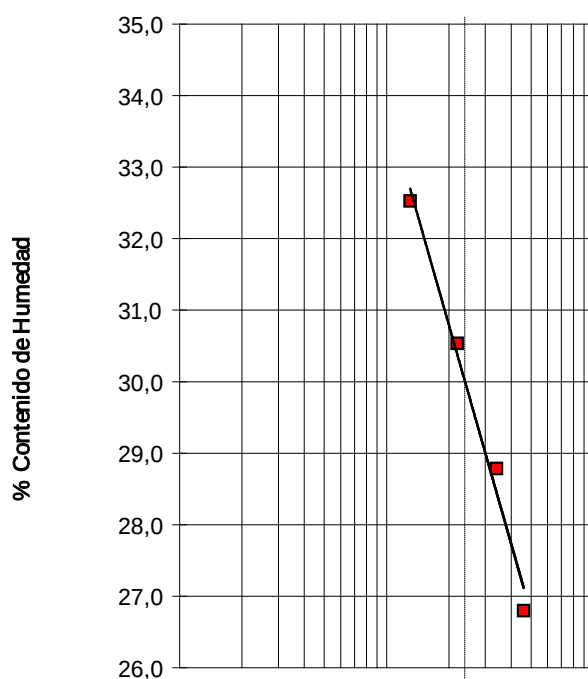
Procedencia: 75% afirmado de cantera La Ramsa y 25% arcilla de cantera Kurt Beer.

LÍMITE LÍQUIDO

Peso húmedo	29,62	25,68	25,65	29,54		
Peso seco	23,36	19,94	19,65	22,29		
Peso de agua	6,26	5,74	6,00	7,25		
% de Humedad	26,8	28,8	30,5	32,5		
Nº de golpes	46	34	22	13		

LÍMITE PLÁSTICO

Peso húmedo	5,84	7,32	6,82			
Peso seco	5,16	6,44	5,99			
Peso de agua	0,68	0,88	0,83			
% de Humedad	13,2	13,7	13,9			



LÍMITE LÍQUIDO L. L.	30
LÍMITE PLÁSTICO L. P.	14
ÍNDICE PLÁSTICO I. P.	16

FECHA: 01/09/2009
 OPERADOR: Sr. Alex Núñez
 SUPERVISOR: María Alejandra Ravines Merino

Número de golpes

Anexo K – 4

1,5 L de aditivo en 30 m³ de suelo

LÍMITES LÍQUIDO - PLÁSTICO - ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS

Norma : NTP - 339 - 129 - 1999

Muestra

Identificación: Fracción gruesa con 1,5 L de aditivo. Secado 3 días.

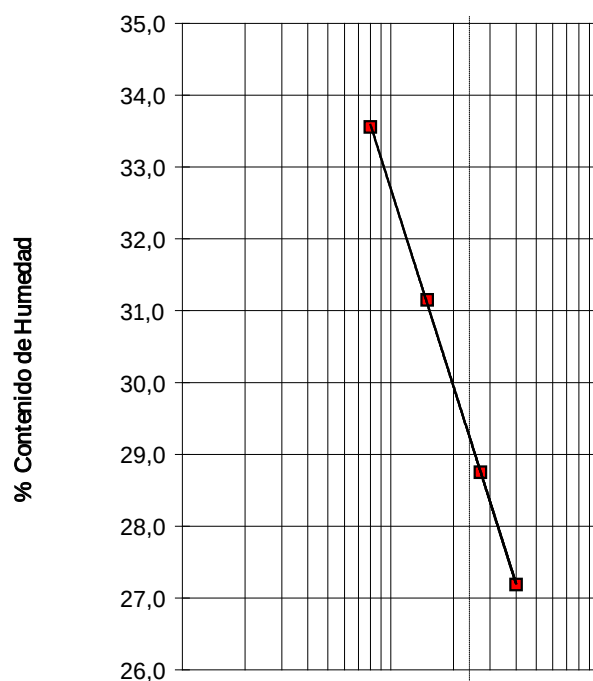
Procedencia: 75% afirmado de cantera La Ramsa y 25% arcilla de cantera Kurt Beer.

LÍMITE LÍQUIDO

Peso húmedo	29,80	27,63	28,42	27,70		
Peso seco	23,43	21,46	21,67	20,74		
Peso de agua	6,37	6,17	6,75	6,96		
% de Humedad	27,2	28,8	31,1	33,6		
Nº de golpes	40	27	15	8		

LÍMITE PLÁSTICO

Peso húmedo	6,58	7,27	8,16			
Peso seco	5,79	6,40	7,20			
Peso de agua	0,79	0,87	0,96			
% de Humedad	13,6	13,6	13,3			



LÍMITE LÍQUIDO L. L. 29
 LÍMITE PLÁSTICO L. P. 14
 ÍNDICE PLÁSTICO I. P. 15

FECHA: 01/09/2009
 OPERADOR: Sr. Alex Núñez
 SUPERVISOR: María Alejandra Ravines Merino

Número de golpes

Anexo L

LIMITES DE CONSISTENCIA

Procedimiento para CBR: Secado normal

Suelo con aditivo: Fracción gruesa

Anexo L – 1

1 de aditivo en 30 m³ de suelo

LÍMITES LÍQUIDO - PLÁSTICO - ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS

Norma : NTP - 339 - 129 - 1999

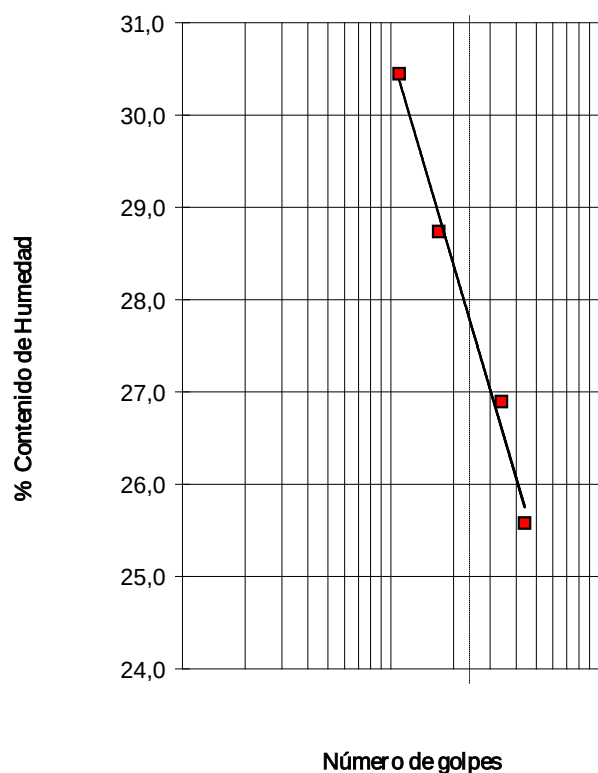
Muestra Fracción gruesa con 1 L. de aditivo.
Identificación: 75% afirmado de cantera La Ramsa y 25% arcilla de cantera Kurt Beer.

LÍMITE LÍQUIDO

Peso húmedo	34,76	30,81	37,63	32,52		
Peso seco	27,68	24,28	29,23	24,93		
Peso de agua	7,08	6,53	8,40	7,59		
% de Humedad	25,6	26,9	28,7	30,4		
Nº de golpes	44	34	17	11		

LÍMITE PLÁSTICO

Peso húmedo	5,19	5,80	6,34			
Peso seco	4,38	5,10	5,56			
Peso de agua	0,81	0,70	0,78			
% de Humedad	18,6	13,7	14,0			



LÍMITE LÍQUIDO L. L.	28
LÍMITE PLÁSTICO L. P.	15
ÍNDICE PLÁSTICO I. P.	13

FECHA: 01/09/2009
 OPERADOR: Sr. Alex Núñez
 SUPERVISOR: María Alejandra Ravines Merino

Anexo L – 2

1,5 L de aditivo en 30 m³ de suelo

LÍMITES LÍQUIDO - PLÁSTICO - ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS

Norma : NTP - 339 - 129 - 1999

Muestra

Identificación: Fracción gruesa con 1 L. de aditivo.

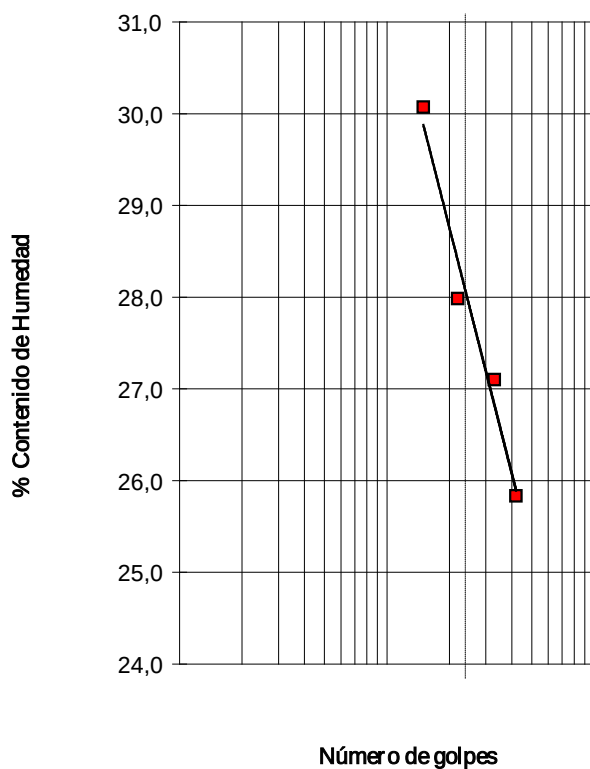
Procedencia: 75% afirmado de cantera La Ramsa y 25% arcilla de cantera parque Kurt Beer.

LÍMITE LÍQUIDO

Peso húmedo	31,32	32,97	35,40	36,94		
Peso seco	24,89	25,94	27,66	28,40		
Peso de agua	6,43	7,03	7,74	8,54		
% de Humedad	25,8	27,1	28,0	30,1		
Nº de golpes	42	33	22	15		

LÍMITE PLÁSTICO

Peso húmedo	6,56	7,30	9,68			
Peso seco	5,78	6,44	8,53			
Peso de agua	0,78	0,86	1,15			
% de Humedad	13,5	13,4	13,5			



LÍMITE LÍQUIDO L. L.	28
LÍMITE PLÁSTICO L. P.	13
ÍNDICE PLÁSTICO I. P.	15

FECHA: 01/09/2009

OPERADOR: Sr. Alex Núñez

SUPERVISOR: María Alejandra Ravines Merino

Anexo M

LIMITES DE CONSISTENCIA

Procedimiento para CBR: Secado 1 día

Suelo con aditivo: Fracción gruesa

Anexo M – 1

0,9 L de aditivo en 30 m³ de suelo

LÍMITES LÍQUIDO - PLÁSTICO - ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS

Norma : NTP - 339 - 129 - 1999

Muestra

Identificación: Fracción gruesa con 0,9 L de aditivo. Secado 1 día.

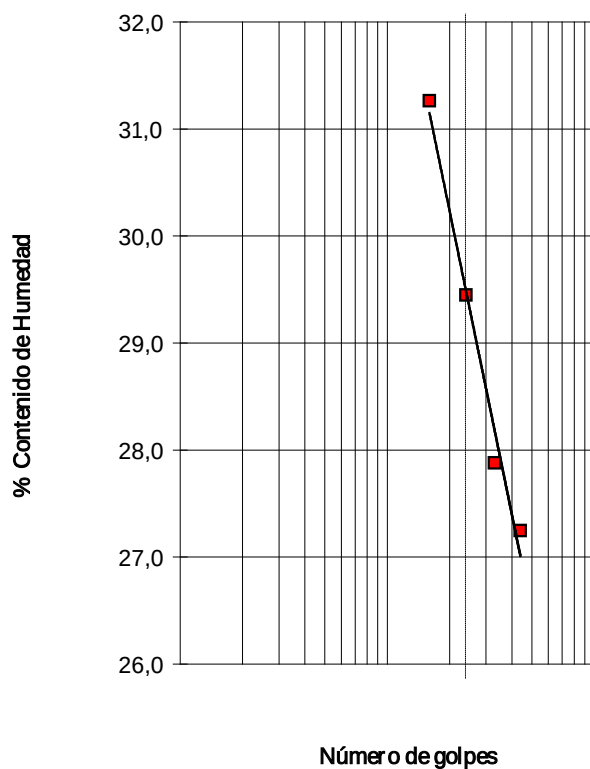
Procedencia: 75% afirmado de cantera La Ramsa y 25% arcilla de cantera parque Kurt Beer.

LÍMITE LÍQUIDO

Peso húmedo	26,62	25,32	29,10	25,78		
Peso seco	20,92	19,80	22,48	19,64		
Peso de agua	5,70	5,52	6,62	6,14		
% de Humedad	27,2	27,9	29,4	31,3		
Nº de golpes	44	33	24	16		

LÍMITE PLÁSTICO

Peso húmedo	6,20	8,54	7,53			
Peso seco	5,41	7,78	6,53			
Peso de agua	0,79	0,76	1,00			
% de Humedad	14,6	9,8	15,3			



LÍMITE LÍQUIDO L. L.	29
LÍMITE PLÁSTICO L. P.	13
ÍNDICE PLÁSTICO I. P.	16

FECHA: 01/09/2009
 OPERADOR: Sr. Alex Núñez
 SUPERVISOR: María Alejandra Ravines Merino

Anexo M – 2

1 L de aditivo en 30 m³ de suelo

LÍMITES LÍQUIDO - PLÁSTICO - ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS

Norma : NTP - 339 - 129 - 1999

Muestra

Identificación: Fracción gruesa con 1 L. Secado 1 día.

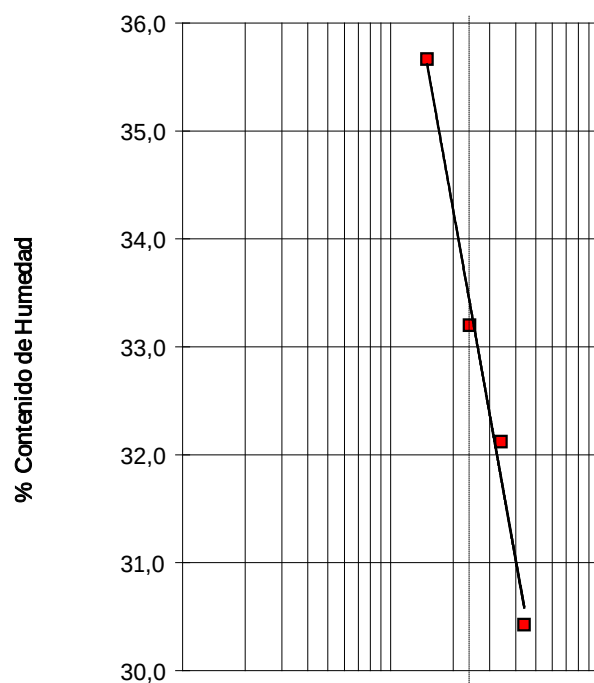
Procedencia: 75% afirmado de cantera La Ramsa y 25% arcilla de cantera parque Kurt Beer.

LÍMITE LÍQUIDO

Peso húmedo	19,89	23,98	23,15	21,53		
Peso seco	15,25	18,15	17,38	15,87		
Peso de agua	4,64	5,83	5,77	5,66		
% de Humedad	30,4	32,1	33,2	35,7		
Nº de golpes	44	34	24	15		

LÍMITE PLÁSTICO

Peso húmedo	7,14	6,67	6,46			
Peso seco	6,20	5,78	5,63			
Peso de agua	0,94	0,89	0,83			
% de Humedad	15,2	15,4	14,7			



LÍMITE LÍQUIDO L. L. 32
 LÍMITE PLÁSTICO L. P. 15
 ÍNDICE PLÁSTICO I. P. 17

FECHA: 01/09/2009
 OPERADOR: Sr. Alex Núñez
 SUPERVISOR: María Alejandra Ravines Merino

Número de golpes

Anexo M – 3

1,1 L de aditivo en 30 m³ de suelo

LÍMITES LÍQUIDO - PLÁSTICO - ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS

Norma : NTP - 339 - 129 - 1999

Muestra

Identificación: Fracción fina con 1,1 L aditivo.

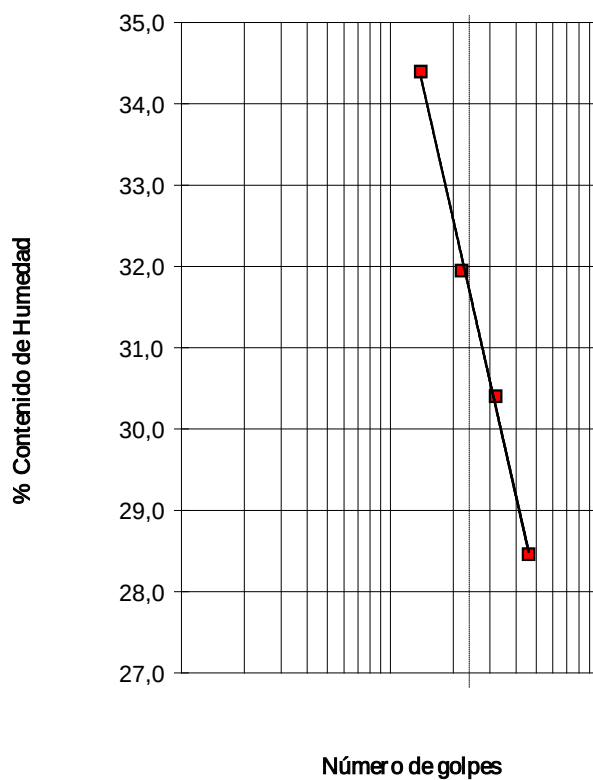
Procedencia: 75% afirmado de cantera La Ramsa y 25% arcilla de cantera parque Kurt Beer.

LÍMITE LÍQUIDO

Peso húmedo	21,26	19,73	24,45	21,96		
Peso seco	16,55	15,13	18,53	16,34		
Peso de agua	4,71	4,60	5,92	5,62		
% de Humedad	28,5	30,4	31,9	34,4		
Nº de golpes	46	32	22	14		

LÍMITE PLÁSTICO

Peso húmedo	7,71	8,60	10,11			
Peso seco	6,77	7,51	8,90			
Peso de agua	0,94	1,09	1,21			
% de Humedad	13,9	14,5	13,6			



LÍMITE LÍQUIDO L. L.	31
LÍMITE PLÁSTICO L. P.	14
ÍNDICE PLÁSTICO I. P.	17

FECHA: 01/09/2009
 OPERADOR: Sr. Alex Núñez
 SUPERVISOR: María Alejandra Ravines Merino

Anexo M – 4

1,5L de aditivo en 30 m³ de suelo

LÍMITES LÍQUIDO - PLÁSTICO - ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS

Norma : NTP - 339 - 129 - 1999

Muestra

Identificación: Fracción gruesa con 1,5 L de aditivo.

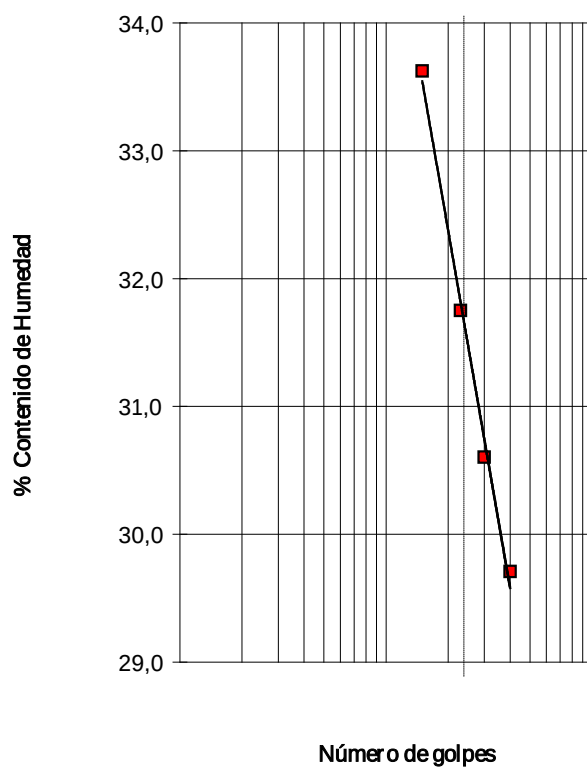
Procedencia: 75% afirmado de cantera La Ramsa y 25% arcilla de cantera Kurt Beer.

LÍMITE LÍQUIDO

Peso húmedo	19,56	18,65	16,10	19,99		
Peso seco	15,08	14,28	12,22	14,96		
Peso de agua	4,48	4,37	3,88	5,03		
% de Humedad	29,7	30,6	31,8	33,6		
Nº de golpes	40	30	23	15		

LÍMITE PLÁSTICO

Peso húmedo	7,03	7,56	9,63			
Peso seco	6,16	6,64	8,48			
Peso de agua	0,87	0,92	1,15			
% de Humedad	14,1	13,9	13,6			



LÍMITE LÍQUIDO L. L. 31
 LÍMITE PLÁSTICO L. P. 14
 ÍNDICE PLÁSTICO I. P. 17

FECHA: 01/09/2009
 OPERADOR: Sr. Alex Núñez
 SUPERVISOR: María Alejandra Ravines Merino

Anexo N

LIMITES DE CONSISTENCIA

Procedimiento para CBR: Secado 3 días

Suelo con aditivo: Fracción gruesa

Anexo N – 1

0,9 L de aditivo en 30 m³ de suelo

LÍMITES LÍQUIDO - PLÁSTICO - ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS

Norma : NTP - 339 - 129 - 1999

Muestra

Identificación: Fracción gruesa con 0,9 L de aditivo. Secado 3 días.

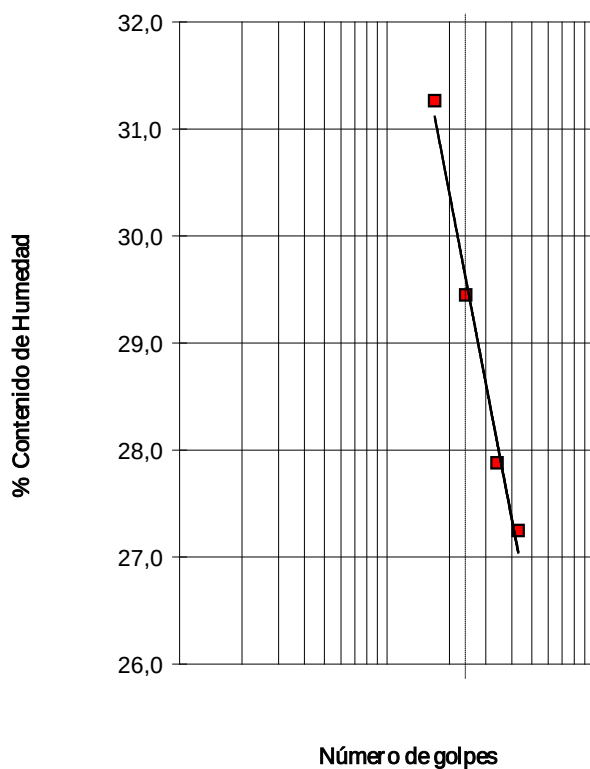
Procedencia: 75% afirmado de cantera La Ramsa y 25% arcilla de cantera parque Kurt Beer.

LÍMITE LÍQUIDO

Peso húmedo	26,62	25,32	29,10	25,78		
Peso seco	20,92	19,80	22,48	19,64		
Peso de agua	5,70	5,52	6,62	6,14		
% de Humedad	27,2	27,9	29,4	31,3		
Nº de golpes	43	34	24	17		

LÍMITE PLÁSTICO

Peso húmedo	3,95	4,00	4,09			
Peso seco	3,47	3,52	3,62			
Peso de agua	0,48	0,48	0,47			
% de Humedad	13,8	13,6	13,0			



LÍMITE LÍQUIDO L. L.	29
LÍMITE PLÁSTICO L. P.	13
ÍNDICE PLÁSTICO I. P.	16

FECHA: 01/09/2009

OPERADOR: Sr. Alex Núñez

SUPERVISOR: María Alejandra Ravines Merino

Anexo N – 2

1 L de aditivo en 30 m³ de suelo

LÍMITES LÍQUIDO - PLÁSTICO - ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS

Norma : NTP - 339 - 129 - 1999

Muestra

Identificación: Fracción gruesa con 1 L de aditivo. Secado 3 días.

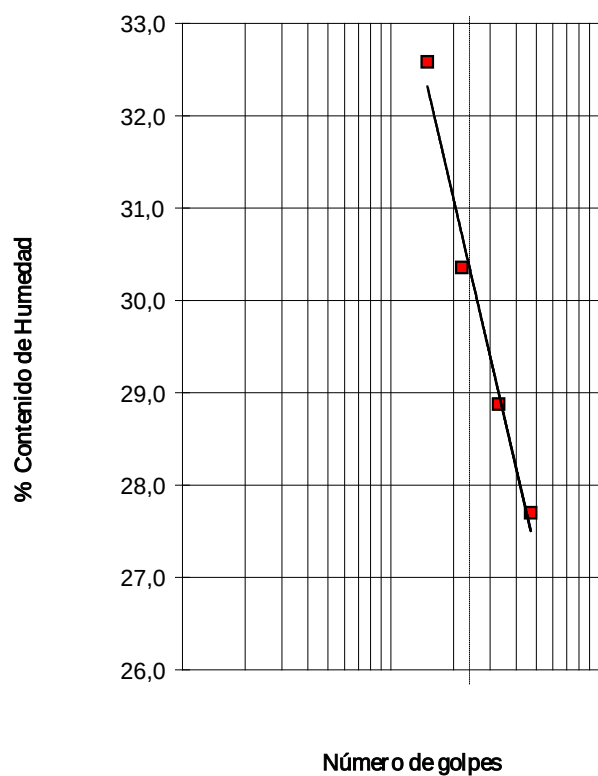
Procedencia: 75% afirmado de cantera La Ramsa y 25% arcilla de cantera Kurt Beer.

LÍMITE LÍQUIDO

Peso húmedo	19,87	21,02	22,63	23,52		
Peso seco	15,56	16,31	17,36	17,74		
Peso de agua	4,31	4,71	5,27	5,78		
% de Humedad	27,7	28,9	30,4	32,6		
Nº de golpes	47	33	22	15		

LÍMITE PLÁSTICO

Peso húmedo	4,43	5,00	6,09			
Peso seco	3,88	4,37	5,33			
Peso de agua	0,55	0,63	0,76			
% de Humedad	14,2	14,4	14,3			



LÍMITE LÍQUIDO L. L.	30
LÍMITE PLÁSTICO L. P.	14
ÍNDICE PLÁSTICO I. P.	16

FECHA: 01/09/2009
 OPERADOR: Sr. Alex Núñez
 SUPERVISOR: María Alejandra Ravines Merino

Anexo N – 3

1,1 L de aditivo en 30 m³ de suelo

LÍMITES LÍQUIDO - PLÁSTICO - ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS

Norma : NTP - 339 - 129 - 1999

Muestra

Identificación: Fracción gruesa con 1.1L de aditivo. Secado 3 días.

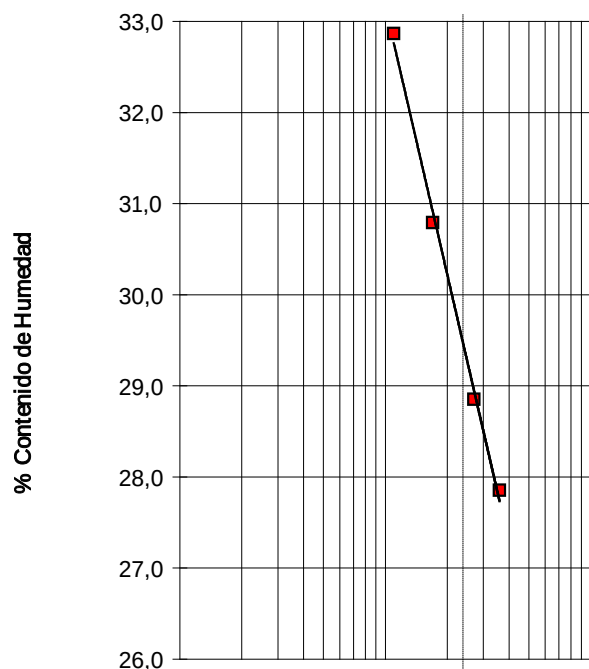
Procedencia: 75% afirmado de cantera La Ramsa y 25% arcilla de cantera parque Kurt Beer.

LÍMITE LÍQUIDO

Peso húmedo	27,77	29,43	27,78	28,42		
Peso seco	21,72	22,84	21,24	21,39		
Peso de agua	6,05	6,59	6,54	7,03		
% de Humedad	27,9	28,9	30,8	32,9		
Nº de golpes	36	27	17	11		

LÍMITE PLÁSTICO

Peso húmedo	6,49	7,52	6,61			
Peso seco	5,72	6,64	5,82			
Peso de agua	0,77	0,88	0,79			
% de Humedad	13,5	13,3	13,6			



LÍMITE LÍQUIDO L. L. 29
 LÍMITE PLÁSTICO L. P. 13
 ÍNDICE PLÁSTICO I. P. 16

FECHA: 01/09/2009
 OPERADOR: Sr. Alex Núñez
 SUPERVISOR: María Alejandra Ravines Merino

Número de golpes

Anexo N – 4

1,5 L de aditivo en 30 m³ de suelo

LÍMITES LÍQUIDO - PLÁSTICO - ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS

Norma : NTP - 339 - 129 - 1999

Muestra

Identificación: Fracción gruesa con 1,5 L de aditivo. Secado 3 días.

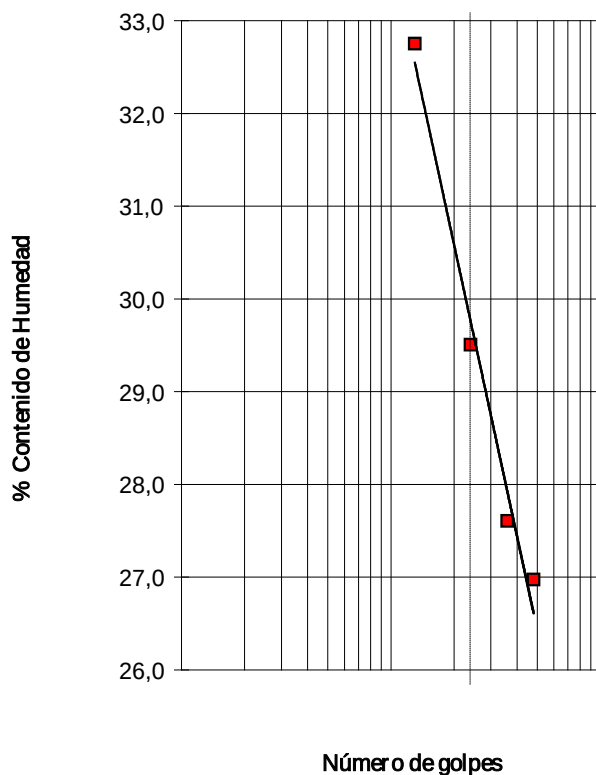
Procedencia: 75% afirmado cantera La Ramsa y 25% arcilla parque Kurt Beer.

LÍMITE LÍQUIDO

Peso húmedo	28,29	26,67	29,32	25,13		
Peso seco	22,28	20,90	22,64	18,93		
Peso de agua	6,01	5,77	6,68	6,20		
% de Humedad	27,0	27,6	29,5	32,8		
Nº de golpes	48	36	24	13		

LÍMITE PLÁSTICO

Peso húmedo	6,69	5,70	8,84			
Peso seco	5,85	5,00	7,78			
Peso de agua	0,84	0,70	1,06			
% de Humedad	14,4	14,0	13,6			



LÍMITE LÍQUIDO L. L.	30
LÍMITE PLÁSTICO L. P.	14
ÍNDICE PLÁSTICO I. P.	16

FECHA: 01/09/2009
 OPERADOR: Sr. Alex Núñez
 SUPERVISOR: María Alejandra Ravines Merino

Fotos

Extracción de arcilla: Cantera Parque Kurt Beer



Adición del aditivo



Tamizado del afirmado y de la arcilla



Mezcla de los suelos: afirmado y arcilla



Pruebas de absorción por capilaridad





Pruebas CBR

