



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



"MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DEL TERRENO DE FUNDACIÓN DE LA TROCHA QUE UNE EL ANEXO SAN JUANITO CON LA VILLA GUADALUPITO, CAPITAL DEL DISTRITO DE GUADALUPITO-PROVINCIA DE VIRÚ-DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD, MEDIANTE EL USO DEL ESTABILIZANTE IÓNICO POLYSES"

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL
DE INGENIERO CIVIL**

TESISTAS :

Bach. ACHATA SANCHEZ JORGE LUIS
Bach. MENDOZA ARAUJO ANTHONY ERIK

ASESOR :

Ing. CIP. JANET SAAVEDRA VERA

NUEVO CHIMBOTE - PERÚ
2014

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil

“MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DEL TERRENO DE FUNDACIÓN DE LA TROCHA QUE UNE EL ANEXO DE SAN JUANITO CON VILLA GUADALUPITO, CAPITAL DEL DISTRITO DE GUADALUPITO - PROVINCIA DE VIRÚ - DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD, MEDIANTE EL USO DEL ESTABILIZANTE IÓNICO POLYSES”

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

BACHILLERES:

ACHATA SANCHEZ JORGE LUIS

MENDOZA ARAUJO ANTHONY ERIK

REVISADO POR:



Ing. Janet Saavedra Vera

ASESOR

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil

“MEJORAMIENTO DE LA PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICAS DEL TERRENO DE FUNDACIÓN DE LA TROCHA QUE UNE EL ANEXO DE SAN JUANITO CON VILLA GUADALUPITO - CAPITAL DEL DISTRITO DE GUADALUPITO - PROVINCIA DE VIRÚ - DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD, MEDIANTE EL USO DEL ESTABILIZANTE IÓNICO POLYSES”

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

BACHILLERES:

**ACHATA SANCHEZ JORGE LUIS
MENDOZA ARAUJO ANTHONY ERIK**

SUSTENTADA Y APROBADA POR EL SIGUIENTE JURADO EL DÍA 03.10.2014


Ing. Julio César Rivasplata Díaz.
Presidente


Ing. Janet Saavedra Vera.
Secretaria


Ing. Edgar Sparrow Alamo.
Integrante



DEDICATORIA

*A Dios, por darme el don de la vida y
permitir que esté aquí presente.*

*A mi madre, Isabel Reyna quien es la
razón de mi vida, siempre ha estado
conmigo en los momentos más difíciles
de mi vida y por formarme con buenos
valores y principios.*

*A mi padre Julián y mis hermanos,
Carlos y cristina por apoyarme y darme
las fuerzas para cumplir mis objetivos.*

*A mis amigos de la universidad por su
apoyo incondicional en los momentos
que siempre necesitaba de ellos.*

ANTHONY.



DEDICATORIA

*Sobre todas las cosas, a Dios quien
me da constantemente la fortaleza
espiritual para seguir superándome.*

*A mis padres Elena y Marino, que hicieron
todo en la vida para que yo pudiera lograr
mis metas, por motivarme y darme la
mano cuando más lo necesitaba.*

*A mis hermanos por estar siempre
presentes, acompañándome para
poderme realizar.*

*A esas personas importantes en mi vida,
que siempre estuvieron listas para
brindarme toda su ayuda, ahora me toca
regresar un poquito de todo lo inmenso
que me han otorgado.*

JORGE.



AGRADECIMIENTO

En primer lugar damos gracias a Dios porque siempre esta iluminando nuestro camino y dándonos las fuerzas necesarias para seguir en busca de nuestros objetivos, este trabajo de investigación se realizó con mucho esfuerzo sacrificando muchas cosas, pero al final muy reconfortante por haber concluido este trabajo de investigación.

A todos mis profesores, de la escuela Académica Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional del Santa, por su valiosa contribución en nuestra formación profesional, por habernos inculcado y brindado conocimientos, valores morales y experiencias.

A nuestra asesora Ing. Janet Saavedra Vera por su gran ayuda en este trabajo de investigación.

Achata Sánchez Jorge – Mendoza Araujo Anthony.



ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	- 1 -
ABSTRACT	- 2 -
INTRODUCCIÓN	- 3 -
CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES	- 4 -
1.1. ASPECTOS INFORMATIVOS:	- 5 -
1.1.1. TÍTULO:	- 5 -
1.1.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN:	- 5 -
1.1.3. UBICACIÓN:	- 5 -
1.2. PLAN DE INVESTIGACIÓN:	- 5 -
1.2.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA:	- 5 -
1.2.2. OBJETIVOS	- 10 -
1.2.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	- 10 -
1.2.4. VARIABLES	- 11 -
1.2.5. JUSTIFICACIÓN	- 11 -
1.2.6. LIMITACIONES	- 11 -
1.2.7. ESTRATEGIA DE TRABAJO	- 11 -
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	- 13 -
2.1. GENERALIDADES	- 14 -
2.1.1. REDES VIALES EN EL PERÚ	- 14 -
2.1.2. UTILIZACIÓN DE CAMINOS DE TIERRA EN EL PERÚ (TROCHAS)	- 15 -
2.2. GENERALIDADES SOBRE SUELOS	- 16 -
2.2.1. DEFINICIÓN DE SUELOS	- 18 -
2.2.2. COMPOSICIÓN DE LOS SUELOS	- 18 -
2.2.3. DEFINICIÓN DE SUELOS PLÁSTICOS	- 19 -
2.2.4. CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS EN BASE A NORMA AASHTO M-145	- 19 -
2.2.5. SISTEMA DE CLASIFICACION DE SUELOS SUCS (ASTM D-2487).	- 26 -



2.3.	CARACTERIZACIÓN DE LOS SUELOS.	- 29 -
2.3.1.	PARÁMETROS DE NATURALEZA.	- 29 -
2.3.2.	PARÁMETROS DE ESTADO.....	- 33 -
2.4.	ESTABILIZACIÓN DE SUELOS.....	- 35 -
2.4.1.	TIPOS DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS.....	- 37 -
2.5.	FUNDAMENTOS PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS PARA CARRETERAS	- 47 -
2.5.1.	Estabilidad Volumétrica	- 47 -
2.5.2.	Resistencia.....	- 48 -
2.5.3.	Permeabilidad	- 49 -
2.5.4.	Compresibilidad	- 50 -
2.5.5.	Durabilidad	- 51 -
2.6.	ESTABILIZACIÓN DE SUELOS PLÁSTICOS OCUPADOS EN CAMINOS DE BAJA INTENSIDAD VEHÍCULAR.	- 51 -
2.7.	ESTABILIZACIÓN DE SUELOS MEDIANTE EL ESTABILIZANTE IÓNICO POLYSES	- 52 -
2.7.1.	ESTABILIZANTE DE SUELOS POLYSES.....	- 53 -
2.8.	ANÁLISIS DE LOS MATERIALES A UTILIZAR EN UNA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON EL ESTABILIZANTE IÓNICO POLYSES.....	- 62 -
2.9.	PROPIEDADES DE LA MEZCLA SUELO-POLYSES.....	- 63 -
2.9.1.	Granulometría.	- 63 -
2.9.2.	Plasticidad.	- 64 -
2.10.	DISEÑO DEL TRATAMIENTO.	- 64 -
2.11.	ANÁLISIS PREVIO DE LOS SUELOS.	- 64 -
2.12.	ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LOS SUELOS.....	- 65 -
2.13.	ENSAYOS DE LABORATORIO REALIZADOS AL MATERIAL DE BASE UTILIZADO EN ESTABILIZACION DE SUELOS.....	- 67 -
2.13.1.	Análisis Granulométrico Mecánico MTC E 107 -2000.....	- 67 -
2.13.2.	Límites de Consistencia de Atterberg	- 70 -
2.13.4.	Ensayo de California Bearing Ratio (CBR) MTC E 132-2000	- 79 -



CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS	- 84 -
3.1. DESCRIPCIÓN DE TRAMO DE PRUEBA.....	- 85 -
3.2. CARACTERÍSTICAS DEL SITIO DONDE SE EXTRAE EL SUELO ANALIZADO	- 86 -
3.3. MATERIALES Y MÉTODOS UTILIZADOS EN LOS ENSAYOS DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS	- 86 -
3.3.1. Muestreros de Suelos	- 87 -
3.3.2. Reducción de Muestras de Suelos a Tamaños de Ensayos	- 87 -
3.3.3. Análisis Granulométrico Mecánico	- 88 -
3.3.4. Límites de Consistencia de Atterberg	- 89 -
3.3.5. Ensayos de compactación o Proctor Modificado.....	- 91 -
3.3.6. Ensayo de California Bering Ratio (CBR)	- 94 -
3.4. MUESTRA CON EL ESTABILIZANTE IÓNICO POLYSES.....	- 98 -
3.4.1. Análisis Granulométrico Mecánico	- 99 -
3.4.2. Límites de Consistencia de Atterberg	- 100 -
3.4.3. Ensayos de Compactación o Proctor Modificado.	- 102 -
3.4.4. Ensayo de California Bering Ratio (CBR)	- 105 -
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	- 110 -
4.1. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS REALIZADOS.....	- 111 -
4.2. RESULTADO DE LOS ENSAYOS REALIZADOS EN LAS MUESTRAS DE LA TROCHA QUE UNE EL ANEXO SAN JUANITO CON LA VILLA GUADALUPITO.....	- 111 -
4.3. CUADROS Y GRÁFICOS COMPARATIVOS DE LOS ENSAYOS REALIZADOS EN LAS MUESTRAS DE LA TROCHA QUE UNE EL ANEXO SAN JUANITO CON LA VILLA GUADALUPITO.....	- 116 -
4.4. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS:.....	- 124 -
4.4.1. Resultado de ensayos mecánicos.....	- 124 -
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	- 142 -
5.1. CONCLUSIONES	- 144 -
5.2. RECOMENDACIONES:.....	- 146 -



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFIAS	- 147 -
ANEXOS	- 149 -
ANEXO N°01: ENSAYOS DE MECÁNICA DE SUELOS	- 150 -
ANEXO N°02: PANEL FOTOGRÁFICO	- 215 -
ANEXO N°03: PLANOS.....	- 226 -



RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como finalidad, el estudio y análisis mediante ensayos de laboratorio de Mecánica de Suelos (Proctor modificado, CBR), permitiéndonos evaluar el uso del estabilizante iónico polyses en la trocha que une el anexo San Juanito con la Villa Guadalupito, capital del distrito de Guadalupito –Provincia de Virú –Departamento de la Libertad, se logrará estabilizar y mejorar las propiedades físicos-mecánicas de la trocha en estudio. Los ensayos de laboratorio de mecánica de suelos de Proctor Modificado, CBR e impermeabilización las cuales se ensayaran en diferentes puntos de tramo tanto en estado natural como modificado por el aditivo (Estabilizante iónico polyses), dichos ensayos nos permitirán confirmar la efectividad de este sistema empleado en dicho tramo.



ABSTRACT

The present research aims, the study and analysis by laboratory tests of soil mechanics (modified Proctor, CBR), allowing us to evaluate the use of nonionic stabilizer polyses on the trail that connects the annex to the Villa San Juanito Guadalupito, district capital of Guadalupito-Viru County, Department of Liberty, will be achieved stabilize and improve the physical and mechanical properties of the trail study. Laboratory tests of soil mechanics Modified Proctor, CBR and waterproofing which rehearse at different points span both natural state as modified by the additive (stabilizer ion polyses), these tests allow us to confirm the effectiveness of this system used in this section.



INTRODUCCIÓN

Cuando en el ámbito de la construcción de caminos se encuentran suelos plásticos (arcillas), lo primero que se piensa es la manera de cómo solventar este problema y a menudo se soluciona con el desalojo de todo el material plástico generando así un mayor costo, actualmente, demanda de inversiones por parte de las entidades encargadas, por lo cual; el uso del material propio existente en la zona sería una solución para disminuir costos de construcción con los parámetros exigidos por las normas del MTC.

Y por ello, un buen tratamiento de los suelos plásticos mediante una estabilización, permitirá utilizar los suelos del lugar donde se realizará una obra, bajando costos de préstamo y acarreo de material.

Con el diseño y técnica de construcción apropiado, el tratamiento con cal transforma químicamente los suelos plásticos en materiales utilizables como estructura de pavimento, mejorando características y propiedades del suelo entre estas la resistencia a la compresión y capacidad portante, en carreteras rurales por ser un factor que contribuye el desarrollo de la sociedad, demanda el mejoramiento de las carreteras trocha, con materiales apropiados que cuenten con los requerimientos mínimos exigidos por el Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC).

La presente tesis está orientada a estabilizar las carreteras trochas para así mejorar las propiedades físico-mecánicas del terreno de fundación, utilizando el estabilizante iónico polyses.



CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES



CAPÍTULO I

ASPECTOS GENERALES

1.1. ASPECTOS INFORMATIVOS:

1.1.1. TÍTULO:

"Mejoramiento de las propiedades físico-mecánicas del terreno de fundación de la trocha que une el Anexo San Juanito con la Villa Guadalupe, capital del distrito de Guadalupe - Provincia de Virú - Departamento de La Libertad, mediante el uso del estabilizante iónico Polyses."

1.1.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN:

Cuantitativo.

1.1.3. UBICACIÓN:

Departamento : La Libertad.
Provincia : Virú.
Distrito : Guadalupe.

1.2. PLAN DE INVESTIGACIÓN:

1.2.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA:

1.2.1.1. Antecedentes y Fundamentación del Problema

Las condiciones que ofrece la movilización de bienes y personas sobre



las vías, constituyen uno de los principales aspectos relacionados con la productividad de una ciudad, de una región y de la misma nación, teniendo como consecuencia las ventajas comparativas que se pueden adquirir frente a otras. Así mismo, el estado de las vías es un parámetro importante relacionado con la calidad de vida de los ciudadanos.

Las carreteras vecinales en nuestro país, juegan un papel importante dentro de la red vial nacional debido a que representan un alto porcentaje, y en su gran mayoría se encuentran desatendidas por diversas circunstancias y solo son tenidas en cuenta cuando en un evento se colapsa una troncal o vía principal.

A. Antecedentes Locales

En el departamento de la libertad y en el entorno local, se cuenta con limitada información acerca de la estabilización de suelos en carreteras vecinales.

B. Antecedentes Nacionales

En el ámbito nacional el uso de estabilizantes de suelos para mejorar las propiedades físico –mecánicas del suelo en carreteras vecinales es limitado, teniéndose lo siguiente; uso del estabilizante Polyses:

- Carretera Pampas – Imperial (Huancavelica).
- Base aérea de talara, estacionamiento del comando.



- Carretera Huariaca – Jarusyacán (Pasco).
- Carretera Taraco – Huancané (Puno).
- Prueba realizada en el proyecto olmos Corral Quemado SINMAC – MTC.
- Trocha carrozable la victoria – Rumicucho (Cajamarca).

C. Antecedentes Internacionales

A nivel internacional el uso de estabilizantes de suelos para mejorar las propiedades físico –mecánicas del suelo en carreteras vecinales esta difundido, teniéndose como ejemplo lo siguiente. En Sudamérica se tienen los siguientes países:

- **Chile:** Uso de cloruro de magnesio, polímeros, enzimas.
- **Colombia:** Uso de cal, cemento, enzimas.
- **Brasil:** Uso de cal, cenizas, cemento, enzimas, polímeros.
- **Argentina:** Uso de cal, cemento, cenizas, polímeros.

D. FUNDAMENTACION DEL PROBLEMA

El uso del afirmado como material de construcción en la mejora de las propiedades físico –mecánicas del suelo en una carretera se remonta a los años 1930 en los Estados Unidos de Norte América ,por efecto de la crisis mundial ,vieron disminuidos notablemente sus recursos para la construcción de carreteras; esto conllevó en consecuencia a una política de cuidadosa reserva en los gastos tanto de construcción como



de conservación de carreteras ,descartándose de los planes viales ,los pavimentos de tipo superior (hormigón ,concreto asfáltico,etc.) estudiándose a fondo el problema de la onerosa conservación de las carreteras afirmadas y como resultado de esas observaciones ,se llegó a la conclusión que algunas secciones ,conservaban su estabilidad bajo la acción del tránsito sin desgranarse en épocas de sequía, ni ablandarse ni ahuellarse por la acción combinada del tránsito y la humedad.

En la actualidad en el mundo el uso del afirmado para mejorar las propiedades físico – mecánicas del suelo en una carretera no pavimentada está en retroceso debido a múltiples factores como: el agotamiento de las canteras existentes, emisión de polvo que genera polución ambiental afectando directamente a la salud de los habitantes. Motivo por el cual conviene revisar otros procedimientos con la utilización de estabilizantes del suelo. Cal, cemento, cloruro de magnesio, polímeros.

En el Perú el uso de aditivos estabilizantes de suelo para mejorar las propiedades físico –mecánicas del suelo en carreteras vecinales es limitado frente al uso del afirmado a pesar de que la Red Vial en nuestro país tiene una longitud de 140,672.36 km de los cuales 121,973.805 km (86.71%) son carreteras no pavimentadas, entre las que consideramos Red Nacional, departamental y vecinal, los que habitualmente se mantienen bajo un régimen anual de perfilados,



bacheos y compactado considerando que actualmente en el mercado existen una gama de productos estabilizadores de suelos de distinta naturaleza tales como el cemento ,cal, enzimas, ligninas, sales, polímeros etc., que en otros países han dado buenos resultados correctamente aplicados ,estos productos ofrecen una mejor superficie de rodadura ,disminución de los costos de operación ,menores gastos de mantenimiento y mejora de las propiedades mecánicas de los suelos estabilizados .

En el caso de la trocha que une el anexo San Juanito con la villa Guadalupe, distrito de Guadalupe -Virú-La libertad, el mejoramiento del suelo es uno de los trabajos que se dificulta ya sea el costo del transporte del material de préstamo o el acceso a la zona de trabajo, por lo que se busca utilizar el mismo material existente en la zona y estos no cumplen las condiciones necesarias de estabilidad y permeabilidad, entonces nos lleva a plantear el siguiente problema:

¿ES FACTIBLE LA UTILIZACIÓN DEL ESTABILIZANTE IONICO POLYSES COMO AGENTE ESTABILIZADOR EN EL MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICO-MECÁNICAS DEL TERRENO DE FUNDACIÓN DE LA TROCHA QUE UNE EL ANEXO SAN JUANITO CON LA VILLA GUADALUPITO?



1.2.2. OBJETIVOS

1.2.2.1. Objetivo general

- Mejorar las propiedades físico-mecánicas de la trocha que une el anexo San Juanito con la villa guadalupito, mediante la aplicación del estabilizante iónico Polyses en proporción de: 1 LT por 1M3.

1.2.2.2. Objetivos Específicos

- Estudiar y evaluar la disminución del índice de plasticidad del suelo estabilizado en la trocha que une el anexo San Juanito con la villa Guadalupito.
- Estudiar y evaluar el aumento de la densidad seca máxima del suelo estabilizado en la trocha que el anexo San Juanito con la Villa Guadalupito.
- Estudiar y evaluar el aumento de la capacidad de soporte (CBR) del suelo estabilizado en la trocha que une el anexo San Juanito con la Villa Guadalupito.

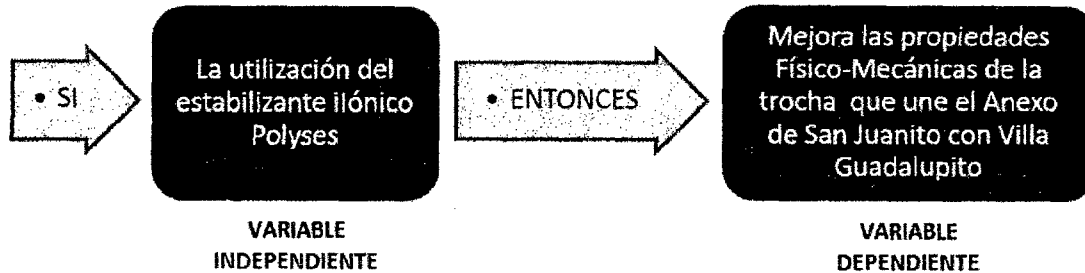
1.2.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

"Si se emplea el estabilizante iónico Polyses en la trocha que une el anexo San Juanito con Villa Guadalupito, entonces se mejorarán las propiedades físico-mecánicas del terreno de fundación de la trocha que une el Anexo San Juanito con Villa Guadalupito."



1.2.4. VARIABLES

Se trata de explicar los EFECTOS que se producen al manipular las CAUSAS.



1.2.5. JUSTIFICACIÓN

Se justifica por que las pruebas e investigaciones que se realizarán sobre los ESTABILIZANTES DE SUELO, nos permitirá proponer una alternativa en lugar del afirmado para el mejoramiento de las propiedades físico –Mecánicas del suelo, en las carreteras vecinales del Perú y del departamento de la Libertad en especial.

1.2.6. LIMITACIONES

El trabajo de investigación se realizará a nivel de laboratorio, no se cuenta con la tecnología necesaria, para realizar un tramo de prueba in situ.

1.2.7. ESTRATEGIA DE TRABAJO

1.2.7.1. Método de estudio

- **Métodos Cualitativos:**

Los métodos cualitativos son diseñados para evaluar de manera rápida y sencilla los distintos tipos de suelos encontrados en estos tramos y



seleccionar aquellas que ameriten un análisis más detallado.

Se usan para clasificar el tipo de suelo mediante ensayos de clasificación de suelos, y así poder seleccionar los tipos de suelos más adecuados a evaluar.

- **Métodos Cuantitativos:**

Los métodos cuantitativos sirven para profundizar en los resultados obtenidos de los métodos cualitativos, cuando estos últimos no entreguen resultados determinantes sobre las propiedades de los distintos tipos de suelos encontrados.

- **Métodos Experimentales:**

Son métodos que determinan las propiedades mecánicas de los suelos, realizando ensayos de laboratorio como pueden ser los límites de plasticidad, CBR, Análisis granulométrico, clasificación de los suelos por los sistemas SUCS Y AASHTO, etc.



CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO



CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. GENERALIDADES

2.1.1. REDES VIALES EN EL PERÚ

El Perú posee un sistema de carreteras y caminos que cubren casi todo el país.

Las vías terrestres ocupan un lugar primordial en la comunicación de regiones, poblados, etc.

Generando de esta manera mayor conectividad y desarrollo a nivel nacional.

La totalidad de la red vial con la que cuenta el país actualmente está expresada en el siguiente cuadro:

RED VIAL	Pavimentado	%	No Pavimentado	%	Total General	%	%
RED NACIONAL	14747.735	59.97	9845.665	40.03	24593.40	17.48	100.00
RED DEPARTAMENTAL	2339.72	9.65	21895.41	90.35	24235.13	17.23	100.00
RED VECINAL	1611.1	1.75	90232.73	98.25	91843.83	65.29	100.00
TOTAL	18698.555	13.29	121973.805	86.71	140672.36	100.00	100.00

Fuente: Proviasnac

Como se puede apreciar solo 24,593.40 km de carreteras, organizadas en tres grandes grupos: las carreteras longitudinales, las carreteras de penetración y las carreteras de enlace proyectadas hasta el 2016, son las mismas que pueden ser objeto de mantenimiento cuya responsabilidad es compartida casi



en la misma proporción entre el gobierno central y las municipalidades.

Y hay aproximadamente 116,078.96 km de carreteras que están en tales condiciones de precariedad que necesitan una inversión fuerte para su recuperación.

La importancia de minimizar el número de caminos no pavimentados, es grande en nuestro país; y esto revela la necesidad de generar planes de gestión vial enfocados en los siguientes aspectos:

- Continuar la expansión de inversiones en caminos rurales.
- Usar algunas estrategias de mantenimiento de caminos no pavimentados de fácil utilización.

2.1.2. UTILIZACIÓN DE CAMINOS DE TIERRA EN EL PERÚ (TROCHAS)

A manera de ejemplo se puede decir que las carreteras rurales en la actualidad son utilizadas por vehículos de doble tracción, bicicletas, etc. Alcanzando velocidades muy bajas debido al alto grado de deterioro que presentan, sin mencionar la dificultad de transitar por ellas en la época lluviosa.

En el Perú los caminos de tierra representan un buen porcentaje del total de la red vial existente, de los cuales la mayoría pertenecen a comunidades rurales, generando así la necesidad de buscar alternativas que mejoren las condiciones actuales para el beneficio de población.



La utilización principal de estos caminos de baja intensidad vehicular, está en función del sector agrícola del país, para tener una mejor conectividad con las ciudades urbanas donde es comercializado el producto. Localidades aledañas como San Juan de Vinzos, Cascajal, Villa Guadalupe entre otros, donde los caminos de tierra son utilizados para transportar granos, vegetales y diversos productos agrícolas, lo que los hace utilizables por un intervalo de poco tiempo a lo largo del año; y es debido a este poco uso, que no se brinda el tratamiento adecuado a estos.

2.2. GENERALIDADES SOBRE SUELOS

Dependiendo del origen de sus elementos, los suelos se dividen en dos grandes grupos, que son los siguientes: Suelos Residual, cuando los productos de la descomposición de las rocas permanecen en el mismo lugar de origen aun afectadas por su degradación y Suelos Transportados, cuando los productos de la descomposición de las rocas son transportados hacia otro lugar generalmente lejos del origen.

A continuación se describen los suelos más comunes, con el nombre generalmente utilizados para su clasificación en el terreno:

- ✓ **Las Arenas y las Gravas:** Son suelos de fragmentos granulares, redondos o angulosos, poco o nada alterados de rocas minerales. Estos suelos no poseen cohesión entre sus fragmentos.



- ✓ **Los limos:** Son suelos de grano fino (material que pasa malla No 200), pero con plasticidad menor a la que presenta una arcilla, los cuales generalmente cuentan con materia orgánica finamente dividida. Algunas veces contienen fragmentos visibles de materia vegetal parcialmente descompuesta o de otros elementos orgánicos.

- ✓ **Las Arcillas:** Son suelos formados de partículas derivadas de la descomposición química y mineralógica que sufren los constituyentes de las rocas, generalmente por intemperismo. Son suelos plásticos cuando están húmedos y cuando están secos son muy duros, tienen además permeabilidad extremadamente baja.

El término arcilla se usa habitualmente con diferentes significados:

- Desde el punto de vista petrológico la arcilla es una roca sedimentaria, en la mayor parte de los casos de origen detrítico, con características bien definidas. Arcilla en términos granulométrico, abarca los sedimentos con un tamaño de grano inferior a 0.075mm.

- Desde el punto de vista de la ingeniería una arcilla es un material natural que cuando se mezcla con agua en la cantidad adecuada se convierte en una pasta plástica.

Para identificar un suelo se utiliza el nombre del material predominante como sustantivo y el de menor proporción como adjetivo calificativo. Por ejemplo Arena



Limosa, indica un suelo en el cual predomina la arena y contiene cierta cantidad de limo (según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos SUCS).

2.2.1. DEFINICIÓN DE SUELOS

Desde el punto de vista de la ingeniería, suelo es el sustrato físico sobre el que se realizan las obras, del que importan las propiedades fisicoquímicas, especialmente las propiedades mecánicas. Además se diferencia del término roca al considerarse específicamente bajo este término un sustrato formado por elementos que pueden ser separados sin un aporte significativamente alto de energía.

Se considera el suelo como un sistema multifase formado por:

- Fase sólida, que constituyen el esqueleto de la estructura del suelo.
- Fase líquida (generalmente agua).
- Fase gaseosa (generalmente aire) que ocupan los intersticios entre los sólidos.

2.2.2. COMPOSICIÓN DE LOS SUELOS

Un suelo está constituido por tres partes, una parte sólida, otra líquida y otra gaseosa. La parte sólida está formada en su mayoría por minerales del suelo, la parte líquida está compuesta por el agua, aunque en el suelo puedan existir otros líquidos de menor significación, la parte gaseosa la comprende principalmente el aire, pero también pueden estar presentes otros gases (vapores sulfuros, anhídrido carbónico, etc.).



La siguiente figura representa un esquema de una muestra de suelo, con sus partes principales:

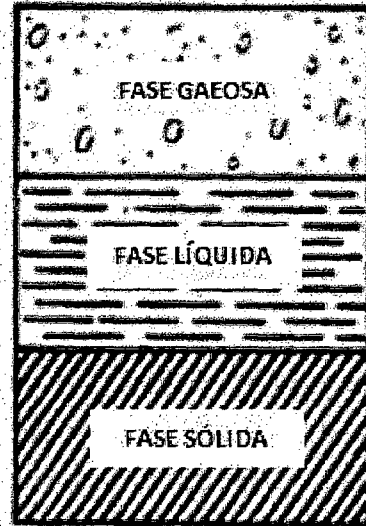


Figura 2.1. Composición de los suelos

(Fuente: Fundamentos de la Mecánica de Suelos, Juárez Badillo)

2.2.3. DEFINICIÓN DE SUELOS PLÁSTICOS

Existen suelos que al cambiar su contenido de agua, adoptan una consistencia característica, que desde épocas antiguas se ha denominado plasticidad. Estos suelos han sido llamados arcillas. La plasticidad es, en este sentido, una propiedad tan evidente que ha servido para clasificar suelos en forma puramente descriptiva.

2.2.4. CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS EN BASE A NORMA AASHTO M-145

Se efectuara bajo el sistema AASHTO M-145 que ha sido concebido para estudios de caminos.



De acuerdo con el tamaño de las partículas que forman los suelos, la norma AASHTO M-145, los clasifica de la siguiente manera:

- **Grava:** de un tamaño menor a 76.2mm (3") hasta el tamiz No 10 (2mm).
- **Arena Gruesa:** de un tamaño menor a 2mm hasta el tamiz No 40 (0.425mm).
- **Arena Fina:** de un tamaño menor a 0.425mm hasta el tamiz No 200 (0.075mm).
- **Limos y Arcillas:** tamaños menores de 0.075mm

La norma AASHTO M-145, clasifica los suelos basándose en sus propiedades mecánicas principalmente, los divide en siete grupos diferentes, designados desde el A-1 hasta A-7, como a continuación se presenta en la siguiente tabla:



TABLA N° 2.1: CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS SEGÚN AASHTO M-145

CLASIFICACIÓN GENERAL	SUELOS GRANULARES 35% MÁXIMO QUE PASA POR LA MALLA No. 200 (0.075 mm)							SUELOS FINOS MÁS DEL 35% PASA POR LA MALLA No. 200 (0.075 mm)			
	A-1	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
% Que pasa por el tamiz de:											
Malla No. 10 (2 mm)	50 máx.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Malla No. 40 (0.0425 mm)	30 máx.	50 máx.	51 mín.	-	-	-	-	-	-	-	-
Malla No. 200 (0.075 mm)	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Características de fracción que pasa por el Tamiz No. 40 (0.0425 mm):											
Límite Líquido	-	-	-	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de Plasticidad	6 máx.		NP	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Índice de Grupo	0		0	0		4		8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.
Tipo de Material	Piedras, gravas y arena		Arena Fina	Gravas y Arenas, Limosas o Arcillosas				Suelos Limosos		Suelos Arcillosos	
Terreno de Fundación	Excelente a bueno							De pobre a malo			

* El índice de plasticidad del subgrupo A-7-5, es igual, o menor, a LI - 30

El índice de plasticidad del subgrupo A-7-6, es mayor que LI - 30



El suelo A-1, es un suelo de propiedades óptimas para ser usado en las capas que conforman la estructura de un pavimento y en su orden ascendente de numeración, su comportamiento va decreciendo hasta llegar al suelo A-7, cuya aplicación en carreteras no es recomendable. Descripción de los grupos y sub grupos contemplados en la norma AASHTO M-145:

- **Materiales Granulares:**

A-1 Son suelos bien graduados de tamaños gruesos y finos, con un débil aglomerante plástico.

A-1-a En estos se incluyen materiales predominantes de fracción de rocas o grava, con o sin aglomerante.

A-1-b El material predominante es arena gruesa, con o sin un buen aglomerante. Algunos suelos del grupo A-1 carecen de finos, de manera que deberá agregar cierta cantidad de finos para formar una sub base de buena calidad.

A-2 Estos se componen por una amplia porción de materiales granulares que no pueden clasificarse en el grupo A-1 por su contenido de finos y plasticidad. Contienen materiales granulares con cantidades considerables de arcillas, los suelos del grupo A-2 son inferiores a los del grupo A-1 debido a su menor graduación y menos aglomerantes. En periodo seco los suelos A-2 son muy estables como superficie de rodamiento, pero esto depende de la clase de aglomerante, sin



embargo en periodos húmedos se pueden ablandar y en periodos secos se pueden disgregar y formar polvaredas.

A-2-4 y A-2-5 incluyen diversos materiales granulares que contienen un 35 por ciento máximo de material que pasa el tamiz 0.075mm (No 200).

A-2-6 y A-2-7 Incluyen materiales similares a los descritos en los subgrupos A-2-4 y A-2-5, excepto que la porción fina suelo cuenta con arcilla plástica de características similares a los grupos A-6 o A-7.

A-3 Estos suelos están compuestos de arenas deficientes en aglomerantes, como la arena de las playas. Se encuentran a menudo y son muy inestables excepto cuando están húmedos. Cuando se encuentran confinados son apropiados como bases para cualquier tipo de pavimentos.

- **Materiales Limo- Arcillosos.**

A-4 Son suelos muy comunes, predominan los limos con ligeros porcentajes de material grueso y pequeñas cantidades de arcilla.

A-5 Estos suelos se encuentran en muy pocas ocasiones, son muy parecidos a los del grupo A-4, excepto porque contienen mica y diatomas que los vuelven muy elásticos e inestables aun en estado seco, lo que los hace tenaces a la compactación.

A-6 El típico material de este grupo es un suelo arcilloso plástico, que tienen el 35 por ciento o más de material que pasa el tamiz de 0.075mm (No 200). Los materiales de este grupo suelen tener gran



cambio volumétrico, cuando se tiene presencia de humedades altas en el suelo, debido a la presencia de arcillas.

A-7 Estos suelos están compuestos principalmente de arcilla como son los del grupo A-6, pero se diferencia de estos por la presencia de partículas uniformes de limo, materia orgánica y mica, lo que los hace muy elásticos.

A-7-5 Estos suelos del grupo A-7 tienen índices de plasticidad moderados en relación con límites líquidos, y pueden ser elásticos y expansivos.

A-7-6 Son suelos expansivos con altos índices de plasticidad en relación a los límites líquidos.

La clasificación de un suelo en un determinado grupo se basa en su plasticidad y porcentaje de material fino que pasa el tamiz N° 200. Cada grupo se identifica con un determinado número, encerrado entre paréntesis, llamado índice de Grupo; el cual se determina mediante la siguiente fórmula:

$$IG = 0.2(a) + 0.005(a)(c) + 0.01(b)(d)$$

Donde:

a : Porcentaje que pasa el tamiz N°200, comprendido entre 35% como mínimo y 75% como máximo. Se representará únicamente en número entero y varía de 0 a 40, por lo tanto todo porcentaje igual o menor a 35 será igual a 0 y todo porcentaje igual o superior a 75 igual a 40.



- b :** Porcentaje que pasa el tamiz N°200, comprendido entre 15 como mínimo y 55 como máximo. Se representará en número entero y variará de 0 a 40.
- c :** Parte del límite líquido comprendido entre 40 como mínimo y 60 como máximo. Esta parte se representará solo en número entero y variará de 0 a 20.
- d :** Parte del Índice de Plasticidad, comprendido entre 10 como mínimo y 30 como máximo. Esta parte se representará sólo en número entero y variará de 0 a 20.

TABLA N° 2.1.1. Clasificación del suelo

CLASIFICACIÓN	ÍNDICE DE GRUPO
Excelente	0 ~ 1
Bueno	1 ~ 2
Regular	2 ~ 4
Malo	5 ~ 9
Muy Malo	Mayor de 9

Fuente: Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción de carreteras EG -2000



2.2.5. SISTEMA DE CLASIFICACION DE SUELOS SUCS (ASTM D-2487).

Este sistema de clasificación de suelos al igual que la clasificación AASHTO M-145 describe los suelos para propósitos ingenieriles en base a la determinación en laboratorio del tamaño de partículas, generando así dos grandes grupos de suelos que a continuación se presenta:

- ✓ **Suelo de grano fino**, si el 50% o más del peso seco de la muestra pasa por el tamiz No 200 (75 - μ m).
- ✓ **Suelo de grano grueso**, si más del 50% del peso seco de la muestra se retiene en el tamiz N o 200 (75 μ m).

Aparte del tamaño de las partículas otro parámetro que sirve para generar la clasificación SUCS en un suelo de grano fino es el límite líquido que presente el suelo analizado.

A continuación se describe el significado de los grupos y siglas de la representación SUCS:



TABLA N° 2.2: CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS SEGÚN ASTM D 2487

PROCEDIMIENTOS PARA LA IDENTIFICACIÓN DE CAMPO (SE EXCLUYEN LAS PARTÍCULAS MAYORES DE 3"), LAS FRACCIONES DEL MATERIAL SE LAS REFIERE A LOS:		GRUPOS SÍMBOLOS	NOMBRE TÍPICO	INFORMACIÓN REQUERIDA PARA LA IDENTIFICACIÓN DE SUELOS				
SUELOS GRANULARES (MÁS DEL 50 % QUEDA RETENIDO EN EL TAMIZ N° 200)	ARENAS (Más de la mitad de la fracción del material queda retenida en el Tamiz N° 4)	Para una clasificación visual, el Tamiz de 1/4" puede usarse como equivalente al tamiz N° 4	Gravas limpias con poco o ningún material fino	Gravas con varios tamaños de partículas y cantidades apreciables de partículas de tamaño intermedio	GW	Gravas bien graduadas; mezclas de grava y arena, con poco o nada de material fino	Indique el nombre típico; índice aproximadamente los porcentajes de arena y grava, tamaño máximo y angularidad de las partículas, condición superficial y dureza de las partículas gruesas; nombre local o nombre geológico y otras informaciones descriptivas	
				Gravas con partículas de un solo tamaño o con varios tamaños, pero con ausencia de tamaños intermedios	GP	Gravas bien graduadas; mezclas de grava y arena, con poco o nada de material fino		
			Gravas con material fino en proporción apreciable	Gravas con material fino no plástico	GM	Gravas limosas; mezclas mal graduadas de grava, arena y limos		Para suelos inalterados añadir información sobre estratificación, grado de compactación, cementación, condición de humedad y características de drenaje
				Gravas con material fino plástico	GC	Gravas arcillosas; mezclas mal graduadas de grava, arena y arcilla		
			Arenas limpias con poco o ningún material fino	Arenas con varios tamaños de partículas y apreciables cantidades de partículas de tamaños intermedios	SW	Arenas bien graduadas; arenas gravosas con poco o nada de material fino		Ejemplo: arena limosa, con grava, cerca del 20 % de partículas duras y angulares de grava de 1/2" de tamaño máximo
				Arenas con partículas de un solo tamaño, pero con ausencia de tamaños intermedios	SP	Arenas mal graduadas, arenas gravosas con poco o nada de material fino		
	Arenas con material fino en proporción apreciable	Arenas con material fino no plástico	SM	Arenas limosas; mezclas mal graduadas de arena y limo				
		Arenas con material fino plástico	SC	Arenas arcillosas; mezclas mal graduadas de arena y arcilla				



PROCEDIMIENTOS PARA LA IDENTIFICACIÓN DE CAMPO (SE EXCLUYEN LAS PARTÍCULAS MAYORES DE 3", LAS FRACCIONES DEL MATERIAL SE LAS REFIERE A LOS:				GRUPOS SÍMBOLOS	NOMBRE TÍPICO	INFORMACIÓN REQUERIDA PARA LA IDENTIFICACIÓN DE SUELOS	
SUELOS DE GRANULOMETRÍA FINA (MÁS DEL 50 % PASA EL TAMIZ N° 200)	Procedimientos de Identificación para la Fracción que pasa el Tamiz N° 4						
	GRAVAS (Más de la mitad de la fracción del material queda retenida en el Tamiz N° 4)	Resistencia del Material (Características a la trituración)	Dilatación (Reacción al sacudimiento)	Dureza (Consistencia cerca al límite plástico)			
		Nula a Pequeña	Rápida a Lenta	Nula	MI	Limos inorgánicos y arenas muy finas, polvo de roca; arenas muy finas limosas o arcillosas, con baja plasticidad	Indique el nombre típico, indique las características plásticas, cantidad, tamaño, Color en estado húmedo, olor, nombre local o nombre Geológico, otras informaciones descriptivas pertinentes y el símbolo del suelo entre paréntesis
		Mediana a Grande	Ninguna a muy Lenta	Mediana	CL	Arcillas inorgánicas de baja a mediana plasticidad; arcillas gravosas, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas poco plásticas	
	Pequeña a Mediana	Lenta a Ninguna	Baja	OL	Limos inorgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad		
	ARENAS (Más de la mitad de la fracción del material pasa en el tamiz N° 4)	Pequeña a Mediana	Ninguna	Baja a Mediana	MH	Limos inorgánicos; suelos limosos y arenas finas, micáceos y diatómicos, limos elásticos	Para suelos inalterados añadir información sobre estratificación, consistencia en los estados "inalterados" y "remoldeado", condiciones de humedad y drenaje
		Grande a muy Grande	Ninguna a muy Lenta	Alta	CH	Arcilla inorgánica muy plásticas	Ejemplo: Limo Arcilloso color marrón, ligeramente plástico; pequeño porcentaje de arena fina numerosas cavidades verticales dejadas por las raíces
		Mediana a muy Grande		Baja a Mediana	OH	Arcilla inorgánica de media a elevada plasticidad	



2.3. CARACTERIZACIÓN DE LOS SUELOS.

La caracterización de los suelos se lleva a cabo por medio de dos tipos de parámetros conocidos como parámetros de naturaleza y parámetros de estado. A continuación se describe cada uno de ellos:

2.3.1. PARÁMETROS DE NATURALEZA.

Se caracterizan porque no varían ni con el tiempo ni a lo largo de las manipulaciones que puedan realizarse a los suelos durante los trabajos, los más importantes son:

2.3.1.1. Variación volumétrica.

Muchos suelos se expanden y se contraen debido a los cambios en su contenido de humedad. Las presiones de expansión se desarrollan debido a incrementos en la humedad, los cuales deben de ser controlados, ya que estas presiones pueden levantar pavimentos, inclinar postes, fracturar muros, romper tubos de drenaje, etc.; por lo cual, es de suma importancia detectar los suelos expansivos, su composición y el tratamiento más adecuado a seguir para evitar dichos problemas.

2.3.1.2. Permeabilidad.

Se consideran importantes las presiones de poro y los relacionados con el flujo de agua a través del suelo; ya que estos dos fenómenos provocan su debilidad en su resistencia o su estabilidad.



2.3.1.3. Granulometría.

Son los tamaños de los granos que participan (como porcentaje de peso total) de la composición del suelo que representan. Las propiedades físicas y mecánicas de los suelos son función directa de su granulometría y su determinación es fundamental para establecer su comportamiento mecánico, principalmente cuando se someten a cargas directamente.

2.3.1.4. Plasticidad.

La plasticidad es la propiedad que tiene el suelo para cambiar de forma (dentro de un rango de humedad dado) y mantener sin perder volumen ni romperse cuando se someten a fuerzas de compresión.

2.3.1.5. Límites de A. Atterberg.

Los límites de Atterberg o límites de consistencia se utilizan para caracterizar el comportamiento de los suelos finos. El nombre de estos es debido al científico sueco Albert Mauritz Atterberg. (1846-1916).

Los límites se basan en el concepto de que en un suelo de grano fino solo pueden existir 4 estados de consistencia según su humedad. Así, un suelo se encuentra en estado sólido, cuando está seco. Al agregársele agua poco a poco va pasando sucesivamente a los estados de semisólido, plástico, y finalmente líquido. Los contenidos de humedad en los puntos de transición de un estado al otro son los denominados límites de Atterberg.

Las propiedades de un suelo formado por partículas finamente divididas, como una arcilla no estructurada, depende en gran parte de la



humedad. El agua forma una película alrededor de los granos y su espesor puede ser determinante para el comportamiento del material.

Para interpretar mejor estos límites se tomara de ejemplo una masa de arcilla. Cuando esta tiene mucha cantidad de agua podríamos decir: se encuentra en estado líquido pues la arcilla se escurre con la facilidad de una masa líquida, pero a medida que se evapora el agua que contiene, va haciéndose un tanto plástica. Existe un momento en que la masa de arcilla pasa de estado "líquido" al estado "plástico". Este límite entre los estados "líquido" y "plástico" se halla representado por el contenido de humedad del suelo y se llama límite líquido.

Si continúa la evaporación de agua, la arcilla perderá plasticidad y llegar a secarse hasta adquirir una consistencia semisólida. Este paso del estado plástico al semisólido se le llama límite plástico, su valor está dado por el contenido de humedad que tiene la arcilla en tal estado límite. Para luego tener un último límite que se encuentra en la frontera del estado semisólido al estado sólido, conocido como límite de contracción.

✓ **Límite Líquido (LL).**

Es el contenido de humedad por debajo del cual el suelo se comporta como un material plástico. A este nivel de contenido de humedad el suelo está en el vértice de cambiar su comportamiento al de un fluido viscoso.



✓ **Límite Plástico (LP).**

El límite plástico de un suelo es el más bajo contenido de agua en el que el suelo sigue presentando plasticidad.

✓ **Límite de Contracción (LC).**

Es el contenido de humedad por debajo del cual no se produce reducción adicional de volumen o contracción en el suelo.

En la siguiente figura se presenta los diferentes límites con los que puede contar un suelo, así como la transición de los estados en donde estos ocurren.

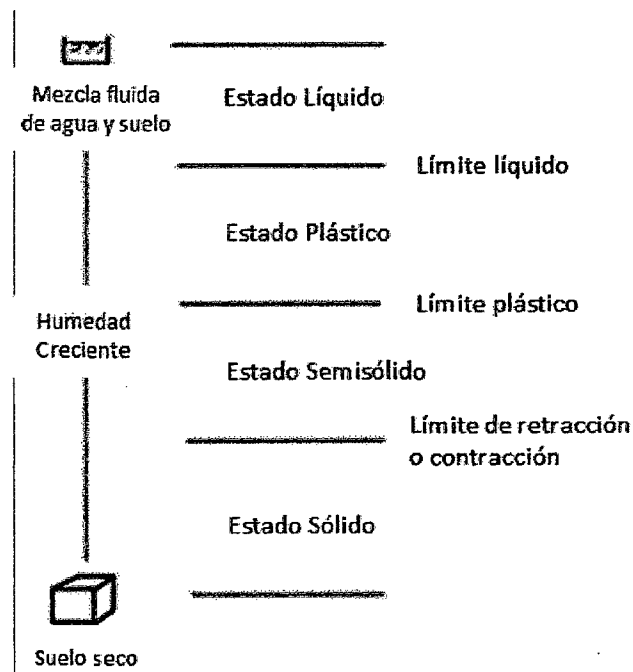


Figura 2.2 Representación del Límite de Atterberg



2.3.1.6. Índice de Plasticidad (IP).

El Índice de Plasticidad (IP) es una medida de cuánta agua puede absorber un suelo antes de disolverse en una solución. Mientras más alto es este número, el material es más plástico y más débil. Generalmente la cal reacciona con suelos plástico que tengan un IP entre 10 a 50, reduciendo así significativamente el IP, creando de esta manera un nuevo material con resistencia estructural. Suelos con IP menores a 10, usualmente, no reaccionan tan fácilmente con la cal.

El IP se mide por dos pruebas simples en la mecánica de suelo: el límite líquido y el límite plástico; la diferencia entre los dos es el Índice de Plasticidad.

2.3.2. PARÁMETROS DE ESTADO.

Estos parámetros no son propios de las características del suelo sino de las condiciones ambientales en que se encuentran. Para los suelos sensibles al agua, el parámetro de estado que determina todas las condiciones de los rellenos, terraplenes y explanadas en las redes viales es el ESTADO HIDRICO. Su determinación no puede hacerse exclusivamente con el cálculo del contenido en agua natural, sino que es necesario relacionarlo con el contenido de agua específico de suelo al que le corresponde un comportamiento particular. El método más corriente para indicar el estado hídrico de un suelo es referirse a los valores de los ensayos PROCTOR y CBR, realizados sobre cada suelo o clase de suelo a estudiar.



2.3.2.1. Resistencia Mecánica.

En los suelos la humedad es muy importante porque determinan la capacidad de estos para resistir las cargas y mantener su estructura en condiciones estables de trabajo hasta ciertas humedades, los suelos pueden mantener resistencias aceptables pero cuando hay excesos de agua se debilitan y pierden la resistencia, que se manifiestan en hundimientos, grietas, cuarteamientos, hinchamientos, etc.

En la época húmeda (invierno) los suelos se vuelven débiles, ya que el agua que absorben los hace perder resistencia hasta llegar a la saturación. En la época seca (verano) pierden humedad y se vuelven muy duros o muy resistentes pero en la superficie donde los vehículos circulan, la acción abrasiva de las llantas hace que se genere la soltura de las partículas de suelo abundantemente para producir capas de polvo, con lo cual el deterioro superficial llega a ser severo.

2.3.2.2. La Compactación (Ensayo Proctor).

Cuando se compacta un suelo con una energía de compactación dada, se comprueba que su densidad seca, referida al suelo en estado seco, varía en función del contenido en agua hasta alcanzar un máximo de densidad correspondiente a un contenido de humedad que se



denomina óptimo. Para alcanzar igual densidad con una humedad distinta a la óptima hay que emplear mayor energía de compactación.

2.3.2.3. La Capacidad Portante (Ensayo CBR).

El ensayo CBR (California Bearing Ratio), consiste en medir la resistencia al punzonamiento de un suelo sobre las probetas confeccionadas por el procedimiento del ensayo proctor y comparar los valores obtenidos con un valor de referencia patron.

Se mide así la capacidad portante del suelo o lo que es lo mismo su capacidad de soportar una carga para cada pareja de valores de densidad-humedad. Se expresa por el índice portante CBR en % del valor de referencia. Cuanto más elevado es el CBR más capacidad portante tiene el suelo.

En el siguiente cuadro se presenta la clasificación de suelos según AASHTO M-145 y su correlación con la clasificación de suelos SUCS (ASTM D 2487) y la capacidad portante CBR.

2.4. ESTABILIZACIÓN DE SUELOS

Es frecuente que el ingeniero encuentre suelos no adecuados en propiedades físicas y mecánicas que ha de utilizarse para un determinado fin, en un lugar específico. Este hecho abre obviamente tres posibilidades de decisión.

- Aceptar el material tal como lo encuentre, pero tomando en cuenta su calidad en el diseño efectuado.



- Eliminar el material insatisfactorio o prescindir de usarlo, sustituyéndolo por otro de características adecuadas.
- Modificar las propiedades del material existente, para hacerlo capaz de cumplir mejores requerimientos (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 o limosos 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 valor de expansión y su opuesta contracción, a la vez una baja capacidad para soportar cargas .Casos que justifican una estabilización:

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



2.4.1. TIPOS DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS

En rigor son muchos los procedimientos que pueden seguirse para lograr la mejoría de las propiedades del suelo, con vistas a hacerlos apropiados para algún uso específico, lo que constituye la estabilización. La siguiente lista de tipos de procedimiento de estabilización más comunes:

- Estabilización por medios mecánicos (Compactación).
- Estabilización por drenaje.
- Estabilización por medios eléctricos.
- Estabilización por empleo de calor y calcinación.
- Estabilización por medios químicos (Cemento, cal, asfalto, otros productos).

2.4.1.1. 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 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 pisones 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 y neumáticos que combinan utilizan la acción de amasado con el peso estático.
- ✓ **Vibración:** Se usan los rodillos vibratorios para ayudar al

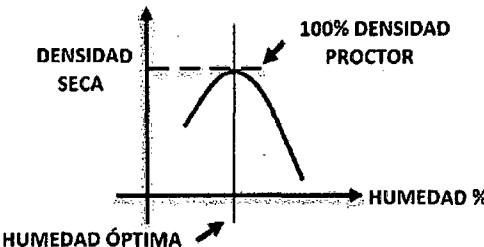


reacomodo de las partículas.

✓ **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 N°2.3 se muestra las características entre cada tipo de suelo y el método de compactación recomendado para cada uno.

Tabla N°2.3.: Tipo de suelo con su respectivo método de compactación

TIPOS 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.



2.4.1.2. 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.

2.4.1.3. 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 han observado un aumento de resistencia al corte y a la compresión simple de los suelos finos.

2.4.1.4. 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.

2.4.1.5. Estabilización Química

Se usa por la adición de agentes estabilizantes químicos específicos, comúnmente se usa cemento, cal, cemento portland, entre otro. 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:

A. 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) a los suelos gravosos les proporciona resistencia cohesiva e impermeabilidad, a esta mezcla se le deben agregar también partículas finas para llenar los vacíos.

B. 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 de 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 .

C. 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.

D. Estabilización química de suelos empleando nuevas tecnologías:

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



○ ESTABILIZACIÓN IÓNICA

Aplicada a suelos finos. El principio básico es un fuerte intercambio iónico entre el agente estabilizador con las partículas de arcilla, 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.

○ 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.

2.5. FUNDAMENTOS PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS PARA CARRETERAS

La estabilización se fundamenta en el mejoramiento de las propiedades, dichas propiedades de los suelos que más se estudian en la estabilización son las 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. Estas son:

2.5.1. 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.

2.5.2. Resistencia

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

- ✓ Compactación.
- ✓ Vibro flotación.
- ✓ 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.



2.5.3. 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. 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 N°2.4: 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 N°2.5: Permeabilidad según la textura del suelo.

TIPO DE ESTRUCTURA		PERMEABILIDAD
Laminar	Gran traslazo	De muy lenta a muy rápida
	Ligero traslazo	
En bloque		
Prismática		
Granular		

La permeabilidad se podrá modificar si modificamos la estructura, como lo indica la tabla N°2.5.

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 qué tipos de sales tenga el suelo; éstas alterarán la estructura del suelo; pudiendo aumentar o disminuir la permeabilidad.

2.5.4. 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.

2.5.5. 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.

2.6. ESTABILIZACIÓN DE SUELOS PLÁSTICOS OCUPADOS EN CAMINOS DE BAJA INTENSIDAD VEHÍCULAR.

Es indispensable antes de comenzar cualquier trabajo con un suelo, tener el conocimiento más preciso posible sobre las características de los materiales que lo



componen, de los problemas que estos materiales van a generar y de las soluciones que pueden adoptarse (por ejemplo el tratamiento de estabilización con cal).

La utilidad de la cal es para aquellos casos en los que no se necesite pronta resistencia.

Este aglomerante es muy adecuado para bajar la plasticidad de los suelos plásticos o para contrarrestar el alto contenido de humedad en terracerías, bases, sub bases o sub rasante, siempre que estas no sean muy arenosas.

Como norma general, se puede señalar que, para que la estabilización con cal sea eficaz, los suelos deben ser plásticos, y en este sentido se considera que, a partir de un Índice de Plasticidad, IP, igual o mayor de 10, el suelo es adecuado para reaccionar satisfactoriamente a su estabilización con cal, ya que esto es la clave para las reacciones químicas que proporcionan mejoras en las propiedades del suelo de forma inmediata y a largo plazo, y no contar con más del 1% de materia orgánica; esto porque suelos que contengan cantidades superiores al 1% de materia orgánica puedan requerir porcentajes de cal adicional considerables y/o procedimientos de construcción especiales.

2.7. ESTABILIZACIÓN DE SUELOS MEDIANTE EL ESTABILIZANTE IÓNICO POLYSES

Se puede definir como la modificación de las propiedades y comportamientos mecánicos del suelo, de manera tal que los transforman en material apto para la construcción de caminos.



2.7.1. ESTABILIZANTE DE SUELOS POLYSES

El estabilizador de suelos POLYSES es un producto particularmente destinado a la impermeabilización y estabilización de suelos naturales como elemento estructural. Su empleo permite el aprovechamiento de suelos de por si no aptos para uso vial y al mismo tiempo su costo unitario es marcadamente inferior a los tratamientos tradicionales.

En su aspecto genérico, POLYSES, es un aditivo a base de polímeros, sales inorgánicas, y tensioactivos, que actúan como agentes catalíticos de intercambio iónicos sobre la fracción coloidal o "activa" de las arcillas, reduciendo el potencial electrostático de sus partículas, quitándole la capacidad de adsorber agua (la adsorción es el fenómeno de retener agua en la superficie de la partícula), que genera una triple reacción en el suelo a tratar:

- 1) Promueve un intercambio iónico entre las partículas de suelo logrando que estas queden imposibilitadas de adsorber agua.
- 2) Producto del antes mencionado intercambio iónico, las partículas de suelo se atraen entre si produciendo una ligazón química muy potente y una mayor densificación del suelo. Esto permite un mejor reacomodamiento de las mismas, lo cual se refleja en una mayor capacidad densificatoria en el material, y en un menor espacio de aire en la estructura del suelo.
- 3) La carga electrostática conferida al suelo por el aditivo, modifica la



tensión superficial de los cuerpos granulares existentes, modificando el ángulo de absorción de la gota facilitando el escurrimiento del agua que ingresa en la estructura.

En consecuencia, el estabilizador de suelos POLYSES, genera una reducción en la capacidad de adsorber agua de la partícula de suelo, una mayor densificación de la estructura, menor presencia de aire, y un mayor nivel de escurrimiento por modificación de tensión superficial de los elementos que componen el suelo a estabilizar.

1. Modifica por intercambio iónico la partícula de suelo.
2. Permite un mejor acomodamiento estructural.
3. Modifica la tensión superficial mejorando el escurrimiento.

La incorporación del estabilizante de suelos Polyses promueve múltiples beneficios para la obra vial, constituyéndose en la mejor alternativa ante los métodos tradicionales de construcción, dado que representa un avance tecnológico que tiene como principal objetivo el de reducir los tiempos y los costos de la obra mejorando los suelos ya que estabiliza su comportamiento en el tiempo.

Como actúa el estabilizante: Las partículas de arcilla quedan así rodeadas por iones de su misma carga, a los que no pueden adsorber, por lo que el "agua pelicular" se convierte en "capilar" y como tal, se elimina por evaporación o



compactación. Por otra parte la impermeabilización adquirida imposibilita la filtración del agua del subsuelo por capilaridad, y en caso de grietas en el asfalto y filtraciones de agua de lluvia evita las erosiones, los ablandamientos y consecuentemente, la producción de baches por colapso de la sub rasante.

Una vez estabilizado el suelo aun sin ningún recubrimiento, reduce sensiblemente el desprendimiento de polvo y con un simple sellado con emulsión asfáltica superestable y arena, elimina totalmente ese desprendimiento, requiriéndose solamente la reposición del sellado de forma adecuada cada dos o tres años, siendo económica en caminos y rutas de transito importante.

2.7.1.1. Principales Aplicaciones

Los principales campos de aplicación del Estabilizante Iónico Polyses:

- Compactación de caminos naturales.
- Sub-bases para carpetas asfálticas (Caminos, Calles y Rutas).
- Compactación e impermeabilización de banquetas.
- Tratamiento de suelos granulares, evitando el lavado de los finos.
- Impermeabilización de Sub-rasantes.

2.7.1.2. Mejoras al Funcionamiento del Suelo

Al aumentar la estabilidad en el tiempo de las constantes de densidad y humedad dadas en obra, por la reducción de la absorción de agua en el suelo, al utilizar POLYSES se mejora:



- El valor soporte del suelo.
- El hinchamiento.
- La capacidad de densificación en obra.
- La capilaridad.

2.7.1.3. Beneficios Económicos por su Utilización

El uso de POLYSES genera una economía en la obra frente a los procedimientos tradicionales que permite mejorar los costos de la misma:

- Un 44 % sobre el costo de Tosca puesta en obra.
- Un 88 % del costo de Maquinarias para la Obra.
- Un 97 % del gasto de Transporte para la Obra.
- Un 80 % sobre el costo de Mano de Obra.
- Retrasos por incumplimiento en la entrega de los insumos.

2.7.1.4. Procedimiento de Trabajo en Campo:

- Escarificar con motoniveladora.
- Deshacer el suelo con disco vial (llevar a granulometría)
- Mezclar el estabilizante con agua en el tanque regador.
- Aplicar la solución en varias pasadas sobre la traza, mezclando el suelo mediante el disco y evitando exceder el nivel óptimo de humedad de compactación.
- Darle forma a la traza (homogenizar).



- Perfilar con motoniveladora
- Compactar con pata de cabra por estratos.
- Compactación final con rodillo liso vibratorio manteniendo la superficie ligeramente humedecida.

2.7.1.5. Dosificación

- La dosis usual es de 1 a 2 kg cada 10 m², diluidos en el agua necesaria para compactar.
- La dosis puede variar dependiendo del tipo de camino, su uso y de la profundidad de consolidación, pero en general se toma una dosificación de 1 kg por cada m³ de suelo a tratar.

No todos los suelos son aptos para ser estabilizados directamente. Los suelos muy arenosos son débiles, los suelos aptos para el uso del estabilizante Iónico Polyses deben contener como mínimo 20-30% de arcilla.

Por ello es muy importante un análisis de los suelos a estabilizar. En dicho análisis se determinarán las características físicas del suelo a tratar (Granulometría - Porcentajes de arcilla - Humedad - etc.).

El estabilizante e impermeabilizante Polyses es el procedimiento más económico y rápido que se puede utilizar para mejorar las propiedades de los suelos.



Especificaciones Físico –Químicas

NOMBRE COMERCIAL	POLYSES
Composición Química	Mezcla de Tensioactivos, sales inorgánicas y polímeros
Medio ambiente	Ecológico. No tóxico ,biodegradable
PH	13-14
Densidad	1.15 a 1.16 g/ml
Resistencia a la temperatura	-6 °C a 60°C
Efecto en la estructura mineral de la arcilla	Reduce la plasticidad y permeabilidad. Incrementa la densidad y razón soporte (CBR).
Aplicación	Los requerimientos de aplicación son mínimos, es de fácil aplicación.
Rendimiento	Un cilindro de 200 L rinde para 200 m ³ te rinde para un largo de 333 m, ancho de 4 m, y espesor de 15 cm. Rinde 1 L para 1 m ³
Vencimiento	48 meses, contados desde la fecha de su fabricación.
Color	Marrón claro
Solubilidad en Agua	Infinita

2.7.1.6. Ventajas De Los Suelos Estabilizados

a. Ventajas Técnicas:

Entre las ventajas técnicas pueden citarse:

- Permiten el empleo de los suelos de la traza, mejorando sus características hasta el grado deseado.
- Proporcionan una elevada capacidad de soporte a la explanada, con lo que aumenta la vida de servicio del firme.



- Aseguran la estabilidad de la explanada, tanto por su insensibilidad al agua y a la helada, evitando así cambios de volumen por hinchamiento o retracción, como por su resistencia a la erosión.
- Disminuye las tracciones en las capas del firme, aumentando con ello su vida útil.
- Pueden permitir el paso inmediato del tráfico de obra.
- Reducción del hinchamiento, la permeabilidad y del índice de plasticidad.
- Aumento del valor soporte del suelo en condiciones de humedad extrema.
- 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.

b. Ventajas Económicas:

Entre ellas pueden destacarse las siguientes:

- Un mayor empleo de suelos y otros materiales de la traza, a veces de características iniciales inadecuadas. Esto es particularmente interesante por las restricciones actuales para el uso de préstamos y vertederos .En ocasiones incluso no existen suelos aprovechables a una distancia aceptable.



- Un ahorro en el transporte de materiales y no requiere maquinarias especiales, solo maquinaria vial convencional.
- Un acortamiento de los plazos de ejecución con la consecuente reducción de costos, dado que el proceso de incorporación del conglomerante y de mezcla del suelo con el mismo se realiza con equipos específicos de alto rendimiento.
- 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 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.

2.7.1.7. Desaparición del Transporte de Materiales

Para realizar las obras necesarias con diseños tradicionales en estas regiones, se debe transportar el material desde las canteras hasta el lugar de construcción. La utilización del suelo del lugar tratado con el estabilizante iónico Polyses es más barata, en costo y en tiempo que el traer tales volúmenes de material seleccionado. Se calcula que para un 1Km de camino es necesario transportar 315 camiones de material, y si se necesita hacer un recambio de material del lugar a reemplazar. Con la aplicación del estabilizante iónico Polyses se aprovecha el suelo del



lugar y solo se transporta el producto que es para un 1Km de camino, caben en un solo camión y también se utiliza algunos equipos para la compactación y escarificación del terreno, pero sería menos Hora-máquina y Horas Hombres, lo cual sería muy beneficioso para cualquier proyecto.

2.7.1.8. El Impacto Ambiental del Estabilizante Iónico Polyses

Preservación del medio ambiente: Finalmente debe destacarse el hecho de que el estabilizante iónico Polyses lejos de afectar el medio ambiente se une a la naturaleza comportándose como un acelerador de procesos naturales sin alterar el medio ambiente.

Los productos que componen el estabilizante iónico Polyses no son contaminantes, y no producen ninguna alteración en el medio ambiente que pueda afectar la vida.

2.7.1.9. Tipo de Tratamiento Para la Estabilización de Suelos

✓ **Tiempo de Ejecución :**

TIPO DE TRATAMIENTO	TIEMPO DE EJECUCIÓN aproximado
Suelo Cal (1 bolsa por m ²)	10 Días
Suelos Cemento (al 8%)	10 Días
Entoscado	6 Días
Estabilizado Químico	1 Día



✓ Cantidad de Insumos Según:

TIPO DE TRATAMIENTO	VOLUMEN DEL MATERIAL	TRANSPORTE MEDIDO EN CAMIONES
Suelo Cal (1 bolsa por m ²)	120.000 Kg 6.000 Bolsas	26 De 5 Tn. Aprox. c/u
Suelos Cemento (al 8%)	138.600 Kg 2.772 Bolsas	28 De 5 Tn. Aprox. c/u
Entoscado	1'813.500 Kg D: 1,550 + 30% esp.	61 De 30 Tn. Aprox. c/u
Estabilizado Químico	900 Kg 4 ¼ Tambores	1 De 1 Tn. Aprox. Máx.

2.8. ANÁLISIS DE LOS MATERIALES A UTILIZAR EN UNA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON EL ESTABILIZANTE IÓNICO POLYSES.

a) Suelo.

Los suelos que componen la mezcla suelo – Polyses deben ser del propio camino, deberá de presentar arcillas en porcentajes no menores del 20% de su muestra estudiada, deberán estar limpios y es recomendable que estos no deban tener más de 1 % de su peso de materia orgánica. Además la fracción del suelo que pasa la malla No 40 debe tener un índice de plasticidad no menor de 10.

b) Estabilizante Iónico Polyses.

El empleo del estabilizante para la construcción de suelo - Polyses dependerá del porcentaje de material fino, dado de que al contener gran cantidad de arenas el suelo sería muy débil para su empleo según las especificaciones del producto.

c) Agua.



El agua que se use para la construcción de mezcla suelo – cal debe estar limpia, no debe contener materia orgánica y debe estar libre de sales, aceites, ácidos y álcalis perjudiciales.

d) Mezcla suelo-Polyses.

Los ensayos requeridos para conocer las características físicas del suelo a tratar para la estabilización del suelo, mediante el estudio minucioso de Mecánica de Suelos para determinar la dosis del estabilizante puede variar dependiendo del tipo y características que éste presente, su uso y de la profundidad de consolidación.

2.9. PROPIEDADES DE LA MEZCLA SUELO-POLYSES.

Las mezclas suelo-Polyses sufren una serie de modificaciones en sus propiedades índices, las cuales se mejoran y hacen que el suelo se comporte de diferente manera al suelo natural, estas modificaciones se dan con más frecuencia en las siguientes propiedades:

2.9.1. Granulometría.

Los suelos con gran proporción de partículas finas, con plasticidad alta, son más sensibles a la adición del estabilizante que los suelos compuestos de arenas, limos y arcillas en proporciones menores del 20 ó 30% en su composición, debido a la floculación de las partículas finas y su aglutinación posterior, lo que hace en algunos casos que pasados algunos días de hecha la mezcla, el análisis granulométrico del suelo, presente un incremento notable



de arena fina y limo, así como una reducción en los tamaños que pasan por el tamiz No 200.

2.9.2. Plasticidad.

La adición del estabilizante iónico Polyses eleva el límite plástico de los suelos y reduce el límite líquido, principalmente en suelos muy plásticos, y puede tener el efecto contrario en los suelos de menor plasticidad.

2.10. DISEÑO DEL TRATAMIENTO.

El objetivo ya una vez analizada la aptitud de los suelos al tratamiento con el estabilizante iónico Polyses, será el de verificar el porcentaje relativo de arcillas y limos que presenta la muestra estudiada del suelo a estabilizar (< del 20%).

Dependerá, por tanto, del efecto perseguido después de aplicado el producto, ya sea el secado de suelos con humedad natural excesiva, una modificación instantánea del suelo y/o una estabilización de la capa a largo plazo.

2.11. ANÁLISIS PREVIO DE LOS SUELOS.

El primer paso será identificar completamente las características de los suelos a emplear para decidir si su estabilización con el estabilizante iónico Polyses es muy recomendable. En este sentido, los ensayos a realizar serán las siguientes:

- **Ensayos de identificación de suelos:** (Límites Atterberg, granulometría, expansión, humedad natural, materia orgánica, entre otros.), y con los resultados obtenidos se podrán clasificar los suelos.



- **Ensayos de comportamiento:** Los dos factores fundamentales son el de la compactación (Proctor normal o modificado) y la capacidad portante (C.B.R. y/o resistencia a compresión simple).

En función de los resultados de estos ensayos y de los objetivos a conseguir, se valorara la aptitud de los suelos a su tratamiento con el estabilizante iónico POLYSES. A este respecto, cabe mencionar que el tratamiento con el estabilizante químico será más beneficioso para un suelo cuanto mayor sea su proporción de finos y su plasticidad. En general, puede decirse que aquellos suelos con un índice de plasticidad igual o superior a 10, son susceptibles de mejorar sus propiedades por acción del estabilizante iónico Polyses.

2.12. ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LOS SUELOS

El comportamiento excepcional que presentan los suelos tratados con el estabilizante iónico Polyses, hace del mismo una opción muy ventajosa y económica a la hora de tener que diseñar y estabilizar caminos.

- ✓ **El suelo excepcional:**

Primeramente debe comprenderse que a pesar de que las propiedades físicas y mecánicas del suelo se ven afectadas por el tratamiento, el suelo tratado con el estabilizante iónico Polyses sigue comportándose como tal, un suelo pero apto para la construcción de caminos.

- ✓ **Modificación de los límites de atterberg:**

El tratamiento de un suelo de características aceptables para con el empleo del estabilizante, modifica prácticamente todos los límites de atterberg.



✓ **Estructuras más compactas y resistentes:**

Se esperaría que esto se vea reflejado en una mayor densidad seca máxima y una menor humedad óptima de compactación en el ensayo de Proctor, pero si bien ocurre es mínimo.

✓ **Aumento del límite de contracción:**

La variación de la estructura original del suelo tratado vea aumentado su límite de contracción a valores lo suficientemente altos respecto de su humedad óptima de compactación, de manera que por más que pudiera haber una disminución o elevación de la humedad no se produzca una variación de volumen y la des-compactación del suelo.

✓ **Mayores valores de C.B.R.:**

El resultado del empleo del estabilizante iónico Polyses se verificará en el aumento de su resistencia, es decir el C.B.R. del suelo se ve acrecentado, en la mayoría de los casos, mínimamente entre un 25 a un 100% de su valor original, pudiendo alcanzar hasta un 500% o más en ciertos suelos.

✓ **Suelos impermeables:**

Es el comportamiento más característico de los suelos tratados con el estabilizante iónico Polyses.

✓ **Desaparición del transporte de materiales:**

La utilización del suelo del lugar tratado con el estabilizante iónico Polyses es mucho más económico y en tiempo del flete para movilizar tales volúmenes de material seleccionado para una estabilización tradicional.



2.13. ENSAYOS DE LABORATORIO REALIZADOS AL MATERIAL DE BASE UTILIZADO EN ESTABILIZACION DE SUELOS

2.13.1. Análisis Granulométrico Mecánico MTC E 107 -2000

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 N°2.6: Tamaños de clasificación de las partículas del suelo

LÍMITES DEL TAMAÑO DE LOS COMPONENTES DEL SUELO	
Bloques	Mayor a 300 mm
Bolones	De 80 a 300 mm
Grava	De 5 a 80 mm
Arenas	De 0.08 a 5 mm
Linos	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 homogenizar 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.



✓ **Tamices de Malla Cuadrada:**

Los tamices más frecuentes usados en el análisis granulométrico para bases granulares son las siguientes:

Tabla N° 2.7: Apertura de Tamices

TAMIZ	DIAMETRO (MM)
2"	50.80
1"	25.40
3/4"	19.05
1/2"	12.70
3/8"	9.51
1/4"	6.35
N°4	4.76
N°8	2.38
N°10	2.00
N°20	0.85
N°40	0.42
N°100	0.15
N°200	0.07
> N°200	

*Fuente: Diseño y Construcción de Pavimento:
Libro N° 6 Colección del Ingeniero Civil.*

El suelo puede considerarse como "Un agregado de partículas orgánicas e inorgánicas". Estas partículas no solo varían en su composición, sino también en sus tamaños. La determinación de la granulometría supone el conocimiento de la distribución de los tamaños de las partículas que componen el suelo.

Cuando se refiere a la granulometría de un suelo no se habla de un valor, sino



de un conjunto de valores. La curva granulométrica, y que solo tienen valor en conjunto con los demás valores. La curva granulométrica se arma con los valores de las proporciones en peso de un suelo que pasan por cada uno de un conjunto de tamices (ver detalle en la descripción del ensayo).

Los suelos con más de 5% de partículas por encima del tamiz 4 (4,8 mm) se denominan Suelos granulares, y aquellos que pasan totalmente por el tamiz 4 Suelos no Granulares.

Su finalidad es obtener la distribución por tamaño de las partículas presentes en una muestra de suelo. Así es posible también su clasificación mediante sistemas como AASTHO o SUCS.

El ensayo es importante, ya que gran parte de los criterios de aceptación de suelos para ser utilizados en bases o sub bases de carreteras, presas de tierra o diques, drenajes, etc. depende de este análisis.

Para obtener la distribución de tamaños, se emplean tamices normalizados y enumerados, dispuestos en orden decreciente.

Para suelos con tamaños de partículas mayores a 0.074 mm. (74 micrones) se utiliza el método de análisis mecánico mediante tamices de abertura y numeración indicado en la TABLA N° 2.7. Para suelos de tamaño inferior, se utiliza el método del hidrómetro, basado en la ley de Stokes.

✓ **Equipo para Ensayo:**

- 02 Balanzas con una sensibilidad de 0.01g para pesar el material que pase el tamiz N°4 (4.760 mm), otra con sensibilidad de 0.1% del peso de la



muestra, para pesar los materiales retenidos en el tamiz N°4.

- 01 Juego de tamices estándar.
- Estufa, capaz de mantener temperaturas uniformes y constantes hasta de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ($230 \pm 9^{\circ}\text{F}$).
- Taras, adecuadas para el manejo y secado de las muestras.
- Cepillo y brocha para limpiar la malla de los tamices.

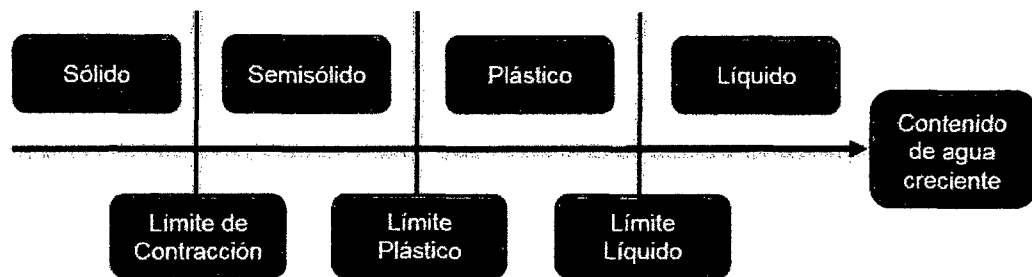
2.13.2. Límites de Consistencia de Atterberg

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 fluirá como un líquido y con un contenido de agua bajo este tipo de suelo tenderá 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 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.



La humedad de un suelo es una variable que modifica sensiblemente la actitud para ser trabajado. Un suelo sumamente seco es imposible trabajar ya que se solidifica y se vuelve quebradizo y falto de cohesividad; un suelo sumamente húmedo comienza a comportarse como un líquido muy viscoso, fluye y es imposible que conserve su forma, entre estas dos situaciones extremas existe un rango de humedades donde el suelo se puede trabajar sin que se vuelva rígido y se quiebre, se le puede dar forma y que la conserve sin fluir, esta situación se le denomina estado plástico; cuanto más amplio es este rango de humedades se dice que el suelo es más plástico.

Límite plástico (LP): es el valor de humedad donde un suelo deja de ser posible de trabajar plásticamente y se vuelve sólido.

Límite Líquido (LL): es el valor de humedad donde el suelo deja ser plástico y



comienza a comportarse como semi-líquido.

Índice de Plasticidad (IP): es la amplitud del rango de humedades entre límite plástico y el límite líquido.

$$IP = LL - LP$$

- Cuando el límite líquido o el límite plástico no pueden determinarse, el índice de plasticidad se informará con la abreviatura NP (no plástico).
- Así mismo, cuando el límite plástico resulte igual o mayor que el límite líquido, el índice de plasticidad se informará como NP (no plástico).

A. Determinación del Límite Líquido MTC E 110 -2000:

El límite líquido está definido, como el contenido de humedad con el cual una masa de suelo de 1 cm de espesor, colocada en un recipiente en forma de cuchara (aparato de Casagrande), se separa con una herramienta patrón (ranurador), se deja caer desde una altura de 1.00cm a la velocidad de 2 golpes por segundo y sufre el cierre de esa ranura en 1.00cm después de 25 golpes de la cuchara contra una base de caucho dura o similar.

Casagrande en el año 1932, determinó que el límite líquido es una medida de resistencia al corte del suelo a un determinado contenido de humedad y que cada golpe necesario para cerrar el surco, corresponde a un esfuerzo cortante cercano a 1 gr/cm^2 .

La muestra de ensayo debe ser igual o mayor de 100gr. y pasar completamente por el tamiz N°40 (0.5mm).



✓ **Equipo Necesario:**

- Aparato de Límite Líquido (Copa de Casagrande), el que consiste en una taza (cuchara) de bronce con una masa de 200 ± 20 gr. montada en un dispositivo de apoyo fijada a una base de caucho, madera o plástico duro (**Figura 2.3**).
- Plato de evaporación de Porcelana de 120mm. de diámetro.
- Espátula, hoja flexible de 20 mm. de ancho y 70 mm. de largo.
- Horno de secado con circulación de aire y temperatura regulable capaz de mantenerse en $110^\circ \pm 5^\circ$ C.
- Balanza de precisión de 0.1 gr.
- Herramientas y accesorios.
- Placas de vidrio, agua destilada, recipientes herméticos, tamiz N° 40 – ASTM y probeta de 25 ml de capacidad.

B. Determinación del Límite Plástico:

El límite plástico se ha definido arbitrariamente como el contenido de humedad del suelo al cual un cilindro de éste, se rompe o resquebraja al amasado presentando un diámetro aproximado de 3mm.

✓ **PREPARACIÓN DE LA MUESTRA:**

- Si se quiere determinar sólo el L.P ,se toman aproximadamente 20 g de la muestra que pase por el tamiz de 426 mm(N°40),preparado para el ensayo de límite líquido .Se amasa con agua destilada hasta que pueda



formarse con facilidad una esfera con la masa de suelo .Se toma una porción de 1.5 gr a 2 gr de dicha esfera como muestra para el ensayo .El secado previo del material en horno o estufa, o al aire ,puede cambiar(en general ,disminuir),el límite plástico de un suelo con material orgánico ,pero este cambio puede ser poco importante .

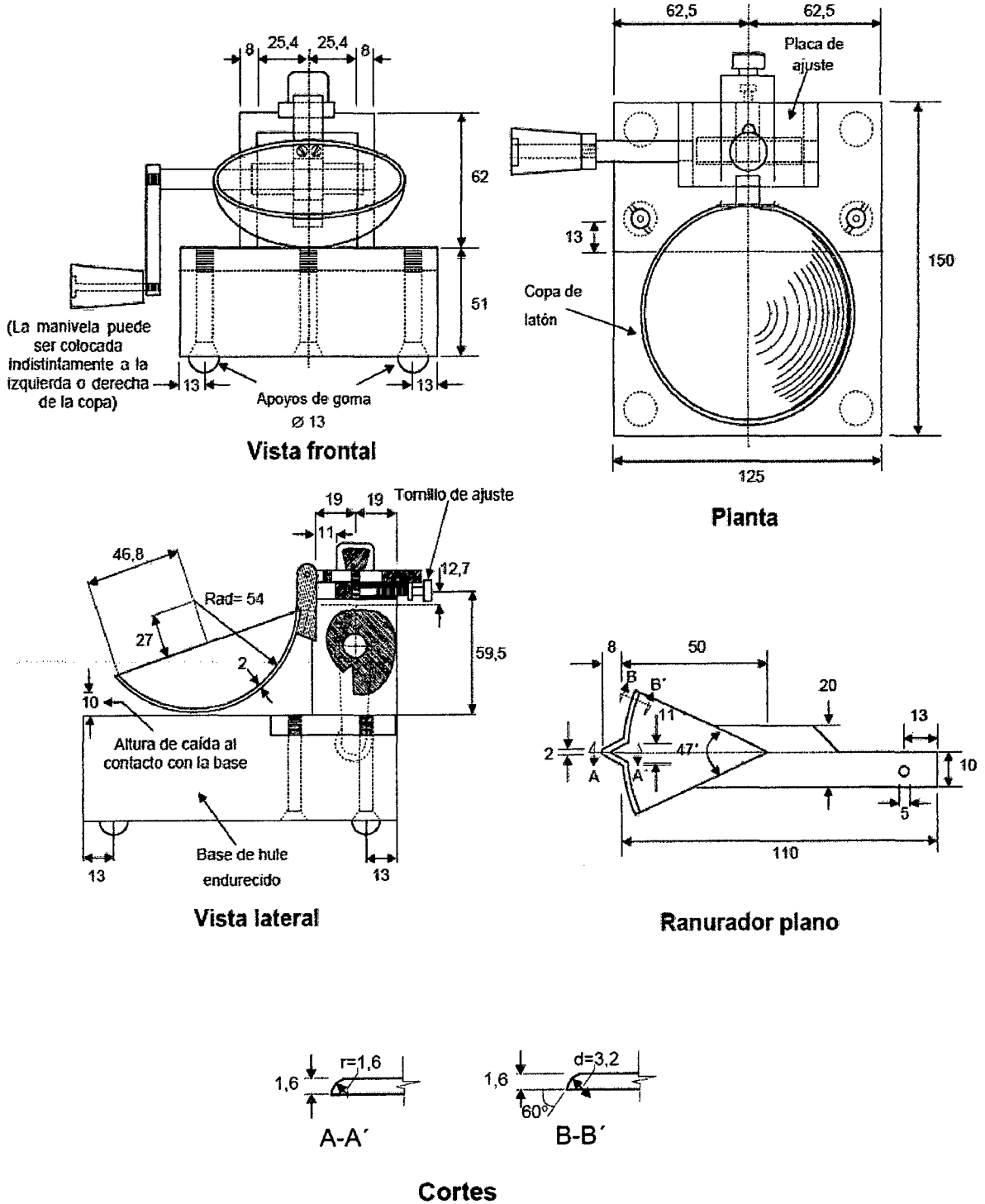
- Si se requieren el límite líquido y el límite plástico, se toma una muestra de unos 15 g de la porción de suelo humedecida y amasada, preparada de acuerdo con la Norma MTC E 110(determinación del límite líquido de los suelos).La muestra debe tomarse en una etapa del proceso de amasado en que se pueda formar fácilmente con ella una esfera, sin que se pegue demasiado a los dedos al aplastarla. Si el ensayo se ejecuta después de realizar el del límite líquido y en dicho intervalo la muestra se ha secado, se añade más agua.

✓ **Equipo Necesario:**

- Plato de evaporación de Porcelana de 120mm. Y de 4 ½" de diámetro.
- Espátula, hoja flexible de 20 mm. de ancho y 70 mm. de largo.
- Horno de secado con circulación de aire y temperatura regulable capaz de mantenerse en $110^{\circ} \pm 5^{\circ} \text{C}$.
- Balanza de precisión de 0.01 gr.
- Herramientas y accesorios.
- Placas de vidrio, agua destilada, recipientes herméticos, tamiz N° 40 – ASTM y probeta de 25 ml de capacidad.



Figura 2.3. Copa de Casagrande y Ranurador (Acotaciones en mm)





2.13.3. Ensayo de Compactación o Proctor Modificado MTC E 115-2000

Estas pruebas de compactación sirven para determinar el máximo peso unitario o mínima relación de vacíos que se pueda obtener para un determinado suelo, por ello en una compactación es necesario calcular debidamente la cantidad de agua que debe tener el suelo, con la finalidad de lograr una debida lubricación y permitir compactarlo a la mayor densidad posible.

El ensayo de compactación en el laboratorio tiene dos finalidades principales; por un lado disponer de muestras compactadas teóricamente con el propósito de investigar sus propiedades mecánicas, datos que nos servirán para posteriores estudios del proyecto; por otro lado es necesario para poder controlar el trabajo de campo, teniendo la seguridad previstas para el proyecto.

La compactación se mide por la densidad seca, bajo condiciones de humedad; producto de esta relación se obtiene una gráfica denominada "Curva de Compactación", de forma parabólica, la misma que indica un determinado punto para el cual la densidad seca es máxima, en el eje de las ordenadas; puntos que proyectado al eje abscisas nos representan el óptimo contenido de humedad.

Dentro de los métodos dinámicos, los que generalmente se usan para la compactación de terraplenes artificiales, son tres grupos:

Los adecuados para el suelo no cohesivos o puramente friccionantes se



compactan eficientemente por métodos vibratorios, tales como plataformas vibratorias o rodillos lisos vibratorios.

Los adecuados para los suelos arenosos o limosos con cohesión moderada, se compactan con rodillos neumáticos.

Los adecuados para arcillas o suelos altamente plásticos se compactan, eficientemente con rodillos pata de cabra.

✓ **Equipo Necesario:**

- Molde de 150 mm de diámetro nominal con una capacidad de $2,124 \pm 0.021$ lt., con un diámetro interno de 152.4 ± 0.1 mm.
- Pisón metálico de 50 ± 2 mm. de diámetro con un peso de $4,500 \pm 10$ gr. para ensayo Proctor Modificado.
- Probetas graduadas con capacidad de 500 cm³ graduada a 2.5 cm³.
- Una balanza con una capacidad de 10 kg y una precisión de 5 gr. y otra con 1.00 kg de capacidad y una precisión de 0.1 gr.
- Horno de secado con circulación de aire y temperatura regulable capaz de mantenerse en $110^{\circ} \pm 5^{\circ}$ C.
- Regla de acero de 300 mm de largo, tamices de 50, 20 y 5 mm. de abertura, cápsulas.



Figura 2.4.a. Moldes Para Proctor Modificado (Acotaciones en mm)

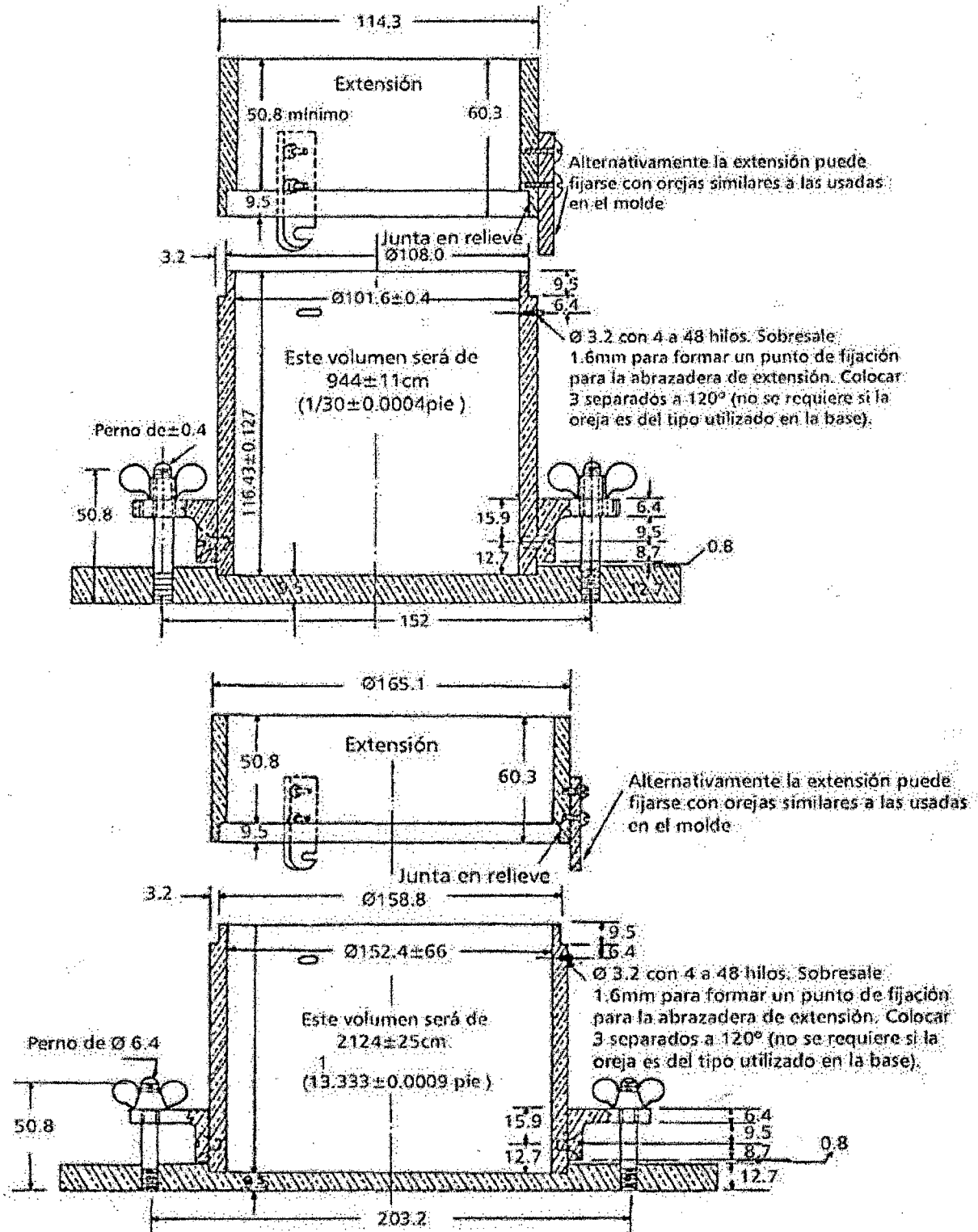
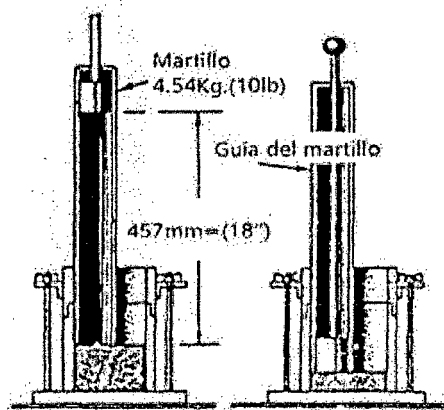




Figura 2.4.b. Martillo Metálico



2.13.4. Ensayo de California Bearing Ratio (CBR) MTC E 132-2000

El valor de soporte es una medida de la resistencia que opone un suelo a ser penetrado con un punzón cilíndrico, es relativo a los valores de un suelo granular tipo (piedra partida graduada). Debido a las condiciones para las que se ha diseñado este ensayo los resultados deben interpretarse con sumo cuidado, ya que este ensayo, del C.B.R. solo es aplicable a suelos granulares.

La importancia de este ensayo es que el C.B.R. se utiliza como el principal valor para la caracterización del suelo en la mayoría de los métodos de diseños de carreteras, razón por la cual es tan difundido, a pesar de los reparos ya expresados en su aplicación e interpretación.

El ensayo CBR (California Bearing Ratio) mide la carga necesaria para penetrar un pistón de dimensiones determinadas a una velocidad previamente fijada en una muestra compactada de suelo después de haberla sumergido en agua durante cuatro días y de haber medido su hinchamiento.

El hecho de sumergir la muestra se debe de que así podemos prever la



hipotética situación de acumulación de humedad en el suelo después de la construcción. Por tanto después de haber compactado el suelo y de haberlo sumergido, lo penetramos con un pistón para poder obtener los datos de la carga aplicada y profundidad penetrada por el pistón dentro de la muestra a fin de generar una gráfica. Esta gráfica suele ser una curva con el tramo inicial recto y el tramo final cóncavo hacia abajo (si el tramo inicial no es recto se corrige). Una vez tenemos la gráfica miramos los valores de la carga que soportaba el suelo cuando el pistón se había hundido 2.5 mm. Y 5 mm y los expresamos en tanto por ciento, tomando como índice CBR el mayor de los porcentajes calculados.

✓ **Equipo Necesario:**

- Prensa para CBR (**Figura N° 2.5.a**). Donde el desplazamiento entre la base y el cabezal se debe poder regular a una velocidad uniforme de 1.27mm (0.05") por minuto. La capacidad de la prensa y su sistema para la medida de carga debe ser de 44.5 KN (10000 lbf) o más y la precisión mínima en la medida debe ser de 44N (10 lbf) o menos.
- Molde de metal cilíndrico de 152.4mm \pm 0.66 mm (6" \pm 0.026") de diámetro interior y de 177.8 mm \pm 0.46 mm (7" \pm 0.018") de altura, provisto de un collar de metal suplementario de 50.8mm (2.0") de altura y una placa de base perforada de 9.53 mm (3/8") de espesor. Las perforaciones de la base no excederán de 1.6 mm (281/16") las mismas que deberán estar uniformemente espaciadas en la circunferencia interior del molde de diámetro (**Figura N° 2.5.b**). La base se deberá poder



ajustar a cualquier extremo del molde.

- Disco espaciador, circular de metal de 150.8mm de diámetro y de 50.8 mm (2") de espesor, para insertarlo como falso fondo en el molde cilíndrico durante la compactación.
- Pisón de compactación como los descritos en las normas de ensayo Proctor Modificado.
- Aparato medidor de expansión compuesto por:
 - Una placa de metal perforada, por cada molde, de 149.2 mm (5 7/8") de diámetro, cuyas perforaciones no excedan de 1.6 mm (1/16") de diámetro. Estará provista de un vástago en el centro con un sistema de tornillo que permita regular su altura.
 - Un trípode cuyas patas puedan apoyarse en el borde del molde, que lleve montado y bien sujeto en el centro un dial (deformímetro), cuyo vástago coincida con el de la placa, de forma que permita controlar la posición de este y medir la expansión, con aproximación de 0.025 mm (0.001").
 - Una o dos pesas anulares de metal que tengan una masa de 4.54 ± 0.02 kg y pesas ranuradas de metal cada una con masas de 2.27 ± 0.02 kg. Las pesas anular y ranurada deberán tener 5 7/8" a 5 15/16" (149.23 mm a 150.81 mm) en diámetro; además de tener la pesa, anular un agujero central de 2 1/8" aproximado (53.98 mm) de diámetro.
 - Pistón de penetración metálico de sección transversal circular, de 49.63 ± 0.13 mm (1.954 ± 0.005 ") de diámetro, área de 19.35 cm² (3 pulg²) y con longitud necesaria para realizar el ensayo de penetración con las



sobrecargas precisas, pero nunca menor de 101.6 mm (4").

- Dos diales con recorrido mínimo de 25mm (1") y divisiones lecturas en 0.025mm (0.001"), uno de ellos provisto que permita su acoplamiento en la prensa para medir la penetración del pistón en la muestra.
- Tanque, de capacidad suficiente para la inmersión de los moldes en agua.
- Estufa, termostáticamente controlada, capaz de mantener una temperatura de $110^{\circ} \pm 5^{\circ} \text{C}$ ($230 \pm 9^{\circ} \text{F}$).
- Balanzas, una de 20 kg de capacidad y otra de 1000 g con sensibilidades de 1 g y 0.1 g, respectivamente.
- Tamices, N° 4 (4.76 mm), 3/4" (19.05 mm) y 2" (50.80 mm).
- Misceláneos, de uso general como cuarteador, mezclador, cápsulas, probetas, espátulas, discos de papel filtro del diámetro del molde, etc.

Figura 2.5.b. aparato Para Medir la Presión de Expansión (Según Lambe)

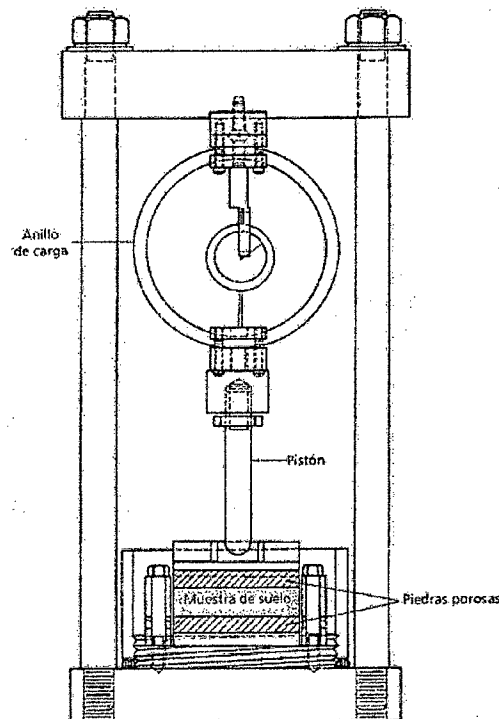
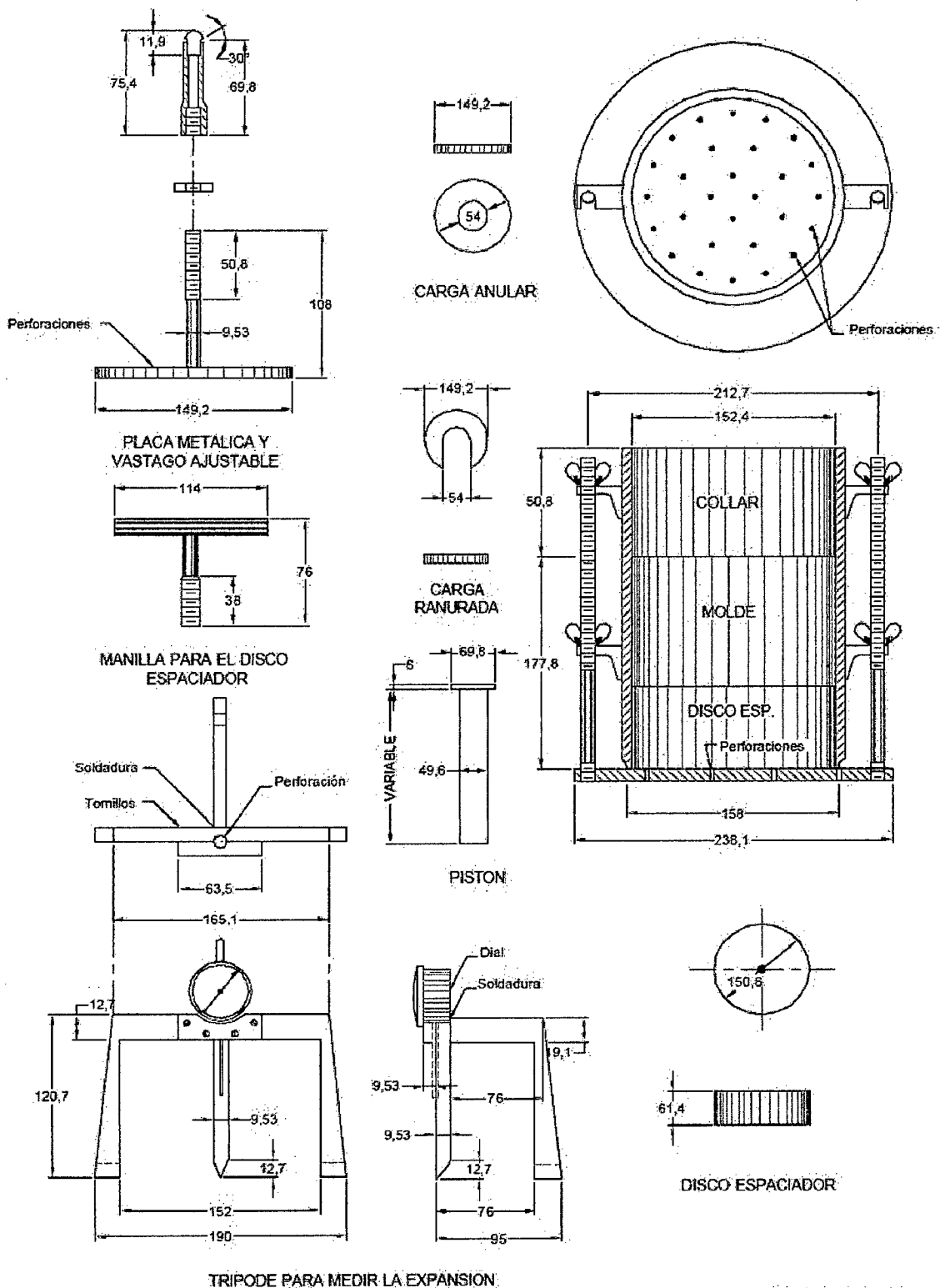




Figura 2.5.b. Equipo Para Ensayo de C.B.R.



Dimensiones en mm.



CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. DESCRIPCIÓN DE TRAMO DE PRUEBA.

El tramo de prueba proyectado a estabilizar, que sirve de estudio para el desarrollo de este trabajo de graduación y para el cual se verificará la aprobación del porcentaje mínimo de arcillas (20 ~ 30%) de su granulometría para proceder a la estabilización con el Polyses, está ubicado entre el Anexo San Juanito y Villa Guadalupe, de la Provincia de Virú en el Departamento de La Libertad.

El tramo es estudiar está ubicado al:

- **Este** : Zona agrícola y Río Santa.
- **Oeste** : Panamericana Norte.
- **Norte** : Villa Guadalupe.
- **Sur** : Plaza del Anexo San Juanito.

El tramo de prueba estabilizado con el estabilizante Iónico Polyses, cuenta con las siguientes características:

- **Ubicación** : Departamento de La libertad, Provincia de Virú.
- **Longitud de tramo de prueba** : 1,248.90 mts.
- **Ancho Promedio** : 3.50 mts.
- **Espesor de capa (mezcla suelo - Polyses)**: 0.15 mts.



A continuación se detallan los ensayos a suelo natural para determinar si este es apto para ser estabilizado con el estabilizante químico Polyses a utilizar en el tramo de prueba:

- Materiales más finos que pasan por el tamiz de 75 μm (N° 200) en suelos minerales por lavado.
- Determinación del límite líquido del suelo AASHTO T 89-02.
- Determinación de límite plástico e índice de plasticidad AASHTO T 90-03.

3.2. CARACTERÍSTICAS DEL SITIO DONDE SE EXTRAE EL SUELO ANALIZADO

El material que se analizó para fines de investigación en este trabajo se obtuvo del muestreo del material obtenido de las 4 calicatas realizadas a cada 250 mts desde la progresiva 0 + 000 de la trocha que une el Anexo de San Juanito con Villa Guadalupe, pertenecientes a la Provincia de Virú en el Departamento de La Libertad, la misma que cuenta con una distancia neta de 1,248.90 mts de longitud y presenta un ancho promedio de 3.50 metros.

3.3. MATERIALES Y MÉTODOS UTILIZADOS EN LOS ENSAYOS DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

Conociendo que los porcentajes del aditivo empleado en los ensayos, cuya dosificación es de 1 Kg/M³, directamente para suelos que presentan un porcentaje mínimo de arcilla que oscilan entre el 20 y 30 % según especificaciones del producto empleado.

Dichas muestras fueron preparadas luego ser ensayadas en estado natural, por ello



se involucró todos aquellos ensayos necesarios, que permita una identificación y descripción del tipo de material, para su posterior clasificación que permita los análisis previos antes y después de haberse estabilizado con el Polyses.

3.3.1. Muestras de Suelos

Lo primero que se debe realizar es el "muestreo de suelo" objeto de estudio, el muestreo es igualmente importante como cualquier otro ensayo, y por lo cual el encargado de realizarlo tendrá mucho cuidado para obtener muestras que exhiban la naturaleza y condición de los suelos que representan.

Los siguientes ensayos fueron realizados a cada una de las Cuatro (04) muestras extraídas cada 250 m a lo largo del tramo de la trocha que une el Anexo San Juanito con la Villa Guadalupito, las cuales se encontraban en estado natural.

3.3.2. Reducción de Muestras de Suelos a Tamaños de Ensayos

Luego de realizar un adecuado muestreo en campo, lo siguiente es reducir la muestra a tamaño de ensayo, de tal manera que la selección sea representativa de todo el material.

Para este caso se procederá a reducir el tamaño de las muestras de suelo fino que están en una condición de saturados superficialmente, se procederá a reducir el tamaño de las muestras que tengan humedad libre en la superficie de las partículas por medio de Cuarteos Manuales sucesivos hasta obtener una muestra representativa del material.



3.3.3. Análisis Granulométrico Mecánico

A. Procedimiento de ensayo

- Una vez obtenida una muestra representativa del material por medio de cuarteos se procederá a someterle a un proceso de secado en un horno mecánico por el plazo de 24 horas, para posteriormente proceder al tamizado.
- Ésta muestra es llevada al juego de tamices los que siguen un orden decreciente desde la malla de 3" en la parte superior hasta la malla Nº 200 en la parte inferior, colocando la cazoleta y la tapa.
- Se procede a la agitación constante del juego de tamices contenidos de la muestra, de arriba hacia abajo, en un periodo no menor de 15 minutos.
- Al concluir con el proceso anterior, se procede a pesar las diferentes porciones de muestra retenida en los distintos tamices, sobre una balanza con aproximación de 0.1 gr.
- Obtenido los datos convenientes, se realizarán los cálculos matemáticos de los porcentajes retenidos parciales, porcentajes retenidos acumulados, porcentajes que pasan y la elaboración de la gráfica granulométrica, comparando los resultados con las normas del ASTM-D 421, para cada una de las 4 muestras.

$$\%_{\text{Retenidos Parciales}} = \frac{\text{Peso Retenido Parcial por Tamiz}}{\text{Peso Seco total}} \times 100$$



- Este ensayo se realizó para cada una de las Cuatro (04) muestras extraídas mediante calicatas de la trocha que une el Anexo San Juanito con la Villa Guadalupe.

B. De los resultados hallados

(Los resultados de los ensayos de los realizados en laboratorio, se mostrarán en su cuadros respectivos).

3.3.4. Límites de Consistencia de Atterberg

A. Procedimiento de Ensayo Limite Liquido

- Se procedió a tomar una muestra de ensayo la que debe ser igual o mayor de 100gr.
- Del material que pasa el tamiz Nº 40, se mezcla con agua formando una pasta con la ayuda de la espátula y un plato.
- Se coloca el aparato del límite líquido sobre una base firme y se deposita una mezcla de 50 gr. del material preparado previamente, para luego alisar la superficie con la espátula, de modo que la altura obtenida en el centro sea de 10 mm.
- La pasta que fue colocada sobre la copa de Casagrande nivelada con la espátula es dividida en dos partes iguales por el acanalador.
- Cuando se tiene el surco se gira la manivela del aparato con una frecuencia de 2 golpes por seg, contando el número de golpes necesarios para que la ranura cierre en 10mm de longitud del fondo de ella.
- Posteriormente se toman 10 gr. del material que se junta en el fondo del



surco para determinar su contenido de humedad.

Este ensayo se realizó para cada una de las Cuatro (04) muestras extraídas mediante calicatas de la trocha que une el Anexo San Juanito con la villa Guadalupito.

B. Procedimiento de Ensayo Limite Plástico

La muestra de ensayo se prepara de manera idéntica a la descrita en el límite líquido, o bien puede usarse la misma muestra que se usó en ese ensayo, en la etapa en que la pasta de suelo se vuelva lo suficientemente plástica para moldearla como una esfera.

- Se toma una porción de suelo de aproximadamente 1 cm³, se amasa entre las manos y se hace rodar con la palma de la mano, por sobre la superficie de amasado, formando un cilindro.
- Cuando se alcanza un diámetro aproximado a 3mm. se dobla y amasa nuevamente, para volver a formar el cilindro, lo que se repite hasta que el cilindro se disgregue al llegar al diámetro de 3mm en trozos de tamaños de 0.5 a 1 cm. de largo y no pueda ser amasado ni reconstruido.
- El contenido de humedad que tiene el suelo en ese momento representa el límite plástico, el cual se determina colocando las fracciones de suelo en un recipiente, secándolas al horno.

Este ensayo se realizó para cada una de las Cuatro (04) muestras extraídas mediante calicatas de la trocha que une el Anexo San Juan Juanito con la Villa Guadalupito.



3.3.5. Ensayos de compactación o Proctor Modificado.

Se proporciona 3 métodos alternativos. El método usado debe ser indicado en las especificaciones del material a ser ensayado. Si el método no está especificado, la elección se basará en la gradación del material.

METODO "A"

- Molde : 4 pulg de diámetro (101.6 mm)
- Material :Se emplea el que pasa por el tamiz N°4 (4.75 mm)
- Capas : 5
- Golpes por capa :25
- Uso: Cuando el 20% o menos del peso del material es retenido en el tamiz N°4 (4.75 mm).
- Otros Usos: Si el método no es especificado; los materiales que cumplen éstos requerimientos de gradación pueden ser ensayados usando B ó C.

METODO "B"

- Molde : 4 pulg de diámetro (101.6 mm)
- Material: Se emplea el que pasa por el tamiz de 3/8 pulg (9.5 mm).
- Capas : 5
- Golpes por capa :25
- Uso: Cuando más del 20% del peso del material es retenido en el tamiz N°4(4.75 mm) y 20% ó menos de peso del material es retenido en el tamiz 3/8 pulg (9.5 mm).
- Otros Usos: Si el método no es especificado, y los materiales entran en



los requerimientos de gradación pueden ser ensayados usando
Método C.

METODO "C"

- Molde : 6 pulg de diámetro (152.4 mm)
- Material: Se emplea el que pasa por el tamiz de 3/4 pulg (19.0 mm).
- Capas : 5
- Golpes por capa : 56
- Uso: Cuando más del 20% en peso del material se retiene en el tamiz 3/8 pulg (9.53 mm) y menos de 30% en peso es retenido en el tamiz ¾ pulg (19.0 mm).

A. Procedimiento de ensayo

- Primero se determina con que método deberá trabajarse el Proctor modificado, lo que dio como resultado:
 - Para la Muestra N°01 se utilizara el Método "A"
 - Para la Muestra N°02 se utilizara el Método "A"
 - Para la Muestra N°03 se utilizara el Método "A"
 - Para la Muestra N°04 se utilizara el Método "A"
- Para permitir un mínimo de 4 determinaciones de punto de la curva de compactación, dos bajo la humedad óptima y dos sobre ellas, se procede a secar al aire una cantidad aproximada de 5000 gr.
- Se mezcla cada porción del suelo, con agua para llevarlo al contenido de humedad deseado, considerando el agua contenido en la muestra.



- Se pesa el molde y su base. Se coloca el collar ajustable sobre el molde.
- Colocar una capa de material aproximadamente $1/5$ de la altura del molde más el collar. Compactar la capa con el número de golpes de acuerdo al método utilizado, las cuales deben ser uniformemente distribuidos en el molde con un pisón de 4.5kg con una altura de caída de 45.70 cm.
- Repetir 4 veces la operación anterior, escarificando ligeramente la superficie compactada antes de agregar una nueva capa.
- Al compactar la última capa quedo un pequeño exceso del material por sobre el borde, lo que se retiró cuidadosamente el collar ajustado y se enraso la superficie del molde con una regla metálica.
- Pesar el molde (con la placa) y el suelo y restar la masa del primero, obteniendo así la masa compactada (M). Registrar aproximado a 1.0 gr.
- Se retiró el material del molde y se extrajo dos muestras representativas del suelo compactado. Para así obtener la humedad de cada uno de ellos y registrar la humedad del suelo compactado como el promedio de ambas.
- Se repitió las operaciones anteriores, hasta que haya un decrecimiento en la densidad húmeda del suelo.

Este ensayo se realizó para cada una de las Cuatro (04) muestras extraídas mediante calicatas de la trocha que une el Anexo San Juanito con la Villa Guadalupito.



3.3.6. Ensayo de California Bering Ratio (CBR)

A. PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO

- El procedimiento parte luego de haber encontrado su Máxima Densidad Seca y su Óptimo Contenido de Humedad correspondiente al estado natural del material en el ensayo de Proctor modificado.
- Si las muestras de ensayo van a ser sometidas a inmersión, sacar una muestra representativa del material para determinar su humedad (igual o mayor a 100 g para suelos finos y de 500 g para suelos granulares) al indicar la compactación y otra muestra de material restante, después de efectuarse la compactación.
- Si las muestras no se van a someter a inmersión, obtener la muestra para la determinación de humedad de una de las caras cortadas después de efectuar la penetración, y para ello sacar la humedad de la capa superior en un espesor de 25 mm.
- Si se desea determinar la humedad promedio sacar una muestra que comprenda toda la altura del molde.
- Colocar el disco espaciador sobre la placa base. Fijar el molde, con su collar de extensión, sobre dicha placa y colocar un disco de papel filtro grueso sobre el espaciador. Compactar el suelo húmedo en el molde de acuerdo al Proctor con el fin de obtener la humedad óptima (**W_{op}**) y la densidad máxima (**U_{dmax}**). Generalmente se utilizan como mínimo 3 muestras con 56, 25 y 10 golpes.
- Retirar el collar de extensión y enrasar cuidadosamente el suelo



compactado con la regla al nivel del borde del molde. Rellenar con material de tamaño menor cualquier hueco que pueda haber quedado en la superficie por la eliminación de material grueso.

- Sacar la placa base perforada y el disco espaciador y pesar el molde con el suelo compactado. Restar el peso del molde determinando la masa del suelo compactado (M).
- Determinar la densidad de la muestra antes de la inmersión, dividiendo la masa de suelo compactado por la capacidad volumétrica del molde (v).

$$Y_{MUESTRA} = \frac{M}{V} \rightarrow (gr/cm^3)$$

- Colocar un disco de papel filtro grueso sobre la base perforada, invertir el molde y fijarlo a la placa base, con el suelo compactado en contacto con el papel filtro.
- Colocar el vástago ajustable y la placa perforada sobre la probeta de suelo compactado y aplicar las cargas hasta producir una sobrecarga, redondeada en múltiplos de 2.27 kg y mayor o igual a 4.54 kg.
- Si la muestra va a ser sometida a inmersión, colocar el molde con las cargas en agua, permitiendo el libre acceso del agua a la parte superior e inferior de la probeta. Tomar mediciones iniciales para la expansión o asentamiento y dejar la probeta en remojo durante 96 hrs. Mantener la muestra sumergida a un nivel de agua constante durante este periodo.
- Al término del periodo de inmersión tomar las mediciones finales de la expansión y calcularla como un porcentaje de la altura inicial de la



probeta.

$$\%EXPANSIÓN = \frac{\text{expansión}}{116.4} \rightarrow \text{Expansión (mm)}$$

- Sacar el agua libre dejando drenar la probeta a través de las perforaciones de la placa base durante 15 min. Cuidar de no alterar la superficie de la probeta mientras se saca el agua superficial.
- Retira las cargas y la placa base perforada, pesar el molde con el suelo. Restar la masa del molde determinando la masa del suelo compactado después de la inmersión (M_i).
- Obtener la densidad correspondiente, dividiendo la masa de suelo compactado por la capacidad volumétrica del molde (v):

$$\gamma_{i \text{ Muestra}} = \frac{M_i}{V}$$

B. PENETRACIÓN

- Colocar sobre la probeta, la cantidad suficiente de cargas para producir una sobrecarga igual a la ejercida por el material de base y el pavimento, redondeando a múltiplos de 2.27 kg y que en ningún caso debe ser menor que 4.54 kg. Si la probeta ha sido previamente sumergida, la sobrecarga debe ser igual a la aplicada durante el periodo de inmersión.
- Para evitar el solevantamiento del suelo en la cavidad de la carga ranuradas se coloca en primer lugar la carga anular sobre la superficie del suelo, antes de apoyar el pistón de penetración, y después se colocan las cargas restantes.



- Apoyar el pistón de penetración con la carga más pequeña posible, la cual no debe exceder en ningún caso 45 N (4.5 Kgf). Colocar los calibres de tensión y deformación en cero.
- Esta carga inicial se necesita para asegurar un apoyo satisfactorio del pistón y debe considerarse como carga cero para la determinación de la relación carga-penetración.
- Aplicar la carga del pistón de penetración de manera que la velocidad de penetración sea 1.25 (mm/min) en aquellos suelos donde se demuestre a través de ensayos comparativos que el cambio de velocidad no altera los resultados del ensayo.

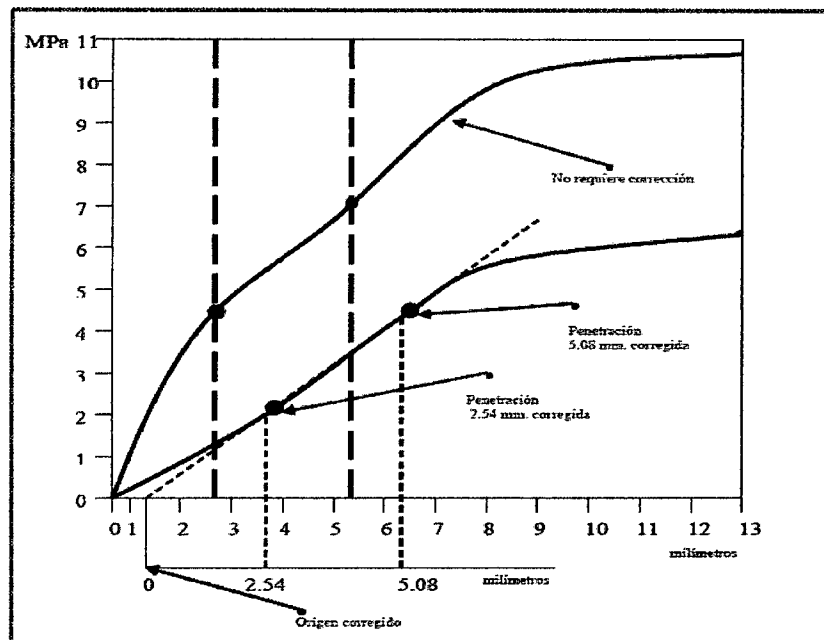
C. RESULTADOS

✓ Curvas de tensión – penetración

- Calcular las tensiones de penetración en Mega Pascales (MPA) o en (Kg/cm²).
- Para ello se traza la curva en un gráfico tensión – penetración.
- La curva puede tomar, ocasionalmente, la forma cóncava hacia arriba debido a irregularidades de superficie u otras causas. En dichos casos el punto cero debe corregirse trazando una recta tangente a la mayor pendiente de la curva y trasladando el origen al punto en que la tangente corta la abscisa.
- Obtener De la curva los valores de las tensiones necesarias para lograr una penetración de 0.1" y 0.2".



- Las curvas de tensión – penetración se dibujan en un mismo grafico para los distintos números de golpes.
- Este ensayo se realizó para cada una de las Cuatro (04) muestras extraídas mediante calicatas de la trocha que une el Anexo San Juanito con la Villa Guadalupito.



3.4. MUESTRA CON EL ESTABILIZANTE IÓNICO POLYSES.

Los siguientes ensayos fueron realizados a cada una de las Cuatro (04) muestras extraídas por cada tramo a lo largo de la trocha que une el Anexo San Juanito con la Villa Guadalupito.



3.4.1. Análisis Granulométrico Mecánico

A. Procedimiento de ensayo

- Primero se procede a realizar cuarteos sucesivos para obtener una muestra representativa del material.
- A la muestra representativa se le sometió a un proceso de secado al medio ambiente, posteriormente se tomó una porción en gramos mostrada en el Anexo N°01.
- Se lleva la muestra al juego de tamices los que siguen un orden decreciente desde la malla de 3" en la parte superior hasta la malla N° 200 en la parte inferior, colocando la cazoleta y la tapa.
- Se procede a la agitación del juego de tamices contenidos de la muestra, de arriba hacia abajo, en un periodo no menor de 15 minutos.
- Concluido satisfactoriamente el proceso anterior, se inicia el pesado de la porción de muestra retenida en los distintos tamices, con una aproximación de 0.1 gr.
- Se procede con los cálculos matemáticos de los porcentajes retenidos parciales, porcentajes retenidos acumulados, porcentajes que pasan y la elaboración de la gráfica granulométrica, comparando los resultados con las normas del ASTM-D 421, para cada una de las 4 muestras.

$$\%_{\text{Retenidos Parciales}} = \frac{\text{Peso Retenido Parcial por Tamiz}}{\text{Peso Seco total}} \times 100$$



Este ensayo se realizó para cada una de las Cuatro (04) muestras extraídas mediante calicatas de la trocha que une el anexo san Juanito con la Villa Guadalupe.

B. De los resultados hallados

(Los resultados de los ensayos del material con el Estabilizante Iónico Polyses se encuentran en el Anexo N°01)

3.4.2. Límites de Consistencia de Atterberg

A. Procedimiento de Ensayo Limite Liquido

- Se procedió a tomar una muestra de ensayo la que debe ser igual o mayor de 100gr.
- Del material que pasa el tamiz N° 40, se mezcla con agua formando una pasta con la ayuda de la espátula y un plato.
- Se coloca el aparato del límite líquido sobre una base firme y se deposita una mezcla de 50 gr. del material preparado previamente, para luego alisar la superficie con la espátula, de modo que la altura obtenida en el centro sea de 10 mm.
- La pasta que fue colocada sobre la copa de Casagrande nivelada con la espátula es dividida en dos partes iguales por el acanalador.
- Cuando se tiene el surco se gira la manivela del aparato con una frecuencia de 2 golpes por segundo, contando el número de golpes necesarios para que la ranura cierre en 10 mm. de longitud del fondo de ella.



- Posteriormente se toman 10 gr. del material que se junta en el fondo del surco para determinar su contenido de humedad.
- Este ensayo se realizó para cada una de las Cuatro (04) muestras extraídas mediante calicatas de la trocha que une el anexo San Juanito con la Villa Guadalupito.

B. Procedimiento de Ensayo Limite Plástico

La muestra de ensayo se prepara de manera idéntica a la descrita en el límite líquido, o bien puede usarse la misma muestra que se usó en ese ensayo, en la etapa en que la pasta de suelo se vuelva lo suficientemente plástica para moldearla como una esfera.

- Se toma una porción de suelo de aproximadamente 1 cm³, se amasa entre las manos y se hace rodar con la palma de la mano, por sobre la superficie de amasado, formando un cilindro.
- Cuando se alcanza un diámetro aproximado a 3mm. se dobla y amasa nuevamente, para volver a formar el cilindro, lo que se repite hasta que el cilindro se disgregue al llegar al diámetro de 3mm. en trozos de tamaños de 0.5 a 1 cm. de largo y no pueda ser amasado ni reconstruido.
- El contenido de humedad que tiene el suelo en ese momento representa el límite plástico, el cual se determina colocando las fracciones de suelo en un recipiente, secándolas al horno.
- Este ensayo se realizó para cada una de las Cuatro (04) muestras extraídas mediante calicatas de la trocha que une el anexo san Juanito con la Villa Guadalupito.



3.4.3. Ensayos de Compactación o Proctor Modificado.

Se proporciona 3 métodos alternativos. El método usado debe ser indicado en las especificaciones del material a ser ensayado. Si el método no está especificado, la elección se basará en la gradación del material.

METODO "A"

- Molde : 4 pulg de diámetro (101.6 mm)
- Material :Se emplea el que pasa por el tamiz N°4 (4.75 mm)
- Capas : 5
- Golpes por capa :25
- Uso: Cuando el 20% o menos del peso del material es retenido en el tamiz N°4 (4.75 mm).
- Otros Usos: Si el método no es especificado; los materiales que cumplen éstos requerimientos de gradación pueden ser ensayados usando B Ó C.

METODO "B"

- Molde : 4 pulg de diámetro (101.6 mm)
- Material: Se emplea el que pasa por el tamiz de 3/8 pulg (9.5 mm).
- Capas : 5
- Golpes por capa :25
- Uso: Cuando más del 20% del peso del material es retenido en el tamiz N°4(4.75 mm) y 20% ó menos de peso del material es retenido en el tamiz 3/8 pulg (9.5 mm).



- Otros Usos: Si el método no es especificado, y los materiales entran en los requerimientos de gradación pueden ser ensayados usando Método C.

METODO "C"

- Molde : 6 pulg de diámetro (152.4 mm)
- Material: Se emplea el que pasa por el tamiz de 3/4 pulg (19.0 mm).
- Capas : 5
- Golpes por capa : 56
- Uso: Cuando más del 20% en peso del material se retiene en el tamiz 3/8 pulg (9.53 mm) y menos de 30% en peso es retenido en el tamiz ¾ pulg (19.0 mm).

A. Procedimiento de Ensayo

- Primero se determina con que método deberá trabajarse el Proctor modificado, lo que dio como resultado:
 - Para la Muestra N°01 se utilizara el Método "A"
 - Para la Muestra N°02 se utilizara el Método "A"
 - Para la Muestra N°03 se utilizara el Método "A"
 - Para la Muestra N°04 se utilizara el Método "A"
- Para permitir un mínimo de 4 determinaciones de punto de la curva de compactación, dos bajo la humedad óptima y dos sobre ellas, se procede a secar al aire una cantidad aproximada de 5000 gr.
- Se mezcla cada porción del suelo, con agua para llevarlo al contenido



de humedad deseado, considerando el agua contenido en la muestra.

- Se pesa el molde y su base. Se coloca el collar ajustable sobre el molde.
- Colocar una capa de material aproximadamente $1/5$ de la altura del molde más el collar. Compactar la capa con el número de golpes de acuerdo al método utilizado, las cuales deben ser uniformemente distribuidos en el molde con un pisón de 4.5kg con una altura de caída de 45.70 cm.
- Repetir 4 veces la operación anterior, escarificando ligeramente la superficie compactada antes de agregar una nueva capa.
- Al compactar la última capa quedo un pequeño exceso del material por sobre el borde, lo que se retiró cuidadosamente el collar ajustado y se enraso la superficie del molde con una regla metálica.
- Pesar el molde (con la placa) y el suelo y restar la masa del primero, obteniendo así la masa compactada (M). Registrar aproximado a 1.0 gr.
- Se retiró el material del molde y se extrajo dos muestras representativas del suelo compactado. Para así obtener la humedad de cada uno de ellos y registrar la humedad del suelo compactado como el promedio de ambas.
- Se repitió las operaciones anteriores, hasta que haya un decrecimiento en la densidad húmeda del suelo.

Este ensayo se realizó para cada una de las Cuatro (04) muestras extraídas



mediante calicatas de la trocha que une el anexo san Juanito con la Villa Guadalupe.

3.4.4. Ensayo de California Bering Ratio (CBR)

A. PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO

- El procedimiento parte luego de haber encontrado su Máxima Densidad Seca y su Óptimo Contenido de Humedad correspondiente al estado natural del material en el ensayo de Proctor modificado.
- Si las muestras de ensayo van a ser sometidas a inmersión, sacar una muestra representativa del material para determinar su humedad (igual o mayor a 100 g para suelos finos y de 500 g para suelos granulares) al indicar la compactación y otra muestra de material restante, después de efectuarse la compactación.
- Si las muestras no se van a someter a inmersión, obtener la muestra para la determinación de humedad de una de las caras cortadas después de efectuar la penetración, y para ello sacar la humedad de la capa superior en un espesor de 25 mm.
- Si se desea determinar la humedad promedio sacar una muestra que comprenda toda la altura del molde.
- Colocar el disco espaciador sobre la placa base. Fijar el molde, con su collar de extensión, sobre dicha placa y colocar un disco de papel filtro grueso sobre el espaciador. Compactar el suelo húmedo en el molde de acuerdo al Proctor con el fin de obtener la humedad óptima (Wop)



y la densidad máxima (ρ_{dmax}). Generalmente se utilizan como mínimo 3 muestras con 56, 25 y 10 golpes.

- Retirar el collar de extensión y enrasar cuidadosamente el suelo compactado con la regla al nivel del borde del molde. Rellenar con material de tamaño menor cualquier hueco que pueda haber quedado en la superficie por la eliminación de material grueso.
- Sacar la placa base perforada y el disco espaciador y pesar el molde con el suelo compactado. Restar el peso del molde determinando la masa del suelo compactado (M).
- Determinar la densidad de la muestra antes de la inmersión, dividiendo la masa de suelo compactado por la capacidad volumétrica del molde (v).

$$\gamma_{MUESTRA} = \frac{M}{V} \rightarrow (gr/cm^3)$$

- Colocar un disco de papel filtro grueso sobre la base perforada, invertir el molde y fijarlo a la placa base, con el suelo compactado en contacto con el papel filtro.
- Colocar el vástago ajustable y la placa perforada sobre la probeta de suelo compactado y aplicar las cargas hasta producir una sobrecarga, redondeada en múltiplos de 2.27 kg y mayor o igual a 4.54 kg.
- Si la muestra va a ser sometida a inmersión, colocar el molde con las cargas en agua, permitiendo el libre acceso del agua a la parte superior e inferior de la probeta. Tomar mediciones iniciales para la expansión



o asentamiento y dejar la probeta en remojo durante 96 hrs.

Mantener la muestra sumergida a un nivel de agua constante durante este periodo.

- Al término del periodo de inmersión tomar las mediciones finales de la expansión y calcularla como un porcentaje de la altura inicial de la probeta.

$$\%EXPANSIÓN = \frac{\text{expansión}}{116.4} \rightarrow \text{Expansión (mm)}$$

- Sacar el agua libre dejando drenar la probeta a través de las perforaciones de la placa base durante 15 min. Cuidar de no alterar la superficie de la probeta mientras se saca el agua superficial.
- Retira las cargas y la placa base perforada, pesar el molde con el suelo. Restar la masa del molde determinando la masa del suelo compactado después de la inmersión (M_i).
- Obtener la densidad correspondiente, dividiendo la masa de suelo compactado por la capacidad volumétrica del molde (v):

$$\gamma_{i \text{ Muestra}} = \frac{M_i}{V}$$

B. PENETRACIÓN

- Colocar sobre la probeta, la cantidad suficiente de cargas para producir una sobrecarga igual a la ejercida por el material de base y el pavimento, redondeando a múltiplos de 2.27 kg y que en ningún caso



debe ser menor que 4.54 kg. Si la probeta ha sido previamente sumergida, la sobrecarga debe ser igual a la aplicada durante el periodo de inmersión.

- Para evitar el solevantamiento del suelo en la cavidad de la carga ranuradas se coloca en primer lugar la carga anular sobre la superficie del suelo, antes de apoyar el pistón de penetración, y después se colocan las cargas restantes.
- Apoyar el pistón de penetración con la carga más pequeña posible, la cual no debe exceder en ningún caso 45 N (4.5 Kgf). Colocar los calibres de tensión y deformación en cero.
- Esta carga inicial se necesita para asegurar un apoyo satisfactorio del pistón y debe considerarse como carga cero para la determinación de la relación carga-penetración.
- Aplicar la carga del pistón de penetración de manera que la velocidad de penetración sea 1.25 (mm/min) en aquellos suelos donde se demuestre a través de ensayos comparativos que el cambio de velocidad no altera los resultados del ensayo.

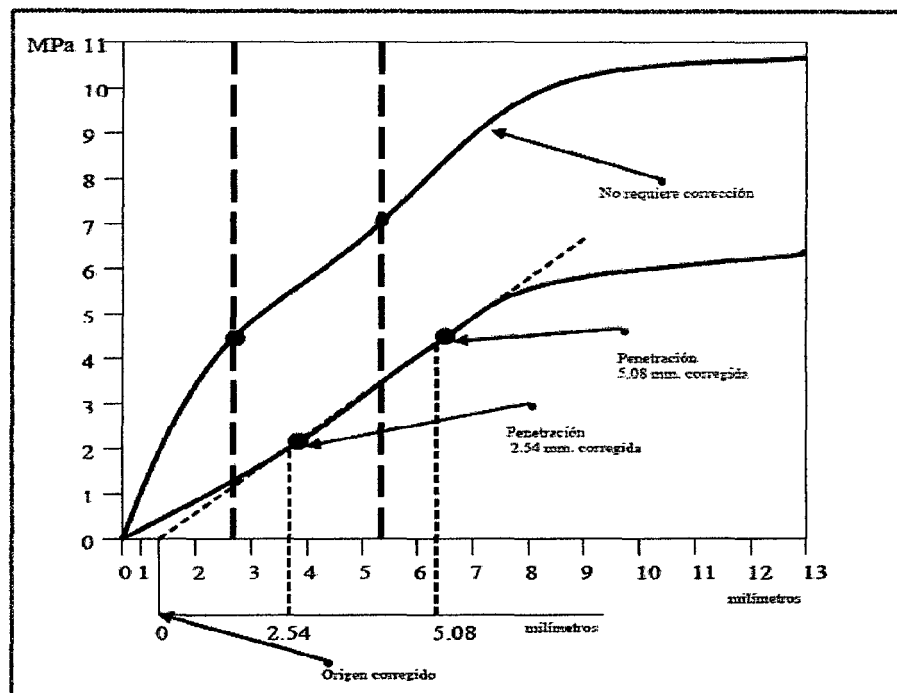
C. RESULTADOS

✓ Curvas de tensión – penetración

- Calcular las tensiones de penetración en Mega Pascales (MPA) o en (Kg/cm²).
- Para ello se traza la curva en un gráfico tensión – penetración.



- La curva puede tomar, ocasionalmente, la forma cóncava hacia arriba debido a irregularidades de superficie u otras causas. En dichos casos el punto cero debe corregirse trazando una recta tangente a la mayor pendiente de la curva y trasladando el origen al punto en que la tangente corta la abscisa.
- Obtener De la curva los valores de las tensiones necesarias para lograr una penetración de 0.1" y 0.2".
- Las curvas de tensión – penetración se dibujan en un mismo grafico para los distintos números de golpes.
- Este ensayo se realizó para cada una de las Cuatro (04) muestras extraídas mediante calicatas de la trocha que une el Anexo San Juanito con la Villa Guadalupito.





CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN



CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS REALIZADOS

En este capítulo se presentan los resultados del proceso de investigación realizados en el laboratorio de Mecánica de Suelos, los cuales están expresados en cuadros de resumen.

El detallado proceso de los ensayos de mecánica de suelos se detalla en el Capítulo III y en el Anexo 01, en donde se proporciona toda la información necesaria para la obtención de los valores y resultados que se expresan de manera resumida en este capítulo.

4.2. RESULTADO DE LOS ENSAYOS REALIZADOS EN LAS MUESTRAS DE LA TROCHA QUE UNE EL ANEXO SAN JUANITO CON LA VILLA GUADALUPITO.

A. Ensayo de los materiales en estado natural :

El resultado de los ensayos realizados en estado natural se encuentra en los siguientes cuadros:

- **CUADRO N° 4.2.1.** Resultado de ensayos en estado natural (Calicata N°01).
- **CUADRO N° 4.2.3.** Resultado de ensayos en estado natural (Calicata N°02).
- **CUADRO N° 4.2.5.** Resultado de ensayos en estado natural (Calicata N°03).
- **CUADRO N° 4.2.7.** Resultado de ensayos en estado natural (Calicata N°04).



B. Ensayo del material utilizando el estabilizante iónico Polyses.

El resultado de los ensayos realizados se encuentra en los siguientes cuadros:

- **CUADRO N° 4.2.2.** Resultado de ensayos con el estabilizante iónico Polyses (Calicata N°01).
- **CUADRO N° 4.2.4.** Resultado de ensayos con el estabilizante iónico Polyses (Calicata N°02).
- **CUADRO N° 4.2.6.** Resultado de ensayos con el estabilizante iónico Polyses (Calicata N°03).
- **CUADRO N° 4.2.8.** Resultado de ensayos con el estabilizante iónico Polyses (Calicata N°04).
- Los detallados ensayos de mecánica de suelos se ubican en el Anexo N° 01.

CUADRO N° 4.2.1: RESULTADO DE ENSAYOS EN ESTADO NATURAL (CALICATA N°01)

CALICATA N°01				
N°	NOMBRE DE ENSAYOS REALIZADOS	NORMATIVA PERUANA	DESCRIPCIÓN	RESULTADOS
01	CLASIFICACION DE SUELOS MEDIANTE EL ANALISIS GRANULOMETRICO	MTC E 107-2000	SUCS	ML
			AASHTO	A-4
			CONTENIDO DE HUMEDAD	14.32%
02	LÍMITE DE CONSISTENCIA DE ATTERBERG	MTC E 110-2000 MTC E 111-2000	LÍMITE LÍQUIDO	23.40 %
			ÍNDICE DE PLASTICIDAD	N.P
03	ENSAYO DE COMPACTACION PROCTOR MODIFICADO	MTC E 115-2000	MÁXIMA DENSIDAD SECA	1.810 gr/cm ³
			ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD	13.00%
04	ENSAYO DE CALIFORNIA BEARING RATIO(CBR)	MTC E 132-2000	C.B.R.(100% MDS) 0.1"	3.50 %
			C.B.R.(95% M.D.S) 0.1"	2.60 %



**CUADRO Nº 4.2.2: RESULTADO DE ENSAYOS CON EL ESTABILIZANTE IONICO
 POLYSES (CALICATA Nº01)**

CALICATA Nº01				
Nº	NOMBRE DE ENSAYOS REALIZADOS	NORMATIVA PERUANA	DESCRIPCIÓN	RESULTADOS
02	LÍMITE DE CONSISTENCIA DE ATTERBERG	MTC E 110-2000	LÍMITE LÍQUIDO	21.22 %
		MTC E 111-2000	ÍNDICE DE PLASTICIDAD	N.P
03	ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO	MTC E 115-2000	MÁXIMA DENSIDAD SECA	2.047 gr/cm ³
			ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD	11.22 %
04	ENSAYO DE CALIFORNIA BEARING RATIO(CBR)	MTC E 132-2000	C.B.R.(100% MDS.) 0.1"	57.00 %
			C.B.R.(95% M.D.S) 0.1"	43.00 %

CUADRO Nº 4.2.3: RESULTADO DE ENSAYOS EN ESTADO NATURAL (CALICATA Nº02)

CALICATA 02				
Nº	NOMBRE DE ENSAYOS REALIZADOS	NORMATIVA PERUANA	DESCRIPCIÓN	RESULTADOS
01	CLASIFICACIÓN DE SUELOS MEDIANTE EL ANALISIS GRANULOMÉTRICO	MTC E 107-2000	SUCS	CL
			AASHTO	A-4
			CONTENIDO DE HUMEDAD	13.87%
02	LÍMITE DE CONSISTENCIA DE ATTERBERG	MTC E 110-2000	LÍMITE LÍQUIDO	28.81%
		MTC E 111-2000	ÍNDICE DE PLASTICIDAD	10.36 %
03	ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO	MTC E 115-2000	MÁXIMA DENSIDAD SECA	1.844 gr/cm ³
			ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD	11.80 %
04	ENSAYO DE CALIFORNIA BEARING RATIO(CBR)	MTC E 132-2000	C.B.R.(100% MDS.) 0.1"	7.50 %
			C.B.R.(95% M.D.S) 0.1"	6.30 %



CUADRO Nº 4.2.4: RESULTADO DE ENSAYOS CON EL ESTABILIZANTE IONICO POLYSES (CALICATA Nº02)

CALICATA 02				
Nº	NOMBRE DE ENSAYOS REALIZADOS	NORMATIVA PERUANA	DESCRIPCIÓN	RESULTADOS
02	LÍMITE DE CONSISTENCIA DE ATTERBERG	MTC E 110-2000	LÍMITE LÍQUIDO	27.30 %
		MTC E 111-2000	ÍNDICE DE PLASTICIDAD	5.58 %
03	ENSAYO DE COMPACTACION PROCTOR MODIFICADO	MTC E 115-2000	MÁXIMA DENSIDAD SECA	2.035 gr/cm ³
			ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD	11.60 %
04	ENSAYO DE CALIFORNIA BEARING RATIO(CBR)	MTC E 132-2000	C.B.R.(100% MDS.) 0.1"	61.00 %
			C.B.R.(95% M.D.S) 0.1"	53.00 %

CUADRO Nº 4.2.5: RESULTADO DE ENSAYOS EN ESTADO NATURAL (CALICATA Nº03)

CALICATA 03				
Nº	NOMBRE DE ENSAYOS REALIZADOS	NORMATIVA PERUANA	DESCRIPCIÓN	RESULTADOS
01	CLASIFICACIÓN DE SUELOS MEDIANTE EL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO	MTC E 107-2000	SUCS	CL
			AASHTO	A-4
			CONTENIDO DE HUMEDAD	14.17%
02	LÍMITE DE CONSISTENCIA DE ATTERBERG	MTC E 110-2000	LÍMITE LÍQUIDO	29.50 %
		MTC E 111-2000	ÍNDICE DE PLASTICIDAD	11.89 %
03	ENSAYO DE COMPACTACION PROCTOR MODIFICADO	MTC E 115-2000	MÁXIMA DENSIDAD SECA	1.817 gr/cm ³
			ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD	12.95 %
04	ENSAYO DE CALIFORNIA BEARING RATIO(CBR)	MTC E 132-2000	C.B.R.(100% MDS.) 0.1"	7.55 %
			C.B.R.(95% M.D.S) 0.1"	5.90 %



**CUADRO Nº 4.2.6: RESULTADO DE ENSAYOS CON EL ESTABILIZANTE IÓNICO POLYSES
 (CALICATA Nº03)**

CALICATA 03				
Nº	NOMBRE DE ENSAYOS REALIZADOS	NORMATIVA PERUANA	DESCRIPCIÓN	RESULTADOS
02	LÍMITE DE CONSISTENCIA DE ATTERBERG	MTC E 110-2000	LÍMITE LÍQUIDO	28.50 %
		MTC E 111-2000	ÍNDICE DE PLASTICIDAD	-5.52 %
03	ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO	MTC E 115-2000	MÁXIMA DENSIDAD SECA	2.056 gr/cm ³
			ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD	10.78 %
04	ENSAYO DE CALIFORNIA BEARING RATIO(CBR)	MTC E 132-2000	C.B.R.(100% MDS.) 0.1"	70.90 %
			C.B.R.(95% M.D.S) 0.1"	66.00 %

CUADRO Nº 4.2.7: RESULTADO DE ENSAYOS EN ESTADO NATURAL (CALICATA Nº04)

CALICATA 04				
Nº	NOMBRE DE ENSAYOS REALIZADOS	NORMATIVA PERUANA	DESCRIPCIÓN	RESULTADOS
01	CLASIFICACIÓN DE SUELOS MEDIANTE EL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO	MTC E 107-2000	SUCS	CL
			AASHTO	A-6
			CONTENIDO DE HUMEDAD	29.54 %
02	LÍMITE DE CONSISTENCIA DE ATTERBERG	MTC E 110-2000	LÍMITE LÍQUIDO	29.25 %
		MTC E 111-2000	ÍNDICE DE PLASTICIDAD	11.05 %
03	ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO	MTC E 115-2000	MÁXIMA DENSIDAD SECA	1.816 gr/cm ³
			ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD	12.85 %
04	ENSAYO DE CALIFORNIA BEARING RATIO(CBR)	MTC E 132-2000	C.B.R.(100% MDS.) 0.1"	10.90 %
			C.B.R.(95% M.D.S) 0.1"	9.30 %



CUADRO Nº 4.2.68: RESULTADO DE ENSAYOS CON EL ESTABILIZANTE IÓNICO POLYSES (CALICATA N°04)

CALICATA 04				
N°	NOMBRE DE ENSAYOS REALIZADOS	NORMATIVA PERUANA	DESCRIPCIÓN	RESULTADOS
02	LÍMITE DE CONSISTENCIA DE ATTERBERG	MTC E 110-2000	LÍMITE LÍQUIDO	28.40 %
		MTC E 111-2000	ÍNDICE DE PLASTICIDAD	6.16 %
03	ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO	MTC E 115-2000	MÁXIMA DENSIDAD SECA	2.051 gr/cm ³
			ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD	10.54 %
04	ENSAYO DE CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)	MTC E 132-2000	C.B.R.(100% MDS.) 0.1"	49.60 %
			C.B.R.(95% M.D.S) 0.1"	46.00 %

4.3. CUADROS Y GRÁFICOS COMPARATIVOS DE LOS ENSAYOS REALIZADOS EN LAS MUESTRAS DE LA TROCHA QUE UNE EL ANEXO SAN JUANITO CON LA VILLA GUADALUPITO.

Los ensayos presentados son los más relevantes, los cuales presentaremos a continuación:

RELACIÓN DE CUADROS:

- **CUADRO Nº 4.3.1:** Comparación mediante cuadros comparativos y gráficos de los Límites de Consistencia de Atterberg (Limite Líquido) entre la Norma MTC y los resultados obtenidos en estado Natural ,también comparar con los resultados obtenidos con el Estabilizante Iónico Polyses.



- **CUADRO N° 4.3.2:** Comparación de los Límites de Consistencia de Atterberg (Índice de Plasticidad) entre la norma del MTC y los resultados obtenidos en Estados Natural ,También comparar con los resultados obtenidos con el Estabilizante Iónico Polyses.
- **CUADRO N° 4.3.3:** Comparación de la MDS del Proctor Modificado entre la Norma del MTC y los resultados obtenidos en Estado Natural ,también comparar con los resultados obtenidos con el Estabilizante Iónico Polyses.
- **CUADRO N° 4.3.4:** Comparación del C.B.R. (95% M.D.S.) 0.1" entre la Norma del MTC y los resultados obtenidos en Estado Natural ,también comparar con los resultados obtenidos con el Estabilizante Iónico Polyses.
- **CUADRO N° 4.3.5:** Comparación del C.B.R. (100% M.D.S.) 0.1" con la Norma del MTC, y los resultados obtenidos en Estado Natural ,también comparar con los resultados obtenidos con el Estabilizante Iónico Polyses.

CUADROS N° 4.3.1: COMPARACIÓN DE LOS LÍMITES DE CONSISTENCIA DE ATTERBERG

CALICATA	NORMATIVA	LÍMITE LÍQUIDO		CONDICIÓN
		Rango de % según Norma	Estado Natural	
N°01	MTC E 110-2000	35 % Máx.	23.40 %	OK
N°02	MTC E 110-2000	35 % Máx.	28.81 %	OK
N°03	MTC E 110-2000	35 % Máx.	29.50 %	OK
N°04	MTC E 110-2000	35 % Máx.	29.25 %	OK

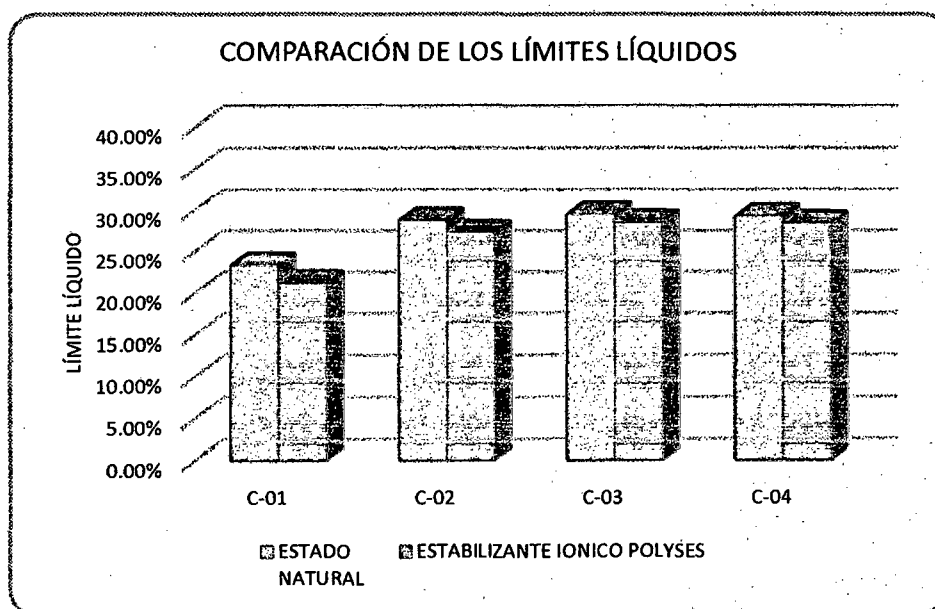


CALICATA	NORMATIVA	LÍMITE LÍQUIDO		CONDICIÓN
		Rango de % según Norma	Usando el estabilizante Polyses	
N°01	MTC E 110-2000	35 % Máx.	21.22 %	OK
N°02	MTC E 110-2000	35 % Máx.	27.30 %	OK
N°03	MTC E 110-2000	35 % Máx.	28.50 %	OK
N°04	MTC E 110-2000	35 % Máx.	28.40 %	OK

✓ CUADRO RESUMEN DE LA COMPARACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO

MUESTRA	ESTADO NATURAL	ESTABILIZANTE IÓNICO POLYSES
C-01	23.40 %	21.22 %
C-02	28.81 %	27.30 %
C-03	29.50 %	28.50 %
C-04	29.25 %	28.40 %

✓ GRÁFICO DE LA COMPARACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO EN ESTADO NATURAL VS EL ESTABILIZANTE IÓNICO POLYSES





CUADRO Nº 4.3.2: COMPARACIÓN DE LOS LÍMITES DE CONSISTENCIA DE ATTERBERG (ÍNDICE DE PLASTICIDAD)

CALICATA	NORMATIVA	ÍNDICE DE PLASTICIDAD		CONDICIÓN
		Rango de % según Norma	ESTADO NATURAL	
N°01	MTC E 111-2000	4% Min - 9% Max	N.P	MAL
N°02	MTC E 111-2000	4% Min - 9% Max	10.36 %	MAL
N°03	MTC E 111-2000	4% Min - 9% Max	11.89 %	MAL
N°04	MTC E 111-2000	4% Min - 9% Max	11.05 %	MAL

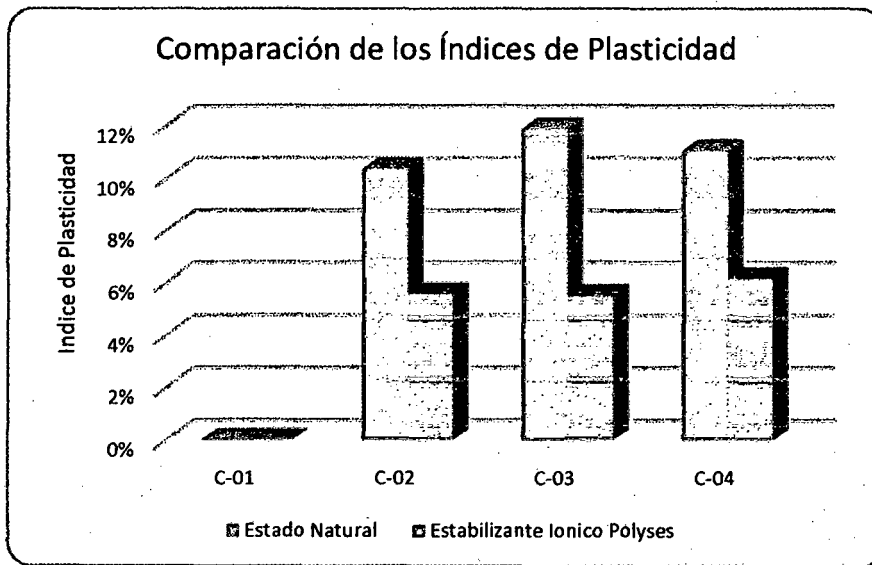
MUESTRA	NORMATIVA	ÍNDICE DE PLASTICIDAD		CONDICIÓN
		Rango de % según Norma	Usando el estabilizante Polyses	
N°01	MTC E 111-2000	4% Min - 9% Max	N.P	MAL
N°02	MTC E 111-2000	4% Min - 9% Max	5.58 %	OK
N°03	MTC E 111-2000	4% Min - 9% Max	5.52 %	OK
N°04	MTC E 111-2000	4% Min - 9% Max	6.16 %	OK

✓ **CUADRO RESUMEN DE LA COMPARACIÓN DEL ÍNDICE DE PLASTICIDAD**

MUESTRA	ESTADO NATURAL	ESTABILIZANTE IÓNICO POLYSES
C-01	0%	0%
C-02	10.36%	5.58%
C-03	11.89%	5.52%
C-04	11.05%	6.16%



✓ GRÁFICO DE LA COMPARACIÓN DEL ÍNDICE DE PLASTICIDAD EN ESTADO NATURAL VS EL ESTABILIZANTE IÓNICO POLYSES



CUADRO Nº 4.3.3: COMPARACIÓN DE LA MÁXIMA DENSIDAD SECA DEL PROCTOR MODIFICADO (gr/cm3)

CALIGATA	NORMATIVA	MDS (gr/cm3)
		ESTADO NATURAL
N°01	MTC E 115-2000	1.810
N°02	MTC E 115-2000	1.844
N°03	MTC E 115-2000	1.817
N°04	MTC E 115-2000	1.816

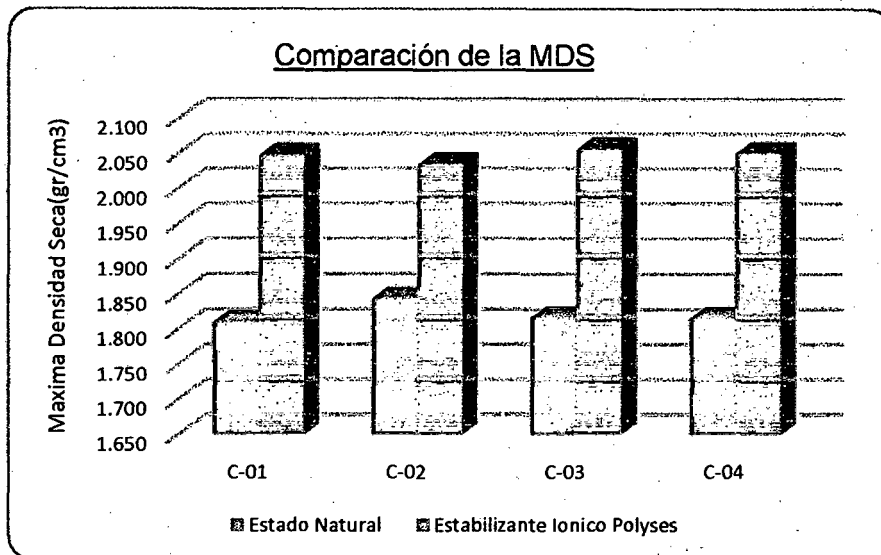
CALIGATA	NORMATIVA	MDS (gr/cm3)
		Usando el estabilizante Polyses
N°01	MTC E 115-2000	2.047
N°02	MTC E 115-2000	2.035
N°03	MTC E 115-2000	2.056
N°04	MTC E 115-2000	2.051



✓ CUADRO RESUMEN DE LA COMPARACIÓN DE LA MDS

MESTRA	ESTADO NATURAL	USANDO EL ESTABILIZANTE POLYSES
C-01	1.810	2.047
C-02	1.844	2.035
C-03	1.817	2.056
C-04	1.816	2.051

✓ GRÁFICO DE LA COMPARACIÓN DE LA MDS EN ESTADO NATURAL Y MODIFICADO POR EL ESTABILIZANTE IÓNICO POLYSES



CUADRO N° 4.3.4: COMPARACIÓN DEL CBR (95% MDS) 0.10"

CALICATA	NORMATIVA	CBR (95% MDS) 0.10"		
		% según Norma	ESTADO NATURAL	CONDICION
N°01	MTC E 132-2000	40% MAX	2.60%	MAL
N°02	MTC E 132-2000	40% MAX	6.30%	MAL
N°03	MTC E 132-2000	40% MAX	5.90%	MAL
N°04	MTC E 132-2000	40% MAX	9.30%	MAL

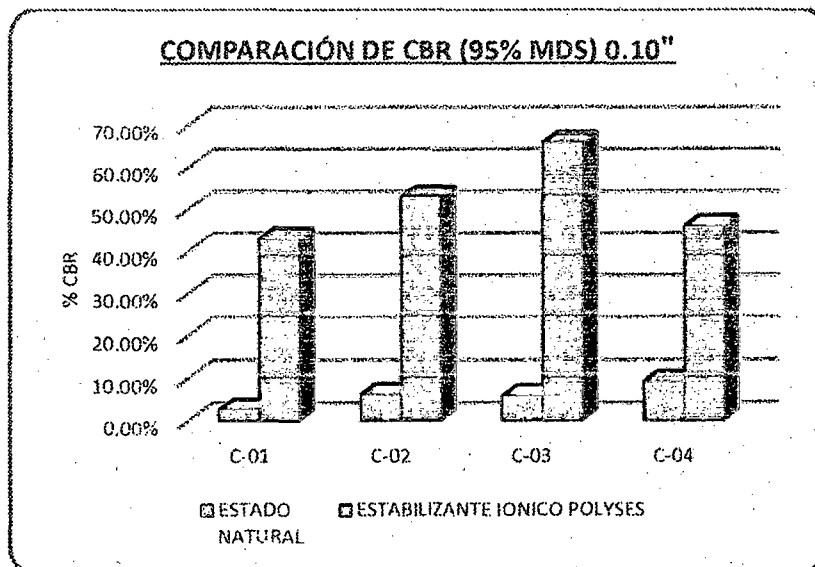


CALICATA	NORMATIVA	CBR (95% MDS) 0.10"		CONDICION
		% segun Norma	Usando el estabilizante Polyses	
N°01	MTC E 132-2000	40% MAX	43.00%	OK
N°02	MTC E 132-2000	40% MAX	53.00%	OK
N°04	MTC E 132-2000	40% MAX	66.00%	OK
N°05	MTC E 132-2000	40% MAX	46.00%	OK

✓ CUADRO RESUMEN DE LA COMPARACIÓN DEL CBR (95% MDS) 0.1"

MUESTRA	ESTADO NATURAL	ESTABILIZANTE IÓNICO POLYSES
C-01	2.60%	43.00%
C-02	6.30%	53.00%
C-03	5.90%	66.00%
C-04	9.30%	46.00%

✓ GRÁFICO DE LA COMPARACIÓN DEL CBR (95% MDS) 0.1" EN ESTADO NATURAL Y UTILIZANDO EL ESTABILIZANTE IÓNICO POLYSES





CUADRO N° 4.3.5: COMPARACIÓN DEL CBR (100% MDS) 0.10"

CALICATA	NORMATIVA	GBR (100% MDS) 0.10"		
		% según Norma	ESTADO NATURAL	CONDICION
N°01	MTC E 132-2000	40% MAX	3.50%	MAL
N°02	MTC E 132-2000	40% MAX	7.50%	MAL
N°03	MTC E 132-2000	40% MAX	7.55%	MAL
N°04	MTC E 132-2000	40% MAX	10.90%	MAL

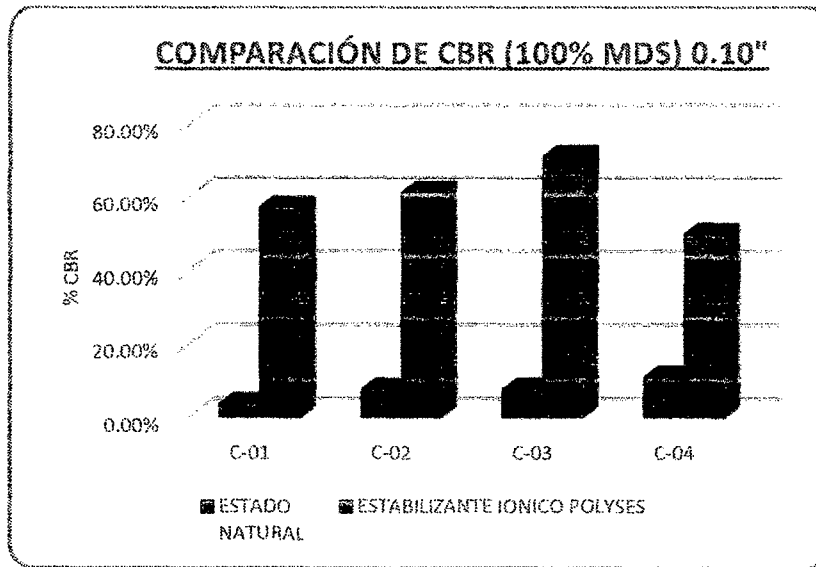
CALICATA	NORMATIVA	GBR (100% MDS) 0.10"		
		% según Norma	Usando el estabilizante Polyses	CONDICION
N°01	MTC E 132-2000	40% MAX	57.00%	OK
N°02	MTC E 132-2000	40% MAX	61.00%	OK
N°03	MTC E 132-2000	40% MAX	70.90%	OK
N°04	MTC E 132-2000	40% MAX	49.60%	OK

✓ **CUADRO RESUMEN DE LA COMPARACIÓN DEL CBR (100% MDS) 0.10"**

MUESTRA	ESTADO NATURAL	ESTABILIZANTE IÓNICO POLYSES
C-01	3.50%	57.00%
C-02	7.50%	61.00%
C-03	7.55%	70.90%
C-04	10.90%	49.60%



✓ **GRÁFICO DE LA COMPARACIÓN DEL CBR (100% MDS) 0.1" EN ESTADO NATURAL VS EL ESTABILIZANTE IÓNICO POLYSES**



4.4. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS:

El objetivo principal es probar la tecnología para la estabilización de suelos utilizando el Estabilizante iónico Polyses 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 compactadas. Por lo tanto provocará una fuerte actividad cementante formando un estrato resistente y permanente.

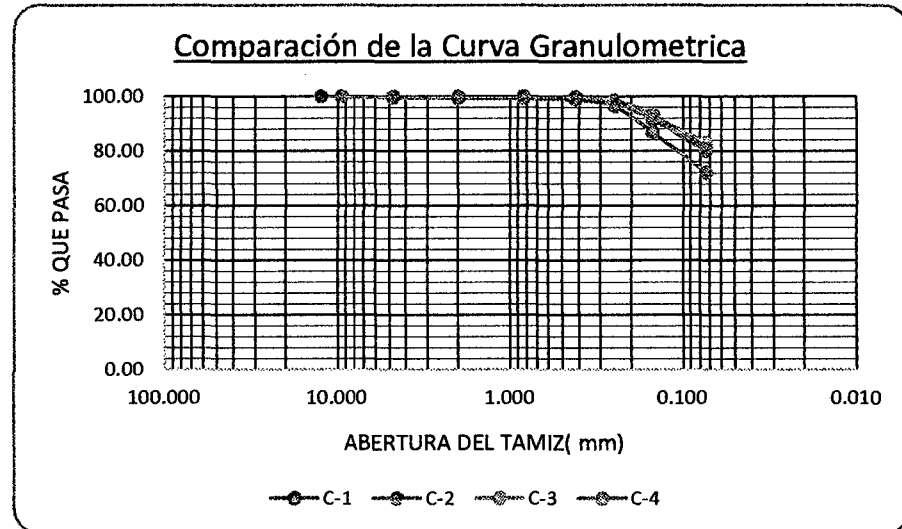
4.1.1. Resultado de ensayos mecánicos

Los ensayos mecánicos se realizaron en el Laboratorio de Ensayo de Materiales de la empresa GEOMG S.A.C (cuyo propietario es el ING. Jorge



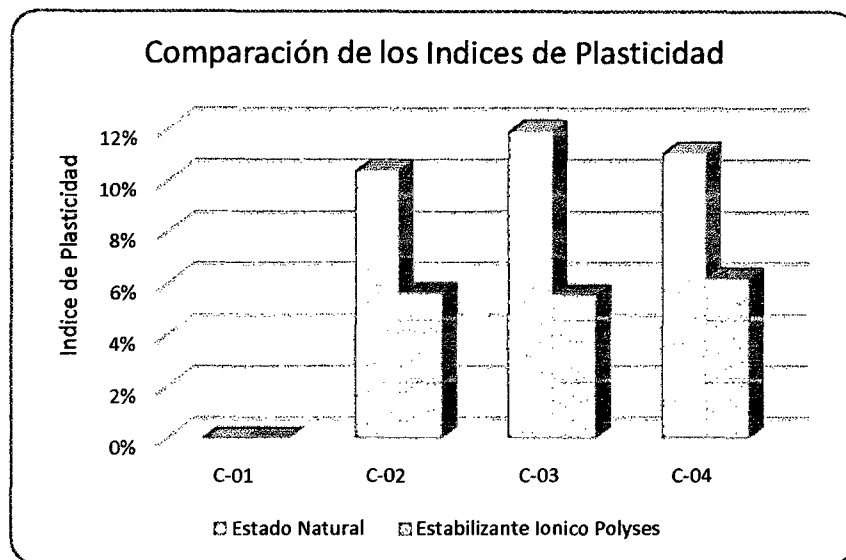
Edinson Morillo Trujillo cuyo CIP es 68738), y los resultados se presentan a continuación.

a) Granulometría





b) Límites de Atterberg (Índice de Plasticidad)



En el grafico podemos apreciar el material obtenido de las 4 calicatas ,tanto en estado natural como modificado por el aditivo, el INDICE DE PLASTICIDAD sabemos que su rango permitido de variación según la Norma del MTC es en el rango del 4% a 9 % y podemos observar en el grafico que 3 de los 4 ensayos realizados en estado Natural el porcentaje de índice de plasticidad es superior al 9% ,mientras que con la adición del estabilizante iónico Polyes se disminuye el índice de plasticidad quedando así en el Rango establecido por el MTC.

A continuación analizamos la variación del Índice de Plasticidad, solo 3 calicatas poseen índice de plasticidad (Calicata N°02, Calicata N°03, Calicata N°04).



CALICATA N°02:

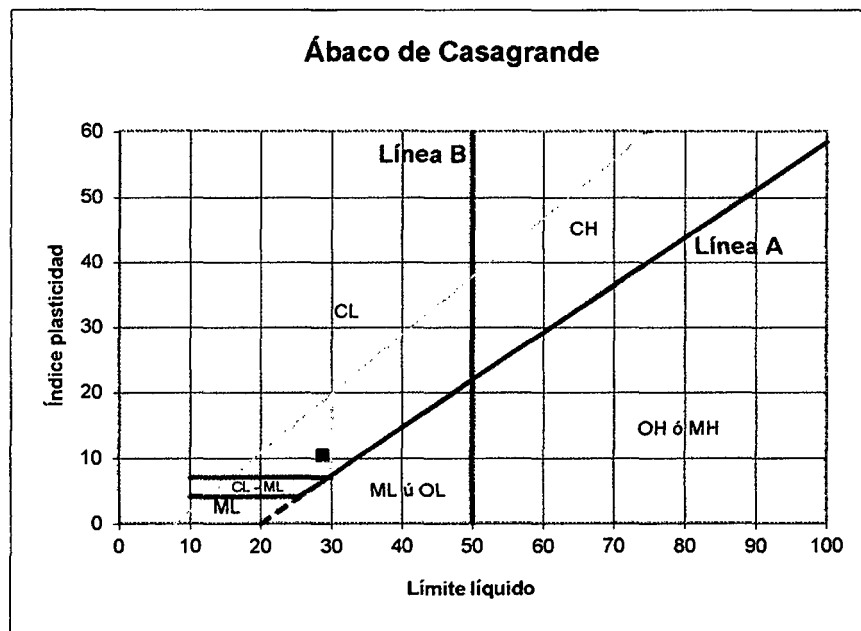
Tabla: Características de Plasticidad

CALICATA	ESTADO	CLASIFIC. SUCS	CLASIFIC. AASHTO	COLOR	Límite Líquido (%)	Límite Plástico (%)	Índice de Plasticidad (%)
C-2	Estado Natural	CL	A-4	Rojo	28.81	18.45	10.36
C-2	Estabilizante	CL	A-4	Rojo	27.30	21.72	5.58

Se observa que la adición del estabilizante disminuye la plasticidad del material obtenido en las calicatas de la trocha que une el anexo San Juanito con la Villa Guadalupe, vemos en el siguiente gráfico, el cual nos muestra la carta de Plasticidad en la que podemos apreciar la disminución del Índice de Plasticidad.

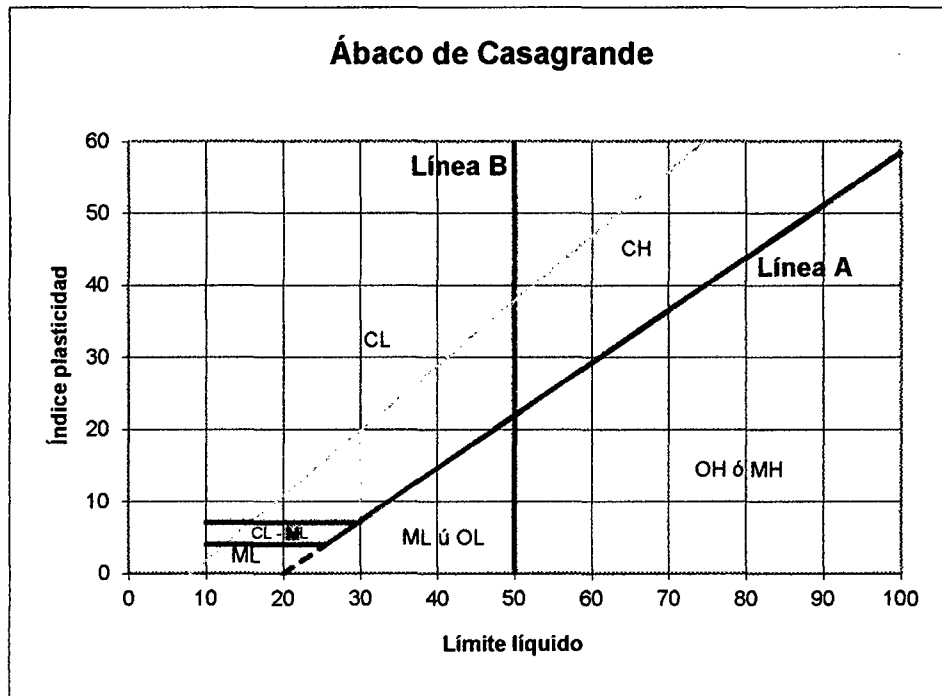
CARTA DE PLASTICIDAD (SUCS)

(Evaluación del Índice de Plasticidad del material en Estado Natural)





(Evaluación del Índice de Plasticidad del material debido al contenido del estabilizante)



CALICATA N°03:

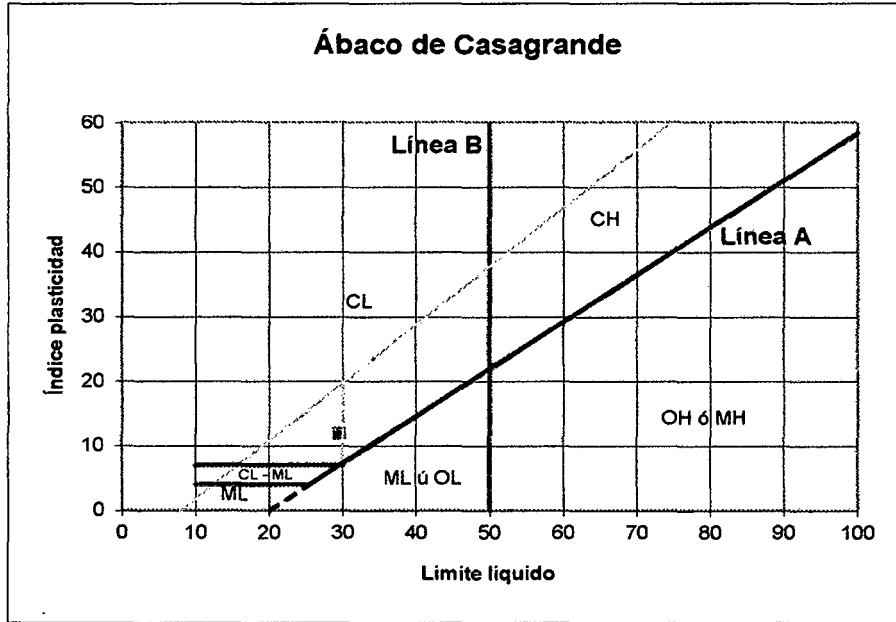
Tabla: Características de Plasticidad

CALICATA	ESTADO	CLASIFIC. SUCS	CLASIFIC. AASHTO	COLOR	Límite Líquido (%)	Límite Plástico (%)	Índice de Plasticidad (%)
C-3	Estado Natural	CL	A-4	Rojo	29.50	17.61	11.89
C-3	Estabilizante	CL	A-4	Rojo	28.50	22.98	5.52

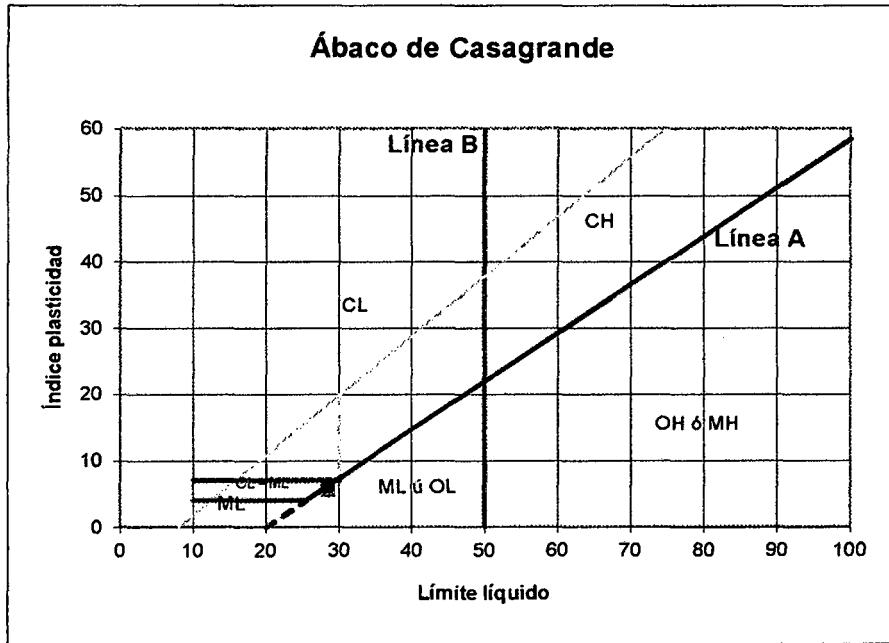


CARTA DE PLASTICIDAD (SUCS)

(Evaluación del Índice de Plasticidad del material en Estado Natural)



(Evaluación del Índice de Plasticidad del material debido al contenido del estabilizante)





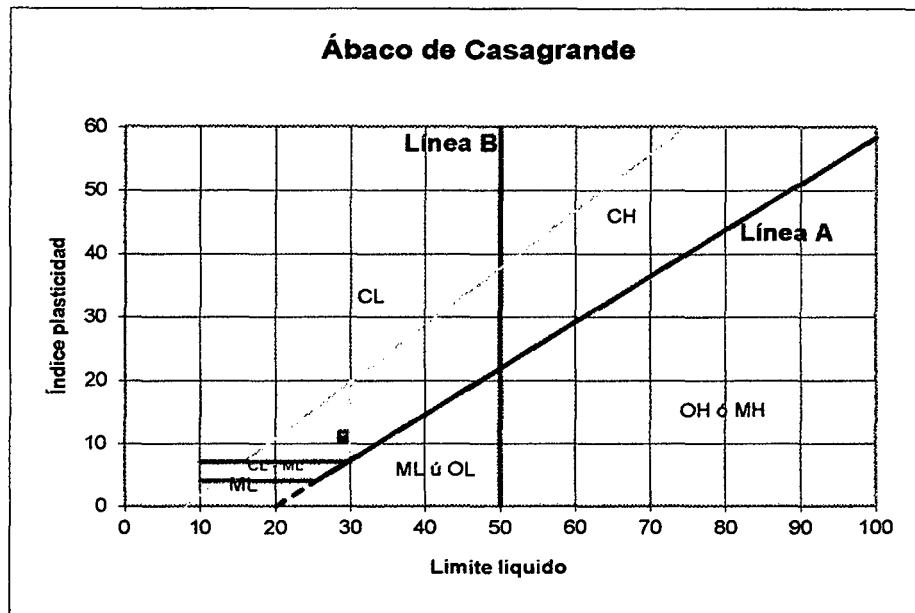
CALICATA N°04:

Tabla: Características de Plasticidad

CALICATA	ESTADO	CLASIFIC. SUCS	CLASIFIC. AASHTO	COLOR	Límite Líquido (%)	Límite Plástico (%)	Índice de Plasticidad (%)
C-4	Estado Natural	CL	A-4	Rojo	29.50	18.20	11.05
C-4	Estabilizante	CL	A-4	Rojo	28.40	22.24	6.16

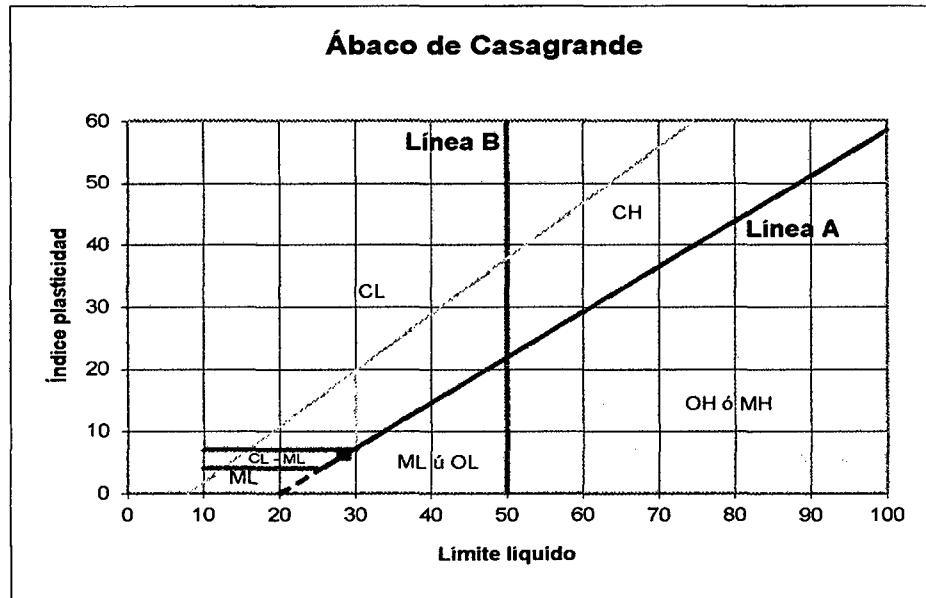
CARTA DE PLASTICIDAD (SUCS)

(Evaluación del Índice de Plasticidad del material debido a contenido del Estabilizante)





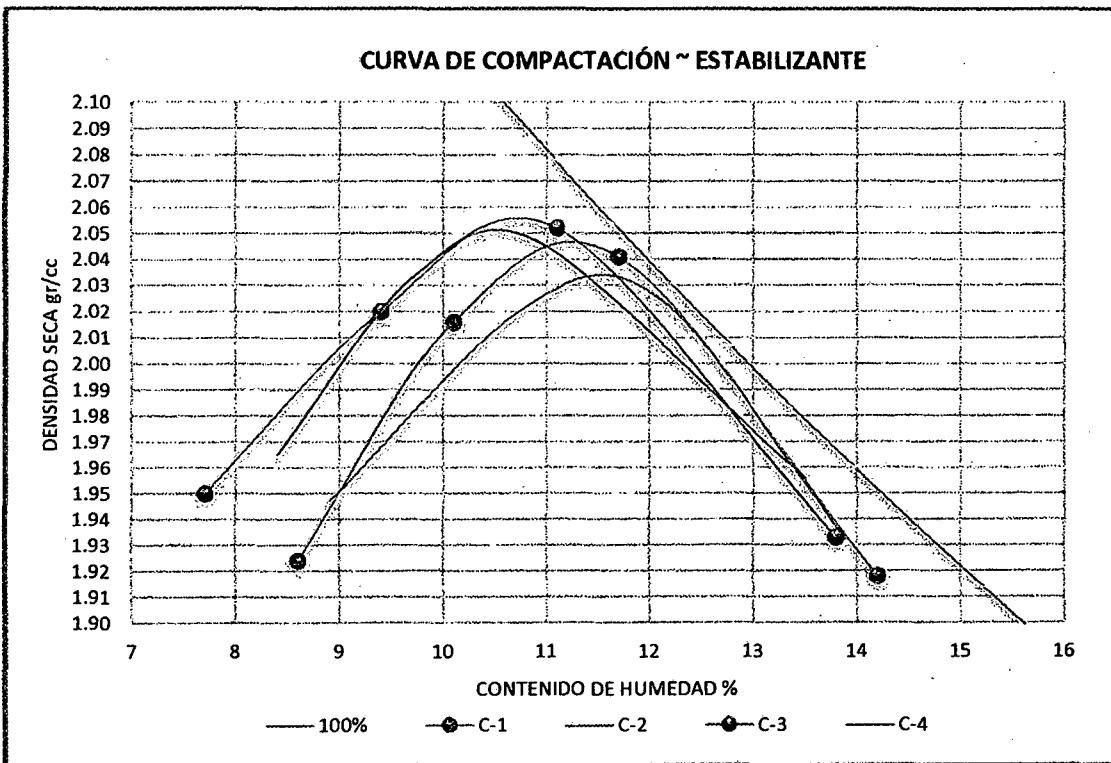
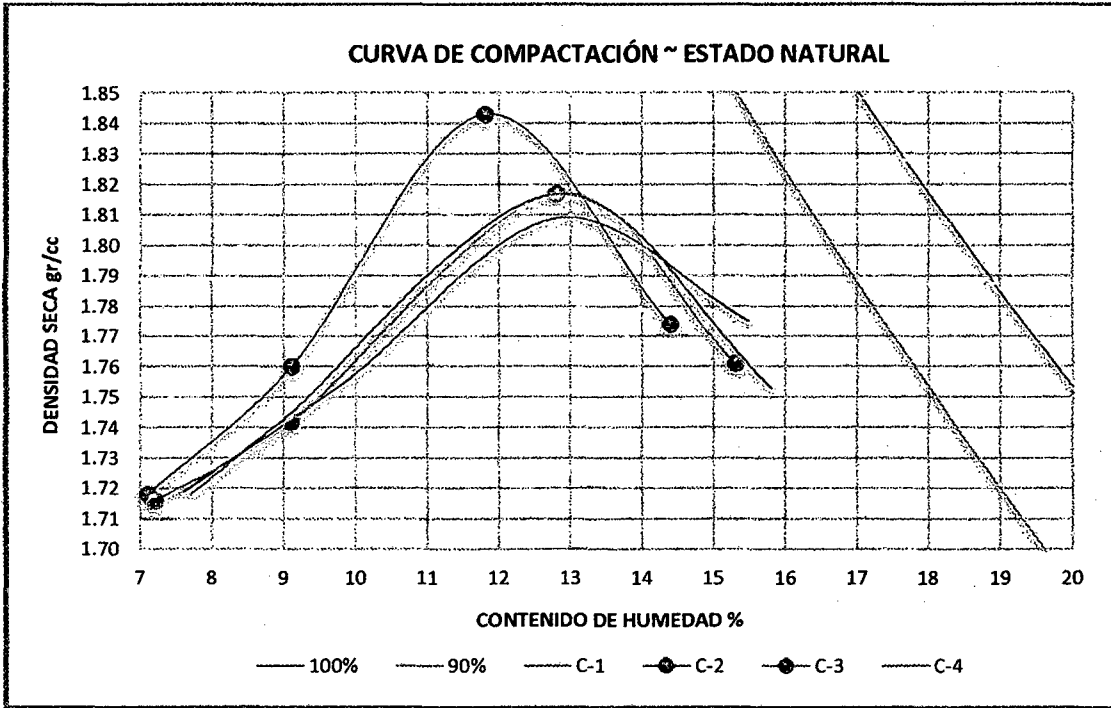
(Evaluación del Índice de Plasticidad del material debido al contenido del estabilizante)



c) Ensayo de Proctor Modificado

Para poder realizar la comparación de los ensayos mecánicos y físicos de los materiales de terreno natural con los modificados con el estabilizante iónico Polyses, se realizaron ensayos de Proctor modificado para determinar la densidad máxima seca y la humedad óptima de compactación en función de la dosificación del estabilizante.

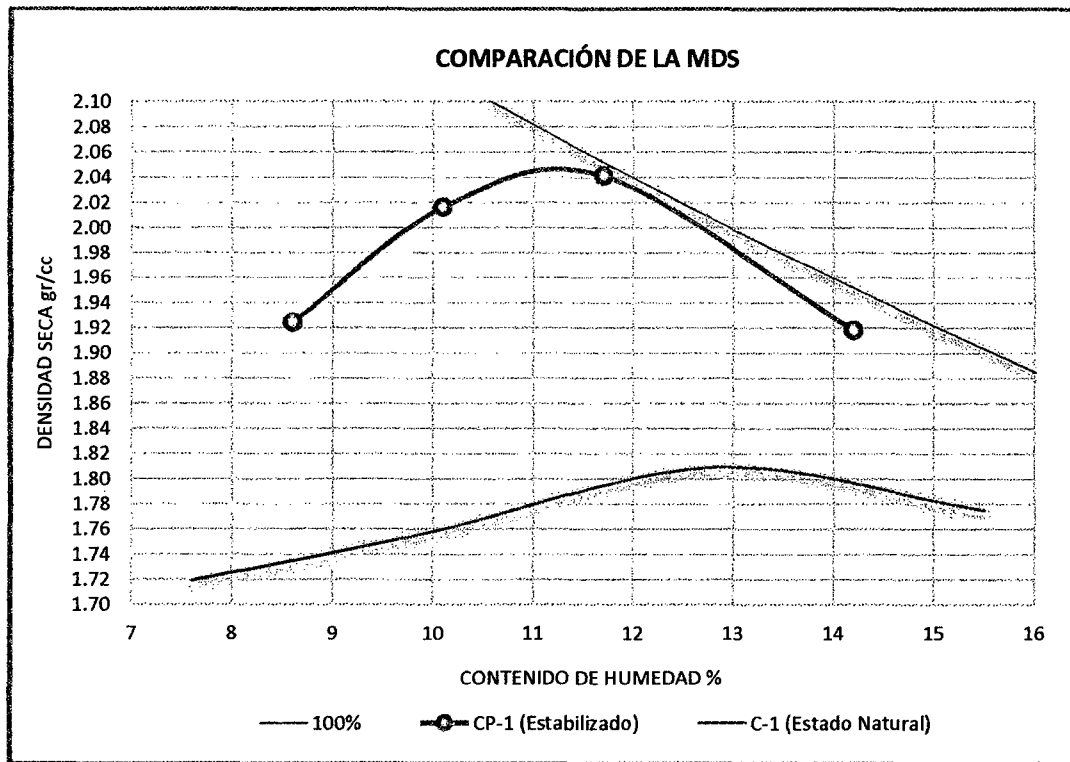
Como se puede apreciar en los dos gráficos, la adición del estabilizante iónico Polyses contribuye al aumento del Peso Volumétrico seco máximo en las 4 calicatas ensayadas, el aumento del Peso Volumétrico seco máximo se puede apreciar en cada muestra obtenida en las 4 calicatas.



A continuación vamos a analizar los resultados obtenidos para cada calicata:



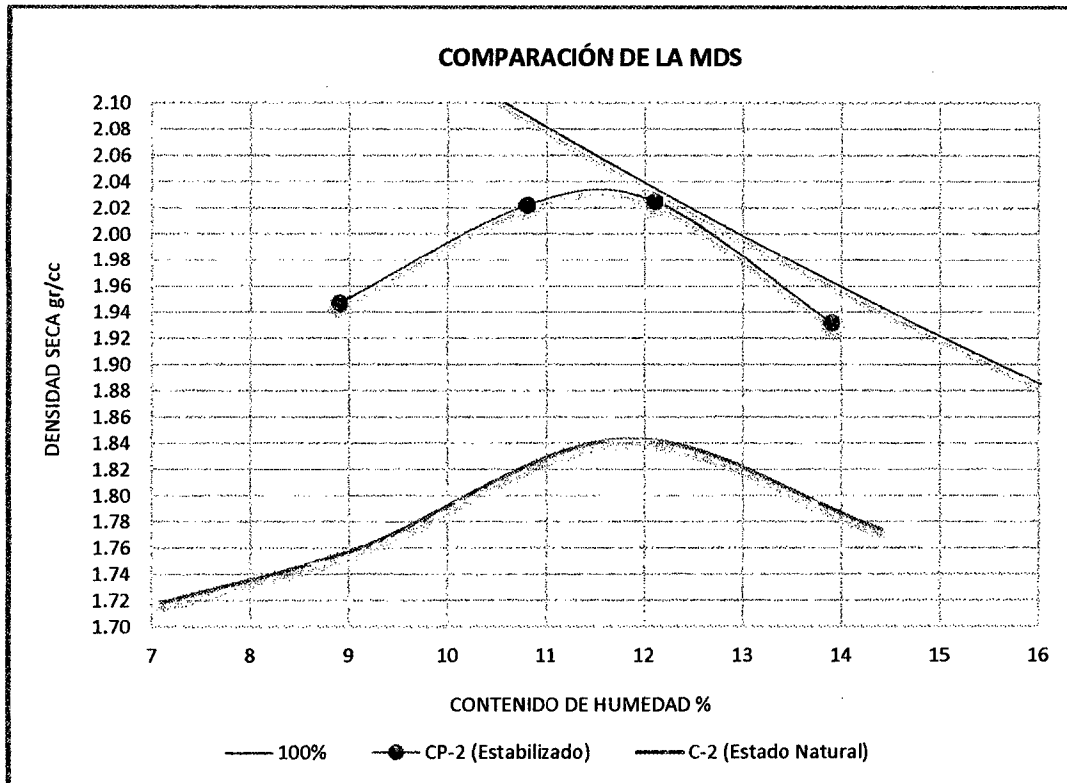
Para C-1:



- En este gráfico adjunto se presenta la influencia que tiene el estabilizante, aumentando la Máxima Densidad Seca del material ensayado de la Calicata C-1, También podemos ver en el Grafico que el Estabilizante tiene influencia en la Humedad Optima del material ensayado, modificando el material mediante el estabilizante podemos observar que se reduce su optimo contenido de humedad.
- La Máxima Densidad Seca del material en Estado Natural es de 1.810 gr/cm³ y modificado mediante el estabilizante aumentó a 2.047 gr/cm³.
- El Optimo contenido de Humedad del material en Estado Natural es de 13.00 % y modificado mediante el estabilizante disminuyó a 11.22%.



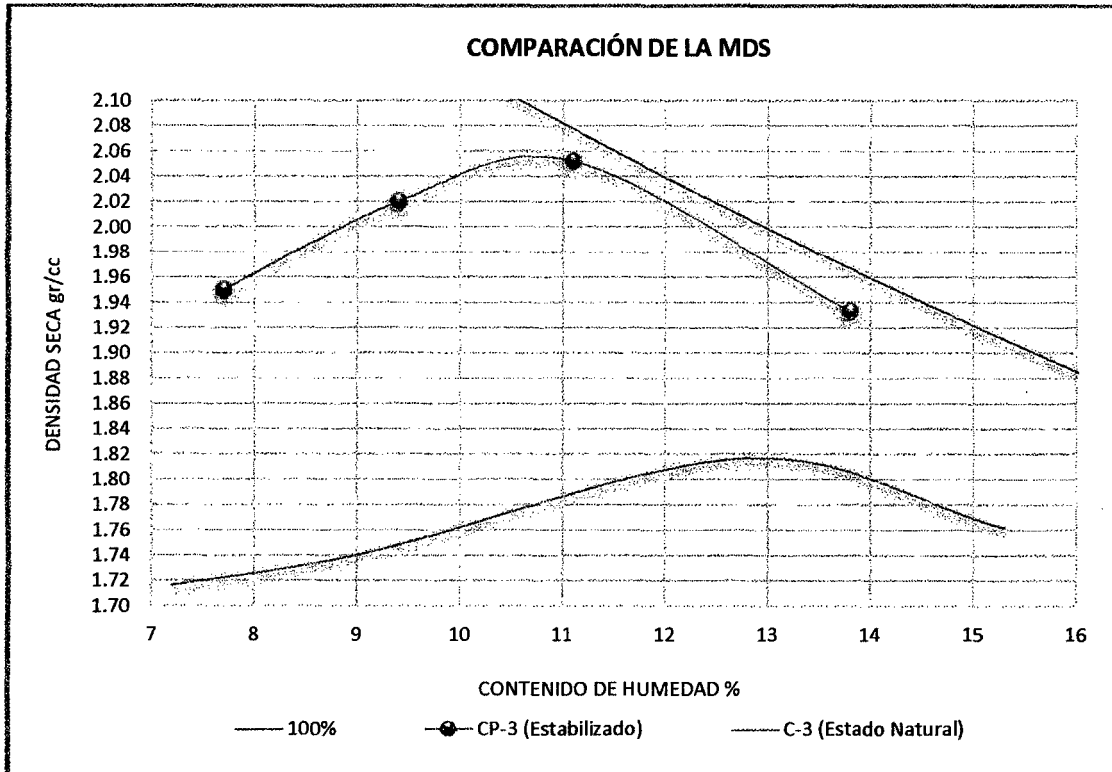
Calicata C-2



- En este gráfico adjunto se presenta la influencia que tiene el estabilizante, aumentando la Máxima Densidad Seca del material ensayado de la Calicata C-2, También podemos ver en el Grafico que el Estabilizante tiene influencia en la Humedad Optima del material ensayado, modificando el material mediante el estabilizante podemos observar que se reduce su optimo contenido de humedad.
- La Máxima Densidad Seca del material en Estado Natural es de 1.844 gr/cm³ y modificado mediante el estabilizante aumentó a 2.035 gr/cm³.
- El Optimo contenido de Humedad del material en Estado Natural es de 11.80 % y modificado mediante el estabilizante disminuyo a 11.60%.



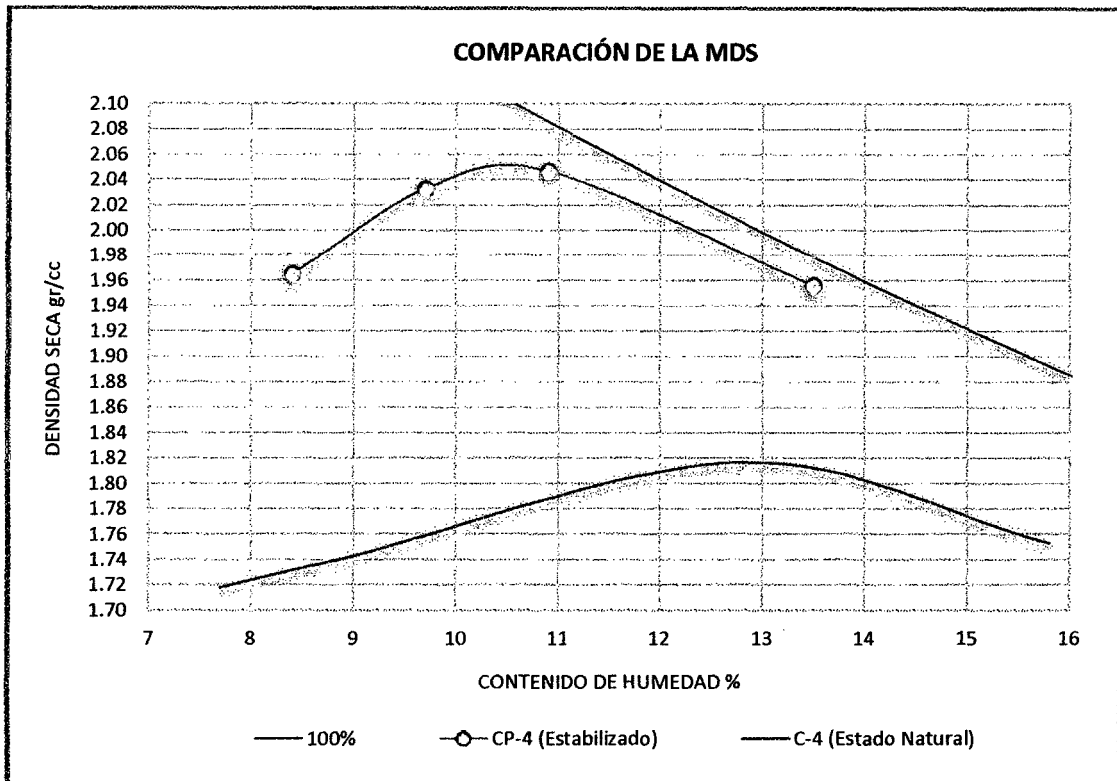
Calicata C-3



- En este gráfico adjunto se presenta la influencia que tiene el estabilizante, aumentando la Máxima Densidad Seca del material ensayado de la Calicata C-3, También podemos ver en el Grafico que el Estabilizante tiene influencia en la Humedad Optima del material ensayado, modificando el material mediante el estabilizante podemos observar que se reduce su optimo contenido de humedad.
- La Máxima Densidad Seca del material en Estado Natural es de 1.817 gr/cm³ y modificado mediante el estabilizante aumentó a 2.056 gr/cm³.
- El Optimo contenido de Humedad del material en Estado Natural es de 12.95 % y modificado mediante el estabilizante disminuyó a 10.78 %.



CALICATA C-4



- En este gráfico adjunto se presenta la influencia que tiene el estabilizante, aumentando la Máxima Densidad Seca del material ensayado de la Calicata C-4, También podemos ver en el Grafico que el Estabilizante tiene influencia en la Humedad Optima del material ensayado, modificando el material mediante el estabilizante podemos observar que aumenta su optimo contenido de humedad.
- La Máxima Densidad Seca del material en Estado Natural es de 1.816 gr/cm³ y modificado mediante el estabilizante aumentó a 2.051 gr/cm³.
- El Optimo contenido de Humedad del material en Estado Natural es de 12.85 % y modificado mediante el estabilizante disminuyó a 10.54%.



A continuación hallaremos la cantidad de aditivo para el resto de calicatas

d) ANALISIS DEL ENSAYO DE CBR

Para hallar la cantidad de aditivo necesario para el ensayo de CBR
procederemos a hallarlo de la siguiente forma.

✓ PARA LA CALICATA C-1:

Cálculo empleando 1 m³ de suelo:

Densidad máxima = 1.810 gr/cm³

Contenido de Humedad = 13.00 %

1 m³ suelo compactado → 1810 kg suelo suelto

X → 16 kg suelo suelto

$X = 8.839 \times 10^{-3}$ de suelo compactado

Con esta cantidad de suelo compactado se hallará la cantidad necesaria
de aditivo.

Según la especificación del Estabilizante la dosificación es de 1L de
aditivo por 1 m³ de material.

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

1 m³ suelo compactado → 1000 ml de aditivo

8.839×10^{-3} m³ suelo compactado → X

$X = 8.839$ ml de aditivo

8.839 ml es la cantidad de aditivo para un total de 16 kg de suelo para el
ensayo de CBR.



✓ **PARA LA CALICATA C-2:**

Cálculo empleando 1 m³ de suelo:

Densidad máxima = 1.844 gr/cm³

Contenido de Humedad = 11.80%

1 m³ suelo compactado → 1844 kg suelo suelto

X → 16 kg suelo suelto

X = 8.677 x 10⁻³ de suelo compactado

Con esta cantidad de suelo compactado se hallará la cantidad necesaria de aditivo.

Según la especificación del Estabilizante la dosificación es de 1L de aditivo por 1 m³ de material.

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

1 m³ suelo compactado → 1000 ml de aditivo

8.677 x 10⁻³ m³ suelo compactado → X

X = 8.677 ml de aditivo

8.677 ml es la cantidad de aditivo para un total de 16 kg de suelo para el ensayo de CBR.



✓ **PARA LA CALICATA C-3:**

Cálculo empleando 1 m³ de suelo:

Densidad máxima = 1.817 gr/cm³

Contenido de Humedad = 12.95%

1 m³ suelo compactado → 1817 kg suelo suelto

X → 16 kg suelo suelto

$X = 8.806 \times 10^{-3}$ de suelo compactado

Con esta cantidad de suelo compactado se hallará la cantidad necesaria de aditivo.

Según la especificación del Estabilizante la dosificación es de 1L de aditivo por 1 m³ de material.

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

1 m³ suelo compactado → 1000 ml de aditivo

8.806×10^{-3} m³ suelo compactado → X

$X = 8.806$ ml de aditivo

8.806 ml es la cantidad de aditivo para un total de 16kg de suelo para el ensayo de CBR.



✓ **PARA LA CALICATA C-4:**

Cálculo empleando 1 m³ de suelo:

Densidad máxima = 1.816 gr/cm³

Contenido de Humedad = 12.85%

1 m³ suelo compactado → 1816 kg suelo suelto

X → 16 kg suelo suelto

$X = 8.811 \times 10^{-3}$ de suelo compactado

Con esta cantidad de suelo compactado se hallará la cantidad necesaria de aditivo.

Según la especificación del Estabilizante la dosificación es de 1L de aditivo por 1 m³ de material.

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

1 m³ suelo compactado → 1000 ml de aditivo

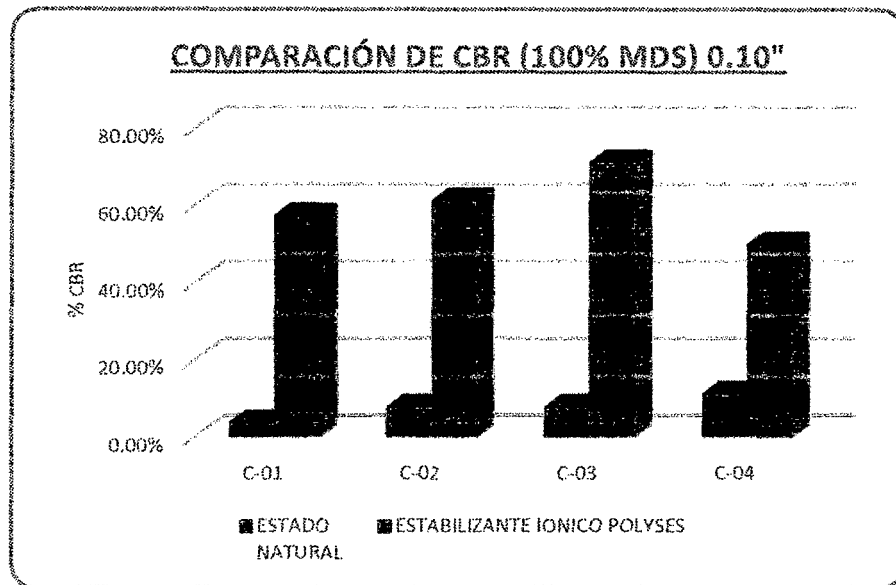
8.811×10^{-3} m³ suelo compactado → X

$X = 8.811$ ml de aditivo

8.811 ml es la cantidad de aditivo para un total de 16 kg de suelo para el ensayo de CBR.



A continuación procederemos analizar la influencia del Estabilizante en las propiedades mecánicas de los materiales en estudio.



- ✓ Al realizarse el ensayo de CBR a las 4 calicatas ensayadas se observó que la muestra en condición Natural, trabajando al 100% de su máxima densidad seca presenta un CBR mínimo de 3.50 % y un CBR máximo de 10.90 %, con la incorporación del estabilizante se logra tener un CBR mínimo de 49.60 % y un CBR máximo 70.90 %, estos dos valores últimos están por encima del mínimo permitido por el MTC, que según la norma debe ser 40 % como mínimo para una Sub base ,lo cual utilizando este aditivo para la trocha que une el anexo San Juanito con la Villa Guadalupito sería conveniente solo para Sub Base, utilizando el material propio de la Zona.



CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El objetivo fundamental de la presente investigación titulada: "MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DEL TERRENO DE FUNDACION DE LA TROCHA QUE UNE EL ANEXO SAN JUANITO CON LA VILLA GUADALUPITO,CAPITAL DEL DISTRITO DE GUADALUPITO-PROVINCIA DE VIRÚ - DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD,MEDIANTE EL USO DEL ESTABILIZANTE IONICO POLYSES.

Para nuestra investigación, se ha tomado en estudio el terreno natural de la trocha que une el Anexo San Juanito con la Villa Guadalupe, de modo que dicho material sea usado en condiciones de acuerdo a los requerimientos mínimos establecidos por el Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC).

Para el mejoramiento se a tenido que alterar el terreno natural con el estabilizante iónico Polyses, que fue mezclado en las proporciones indicada en sus especificaciones con cada una de las muestras extraídas del tramo a evaluar.



5.1. CONCLUSIONES

- ✓ Se concluye, en términos geotécnicos que el estabilizante Iónico Polyses, mejora el suelo a nivel de sub-base en la trocha que une el anexo San Juanito con la villa Guadalupe.
- ✓ Se concluye que, de los 8 ensayos realizados tanto en estado natural como en estado modificado por el estabilizante iónico polyses, se encontró que empleando este aditivo mejora la capacidad de soporte (CBR), por consiguiente el material que se encuentra en la zona podrá ser utilizado como estructura para la trocha evitando los asentamientos durante la vida útil de la estructura.
- ✓ Se observa que en las características de compactación de los suelos con base en estos resultados, se puede determinar que al adicionar el estabilizante iónico Polyses, la densidad máxima seca presenta incremento en su valor ,además se observa que se necesita menor cantidad de agua para obtener los valores máximos .En este caso al tratarse de una estabilización ,al mezclarse el suelo arcilloso y limoso con el Estabilizante Iónico Polyses se está formando una configuración más adecuada que permite que las partículas se acoplen de mejor manera y así los espacios vacíos disminuyan, por consiguiente un incremento en el peso unitario máximo seco del material.
- ✓ Aumento del valor soporte relativo y de la resistencia. Se confirma una mejoría en los resultados de las pruebas en el material con aditivo con respecto al material sin aditivo.
- ✓ Se puede concluir que el Estabilizante Iónico Polyses puede ser aplicable en zonas



- rurales por permitirnos utilizar el material encontrado en la zona, esto nos daría mayores beneficios frente a cualquier otra modalidad de mejoramiento de suelos.
- ✓ Los resultados de CBR coinciden con los resultados de las pruebas hechas por el MTC, lo que confiere una mayor credibilidad a la investigación.
 - ✓ La realización de esta investigación de estabilización mediante el uso del estabilizante iónico Polyses, se basó en la ejecución de una serie de ensayos de laboratorio basados en normas ASTM Y AASTHO.
 - ✓ El porcentaje recomendado en las especificaciones técnicas del producto (1 lt/m³ de estabilizante iónico polyses se puede utilizar con total garantía ya que mejora las propiedades del suelo permitiendo cumplir con las normas establecidas por el MTC.
 - ✓ EL material del terreno encontrado en la trocha que une el anexo san Juanito con la villa guadalupito no puede ser utilizado como material de afirmado en estado natural para carreteras no pavimentadas, debido a que el CBR (0.1" de penetración a 100%MDS) en ninguna de las calicatas estudiadas supero más del 10.20 %, siendo este valor inferior al 40% mínimo establecido por la Norma del MTC EG CBT-2008.
 - ✓ Las muestras ensayadas presentan suelos con índice de plasticidad superiores a los establecidos por las normas del MTC en su estado natural, de las cuales fueron modificadas con el aditivo iónico Polyses, permitiendo disminuir este parámetro y así estar en el rango permitido por el MTC.



5.2. RECOMENDACIONES:

- ✓ Se recomienda la utilización del Estabilizante Iónico Polyses previo ensayo de laboratorio y demostrando que mejora sus propiedades del suelo para luego ser aplicado en campo.
- ✓ Se recomienda utilizar el porcentaje que se indican en las especificaciones técnicas del producto (1 lt/m³ del estabilizante iónico polyses), ya que según los ensayos realizados basta con esta dosificación para mejorar lo suficiente las propiedades mecánicas del suelo.
- ✓ Se recomienda que antes de comenzar cualquier trabajo de estabilización, tener el conocimiento de las características de los materiales, de los problemas que estos materiales puedan generar y de las soluciones que pueden adoptarse.
- ✓ Es recomendable la utilización del Estabilizante Iónico Polyses en terrenos que presenten un alto índice de plasticidad, ya que disminuye este parámetro permitiéndolo llegar a los especificados en la norma del MTC.
- ✓ Es recomendable la utilización del Estabilizante Iónico Polyses en zonas rurales ya que es una alternativa más económica y practica para el tratamiento de las capas estructurales de un pavimento.
- ✓ Los equipos utilizados para la realización de los ensayos involucrados en esta investigación deberán ser calibrados periódicamente a fin de que los resultados obtenidos por los mismos, sean los más certeros posibles.
- ✓ Se recomienda la revisión periódica de las normas ASTM y AASHTO, para estar al día con los cambios que se realicen a estas.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ❖ Empresa POLYDEM, "Manual Técnico del Estabilizante Iónico Polyses", ARGENTINA, 2001.
- ❖ Ministerio de Transporte y Comunicaciones, Manual para el diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito, Lima –Perú, 2008.
- ❖ Ministerio de Transporte y Comunicaciones, Norma Técnica de Estabilizadores Químicos, Dirección General de Caminos y Ferrocarriles (DGC y F-PERÚ), Lima-Perú, 2004.
- ❖ Ministerio de Transporte y Comunicaciones, "Especificaciones Técnicas Generales para Carreteras (EG-2000)", Editorial MTC, Lima – Perú, 27 Diciembre 2000.
- ❖ Santiago Marquez, Estabilización de suelos, Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco, Argentina, 2005.
- ❖ Fernández I .Carlos, Mejoramiento y Estabilización de suelos, Editorial Limusa S.A, Mexico ,1982.
- ❖ Montejo Fonseca Alfonso, Ingeniería de Pavimentos para carreteras, Ediciones y Publicaciones Universidad Catolica De Colombia, 2da Edición, Bogotá-Colombia.
- ❖ Ministerio de Transportes y Comunicaciones, "Manual de Ensayo de Materiales para Carreteras (EM - 2000)", Editorial MTC, Lima - Perú, 2003.
- ❖ Crespo Villalaz Carlos, Mecánica de suelos y Cimentaciones ,4ta Edición Editorial Limusa S.A., Mexico ,1998.
- ❖ Juárez Badillo – R. Rodríguez, "Mecánica de Suelos" Tomo II, Teoría y Aplicaciones de la Mecánica de Suelos, 2da Edición Editorial Limusa S.A., Mexico ,1996.



- ❖ Ministerio de Transporte y Comunicaciones, "Manual de Especificaciones Técnicas Generales para Construcción de Carreteras No Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito (EG-CBT - 2008)" Volumen I, Editorial MTC, 1era. Edición, Lima - Perú, Marzo 2008.



ANEXOS



ANEXO N°01: ENSAYOS DE MECÁNICA DE SUELOS



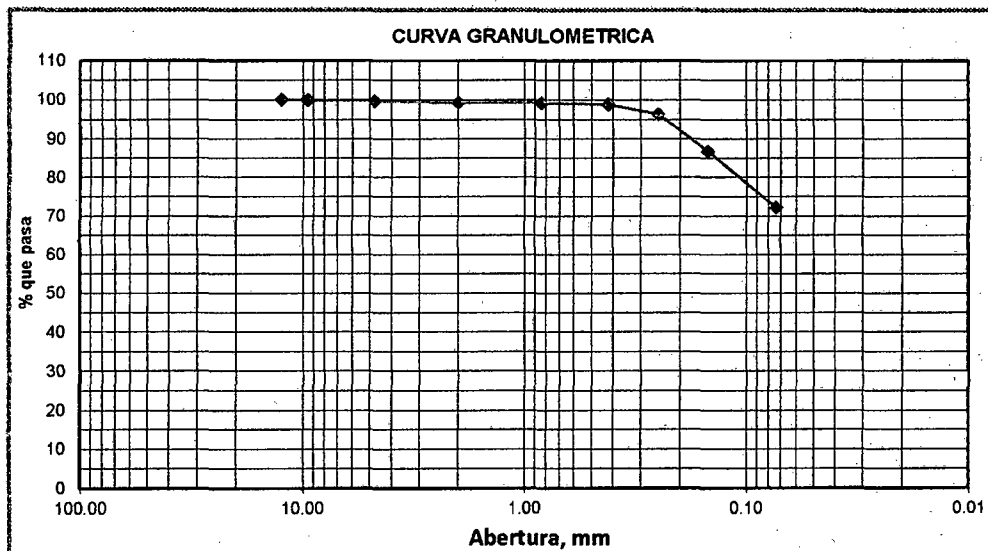
CALICATA C – 1 EN ESTADO NATURAL



1) ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM - D421)

Peso Inicial Seco (gr)	985.10
Peso Lavado y Seco (gr)	275.30

MALLAS	ABERTURA	PESO	% PESO	% PESO	% PASA
	[mm]	RETENIDO [grs]	RETENIDO Parcial	RETENIDO Acumulado	
5"	76.000				
2"	50.800				
1 1/2"	38.100				
1"	25.400				
3/4"	19.050				
1/2"	12.500	0.00			100.00
3/8"	9.525	1.40	0.14	0.14	99.86
N° 4	4.760	2.50	0.25	0.40	99.60
N° 10	2.000	3.30	0.33	0.73	99.27
N° 20	0.840	1.60	0.16	0.89	99.11
N° 40	0.420	3.80	0.39	1.28	98.72
N° 60	0.250	24.80	2.52	3.80	96.20
N° 100	0.150	94.00	9.54	13.34	86.66
N° 200	0.074	143.90	14.61	27.95	72.05
< N° 200		709.80	72.05	100.00	





2) LÍMITES DE CONSISTENCIA (ASTM - D4318)

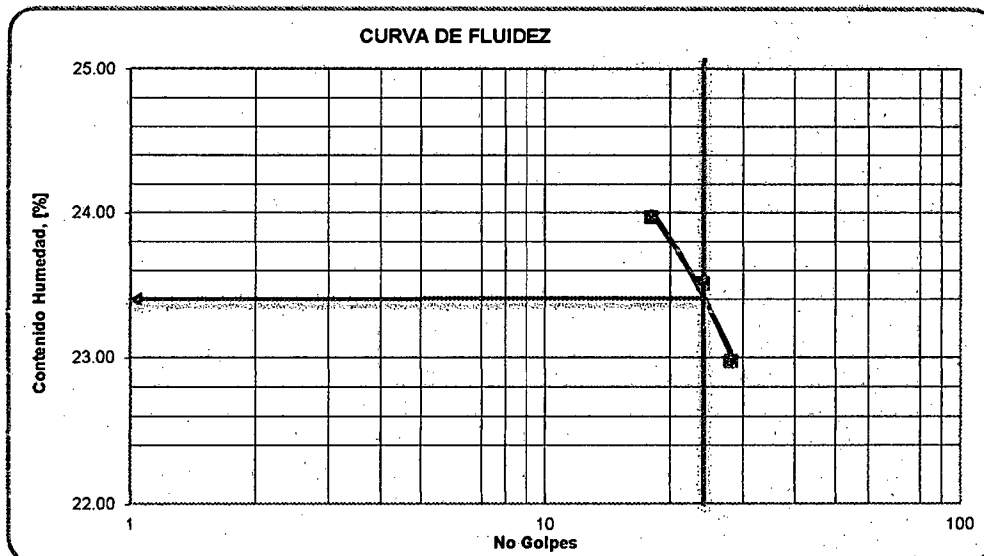
A. LÍMITE LÍQUIDO

PROCEDIMIENTO	TARA N°		
	14	11	31
1. No de Golpes	18	24	28
2. Peso Tara, [gr]	35.180	23.260	17.570
3. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr]	61.970	41.280	36.840
4. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]	56.790	37.850	33.240
5. Peso Agua, [gr]	5.180	3.430	3.600
6. Peso Suelo Seco, [gr]	21.610	14.590	15.670
7. Contenido de Humedad, [%]	23.97	23.51	22.97

B. LÍMITE PLÁSTICO

PROCEDIMIENTO	TARA N°		
1. Peso Tara, [gr]			
2. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr]			
3. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]			
4. Peso Agua, [gr]			
5. Peso Suelo Seco, [gr]			
6. Contenido de Humedad			

NO PLÁSTICO





L.L = 23.40 %

3) CONTENIDO DE HUMEDAD (ASTM – D2216)

PROCEDIMIENTO	TARA N°
	13
1. Peso Tara, [gr]	30.90
2. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr]	119.50
3. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]	108.40
4. Peso Agua, [gr]	11.10
5. Peso Suelo Seco, [gr]	77.50
6. Contenido de Humedad, [%]	14.32

Resumen De Los ensayos realizados en Estado Natural en la calicata C-1.

CLASIFICACIÓN SUCS	CLASIFICACION AASHTO	LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁTICO	ÍNDICE DE PLASTICIDAD	CONTENIDO DE HUMEDAD
ML	A-4	23.40%	N.P.	N.P.	14.32%



ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

ENSAYO N°	1	2	3	4
DETERMINACIÓN DE DENSIDAD				
Número de Capas	5	5	5	5
Número de Golpes	25	25	25	25
Peso Suelo + Molde (gr)	5,975	6,045	6,150	5,850
Peso del Molde (gr)	4,220	4,220	4,220	3,910
Peso Suelo Humedo Compactado (gr)	1,755	1,825	1,930	1,940
Volumen del Molde (cm ³)	947.87	947.87	947.87	947.87
Densidad Humeda (gr/cm ³)	1.85	1.93	2.04	2.05
DETERMINACIÓN DE CONTENIDO DE HUMEDAD				
RECIPIENTE N°	1	2	3	4
Suelo Humedo + Tara (gr)	50.52	64.82	72.69	54.77
Suelo Seco + Tara (gr)	48.83	61.38	66.45	49.90
Peso Tara (gr)	26.62	26.71	17.77	18.44
Peso del Agua (gr)	1.69	3.44	6.24	4.87
Peso del Suelo Seco (gr)	22.21	34.66	48.68	31.47
Contenido de Humedad (%)	7.60	9.90	12.80	15.50
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.719	1.756	1.809	1.775
Peso Especifico G _s	2.70	2.70	2.70	2.70

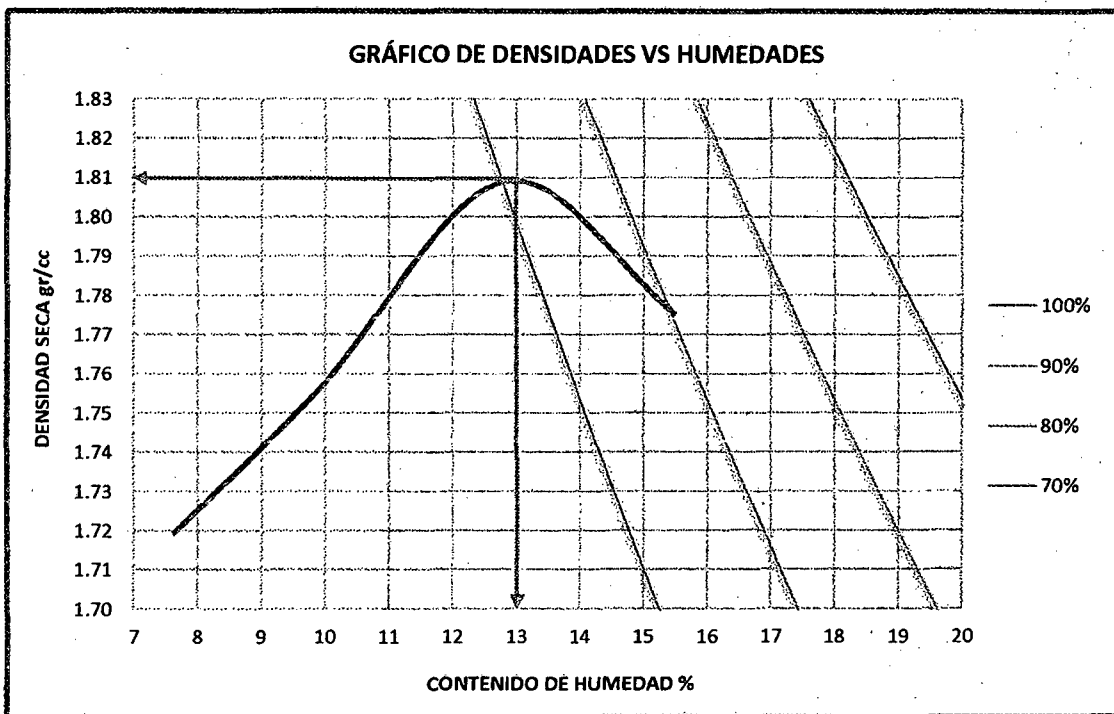
TRAZO DE LA CURVA DE SATURACIÓN

$$\omega = \left(\frac{1}{\gamma_s} - \frac{1}{G_s} \right) \times 100$$

$$\gamma_s = \left(\frac{\omega}{100} + \frac{1}{G_s} \right)^{-1}$$



DENS. SECA	% W	% DE SATURACIÓN			
		100	90	80	70
1.719	7.60	2.240	2.199	2.149	2.088
1.756	9.90	2.131	2.082	2.024	1.954
1.809	12.80	2.007	1.951	1.885	1.808
1.775	15.50	1.903	1.843	1.773	1.690



Densidad máxima (gr/cm ³)	1.810
Humedad óptima (%)	13.00



ENSAYO DE C.B.R.

a) Ensayo Preliminar del Proctor Modificado

Densidad máxima (gr/cm ³)	1.810
Humedad óptima (%)	13.00
95%MDS	1.72 %

b) Compactación de los moldes de CBR

Molde N°	1	2	3
Capas N°	5	5	5
Golpes por capa N°	56	25	10
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	12220.00	12010.00	11855.00
Peso de molde (g)	7558.00	7616.00	7700.00
Peso del suelo húmedo (g)	4662.00	4394.00	4155.00
Volumen del molde (cm ³)	2130.00	2148.00	2120.00
Densidad húmeda (g/cm ³)	2.189	2.046	1.960
Tara (N°)			
Peso suelo húmedo + tara (g)	115.40	123.70	81.00
Peso suelo seco + tara (g)	104.00	109.91	72.50
Peso de tara (g)	31.10	21.60	18.10
Peso de agua (g)	11.40	13.79	8.50
Peso de suelo seco (g)	72.90	88.31	54.40
Contenido de humedad (%)	15.64	15.62	15.63
Densidad seca (g/cm ³)	1.893	1.769	1.695



c) Prueba de Penetración

PENETRACIÓN										
Area del anillo: 3.02 pulg ²		Presión (LB /PULG ²)-FUERZA/AREA DE ANILLO								
PENETRACIÓN pulgadas	CARGA STAND. Lb/pulg ²	MOLDE Nº 01			MOLDE Nº 02			MOLDE Nº 03		
		CARGA			CARGA			CARGA		
		FUERZA	PRESIÓN	%	FUERZA	PRESIÓN	%	FUERZA	PRESIÓN	%
0.000		0	0.0		0	0.0		0	0.0	
0.025		47	15.6		34	11.4		26	8.5	
0.050		77	25.6		56	18.5		43	14.2	
0.075		94	31.3		77	25.6		56	18.5	
0.100	1000	123	40.7	4.1	94	31.3	3.1	64	21.3	2.1
0.125		147	48.7		120	39.8		77	25.6	
0.150		171	56.6		142	46.9		86	28.4	
0.175		194	64.2		163	54.0		99	32.7	
0.200	1500	214	70.9	4.7	185	61.2	4.1	107	35.6	2.4
0.250		241	79.8		210	69.7		120	39.8	
0.300	1900	265	87.7		223	74.0		133	44.09	

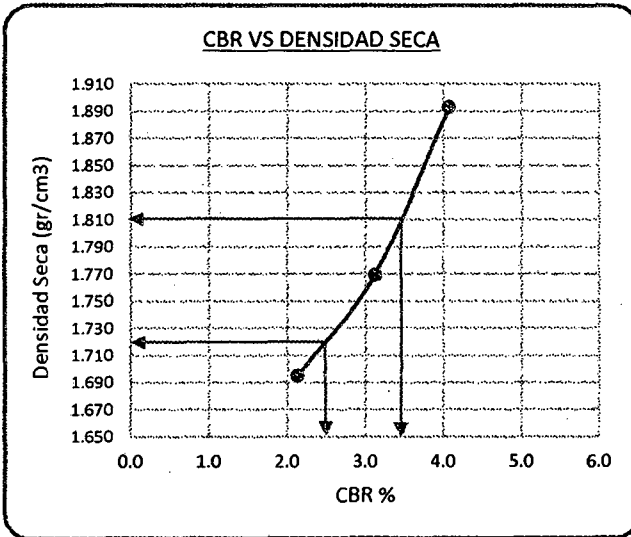
d) Expansión

FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN	
				mm	%		mm	%		mm	%
05/03/2014	18:00 pm	00 Hrs.	0.0000	0.0000	0.00	0.0000	0.000	0.00	0.0000	0.000	0.00
06/03/2014	18:00 pm	24 Hrs.	0.0584	1.483	1.17	0.0785	1.994	1.57	0.1121	2.847	2.24
07/03/2014	18:00 pm	48 Hrs.	0.0727	1.847	1.45	0.1072	2.723	2.14	0.1686	4.282	3.37



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

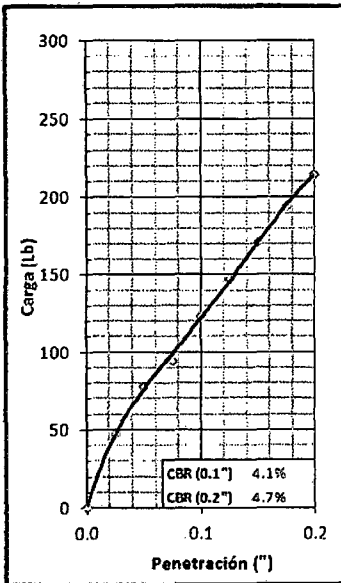
ASTM D-1883



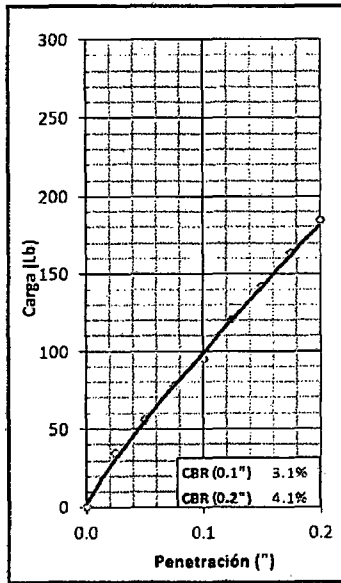
METODO DE COMPACTACION	ASTM D 1557
Densidad maxima (gr/cm³)	1.810
Humedad optima (%)	13.00
95% MDS	1.720

C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1"	3.50%
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	0.1"	2.60%

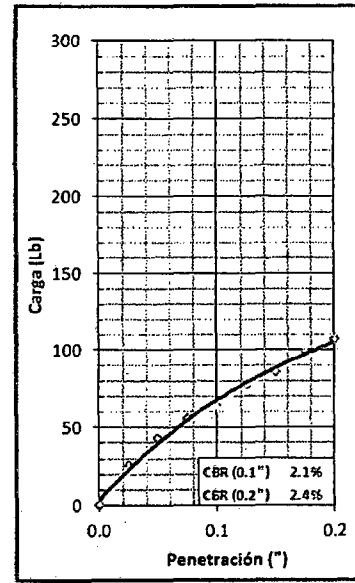
EC = 56 GOLPES



EC = 25 GOLPES



EC = 10 GOLPES





CALICATA C – 1
EMPLEANDO EL ESTABILIZANTE
IÓNICO POLYSES



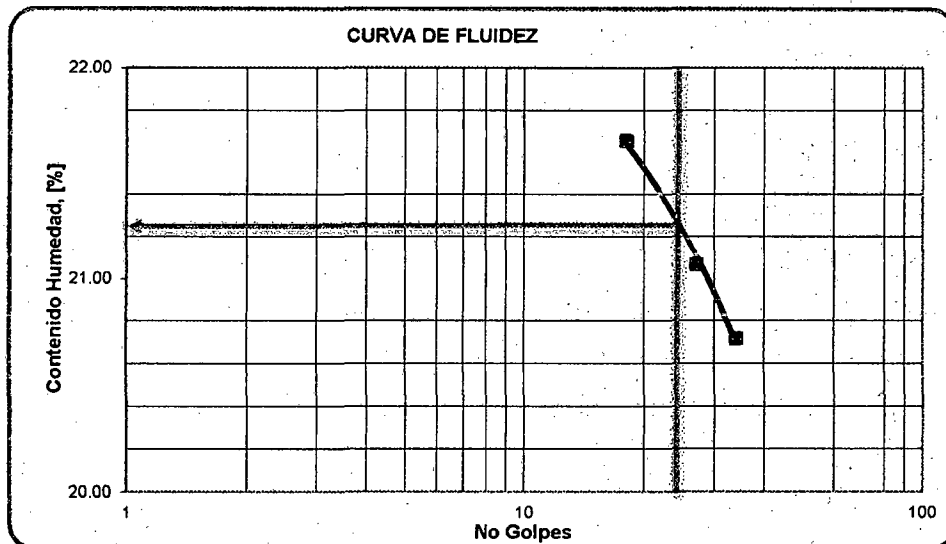
1) LÍMITES DE CONSISTENCIA (ASTM -D4318)

A. LÍMITE LÍQUIDO

PROCEDIMIENTO	FORMULA	TARA N°		
		18	27	34
1. No de Golpes		18	27	34
2. Peso Tara, [gr]		35.180	23.260	17.570
3. Peso Tara + Suelo Humedo, [gr]		67.200	40.500	36.800
4. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]		61.500	37.500	33.500
5. Peso Agua, [gr]	(3)-(4)	5.700	3.000	3.300
6. Peso Suelo Seco, [gr]	(4)-(2)	26.320	14.240	15.930
7. Contenido de Humedad, [%]	(5)/(6)X100	21.66	21.07	20.72

B. LÍMITE PLÁSTICO

PROCEDIMIENTO	FORMULA	TARA N°		
		18	27	34
1. Peso Tara, [gr]				
2. Peso Tara + Suelo Humedo, [gr]				
3. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]				
4. Peso Agua, [gr]	(2)-(3)	NO PLASTICO		
5. Peso Suelo Seco, [gr]	(3)-(1)			
6. Contenido de Humedad, [%]	(4)/(5)X100			



LL = 21.22 %



ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

ENSAYO N°	1	2	3	4
DETERMINACIÓN DE DENSIDAD				
Número de Capas	5	5	5	5
Numero de Golpes	25	25	25	25
Peso Suelo + Molde (gr)	6,205	6,325	6,380	6,295
Peso del Molde (gr)	4,220	4,220	4,220	4,220
Peso Suelo Humedo Compactado (gr)	1,985	2,105	2,160	2,075
Volumen del Molde (cm ³)	947.87	947.87	947.87	947.87
Densidad Humeda (gr/cm ³)	2.09	2.22	2.28	2.19
DETERMINACIÓN DE CONTENIDO DE HUMEDAD				
RECIPIENTE N°	1	2	3	4
Suelo Humedo + Tara (gr)	68.12	77.96	75.28	83.37
Suelo Seco + Tara (gr)	64.85	73.42	69.98	76.33
Peso Tara (gr)	26.62	28.50	24.61	26.71
Peso del Agua (gr)	3.27	4.54	5.31	7.04
Peso del Suelo Seco (gr)	38.23	44.92	45.36	49.62
Contenido de Humedad (%)	8.60	10.10	11.70	14.20
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.924	2.016	2.041	1.918
Peso Especifico, G _s	2.70	2.70	2.70	2.70

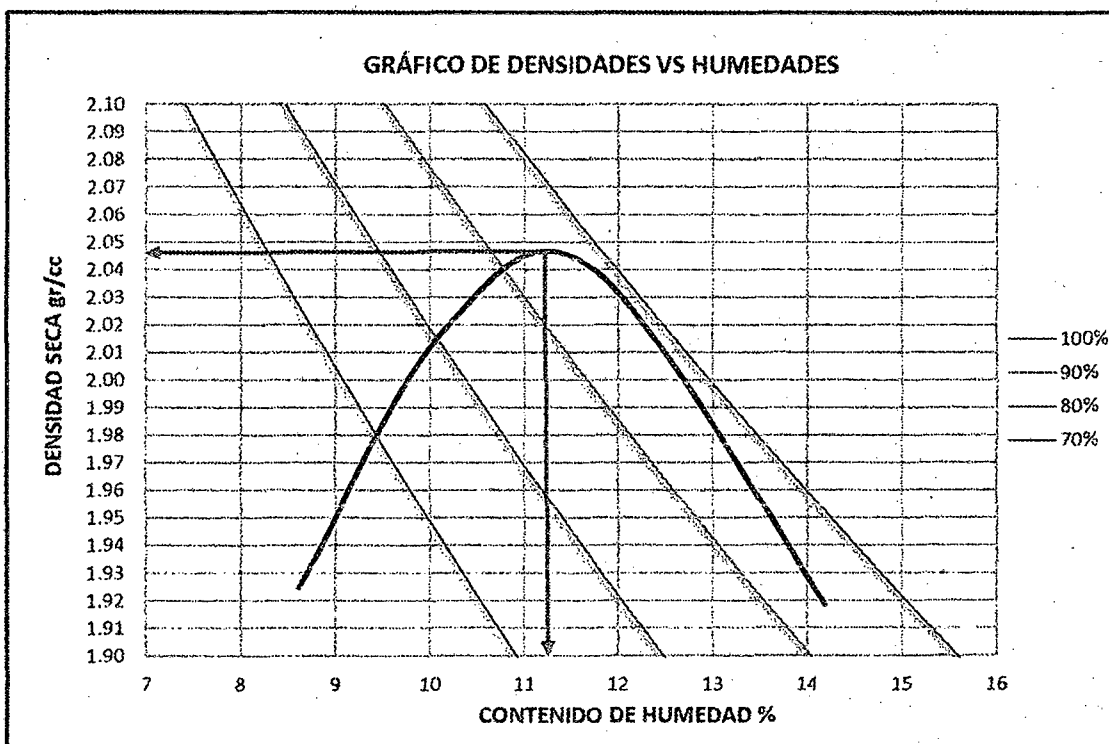
TRAZO DE LA CURVA DE SATURACIÓN

$$\omega = \left(\frac{1}{\gamma_s} - \frac{1}{G_s} \right) \times 100$$

$$\gamma_s = \left(\frac{\omega}{100} + \frac{1}{G_s} \right)^{-1}$$



DENS. SECA	% W	% DE SATURACIÓN			
		100	90	80	70
1.924	8.60	2.191	2.146	2.093	2.027
2.016	10.10	2.121	2.072	2.014	1.943
2.041	11.70	2.052	1.999	1.936	1.860
1.918	14.20	1.952	1.893	1.825	1.745



Densidad máxima (gr/cm ³)	2.047
Humedad óptima (%)	11.22



ENSAYO DE C.B.R.

a) Ensayo Preliminar del Proctor Modificado

Densidad máxima (gr/cm ³)	2.047
Humedad óptima (%)	11.22
95% MDS	1.94

b) Compactación de los Moldes De CBR

Molde N°	1	2	3
Capas N°	5	5	5
Golpes por capa N°	56	25	10
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	12689.00	12614.00	12247.00
Peso de molde (g)	7558.00	7616.00	7700.00
Peso del suelo húmedo (g)	5131.00	4998.00	4547.00
Volumen del molde (cm ³)	2130.00	2148.00	2120.00
Densidad húmeda (g/cm ³)	2.409	2.327	2.145
Tara (N°)			
Peso suelo húmedo + tara (g)	130.52	125.56	96.52
Peso suelo seco + tara (g)	119.58	114.02	87.89
Peso de tara (g)	32.10	22.21	19.10
Peso de agua (g)	10.94	11.54	8.63
Peso de suelo seco (g)	87.48	91.81	68.79
Contenido de humedad (%)	12.51	12.57	12.55
Densidad seca (g/cm ³)	2.141	2.067	1.906



c) Prueba de Penetración

PENETRACIÓN										
Area del anillo 3.02 pulg ²		Presión (LB/PULG ²)=FUERZA/ÁREA DE ANILLO								
PENETRACIÓN pulgadas	CARGA STAND Lb/pulg ²	MOLDE Nº 01			MOLDE Nº 02			MOLDE Nº 03		
		CARGA			CARGA			CARGA		
		FUERZA	PRESIÓN	%	FUERZA	PRESIÓN	%	FUERZA	PRESIÓN	%
0.000		0	0.0		0	0.0		0	0.0	
0.025		485	160.7		271	89.6		318	105.3	
0.050		1284	425.3		799	264.6		631	209.1	
0.075		2122	702.6		1310	433.8		941	311.5	
0.100	1000	2371	785.1	78.5	1869	618.7	61.9	1117	369.8	37.0
0.125		2676	886.1		2303	762.5		1349	446.6	
0.150		3067	1015.5		2582	855.1		1482	490.7	
0.175		3402	1126.5		2940	973.6		1619	536.2	
0.200	1500	3703	1226.1	81.7	3149	1042.6	69.5	1735	574.6	38.3
0.250		4029	1334.0		3384	1120.5		1873	620.1	
0.300	1900	4259	1410.4		3671	1215.4		1994	660.30	

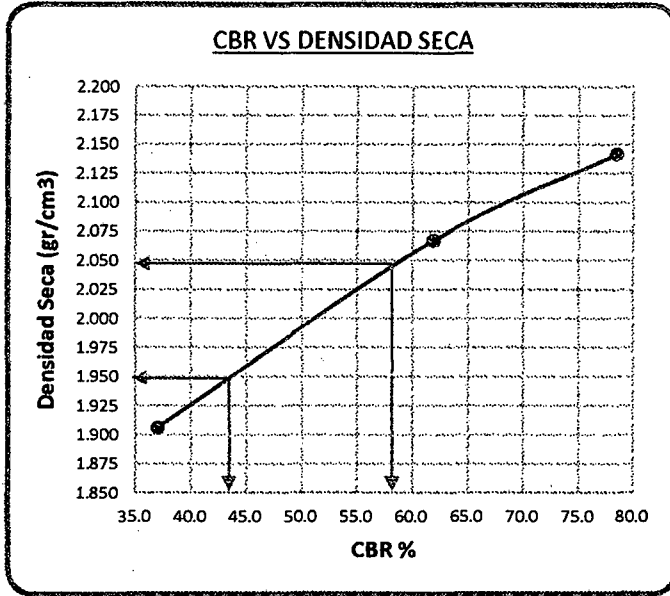
d) Expansión

FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN	
				mm	%		mm	%		mm	%
05/03/2014	20:00 pm	00 Hrs.	0.0000	0.0000	0.00	0.0000	0.000	0.00	0.0000	0.000	0.00
06/03/2014	20:00 pm	24 Hrs.	0.0435	1.105	0.87	0.0582	1.478	1.16	0.1005	2.553	2.01
07/03/2014	20:00 pm	48 Hrs.	0.0325	0.826	0.65	0.1124	2.855	2.25	0.1451	3.686	2.90



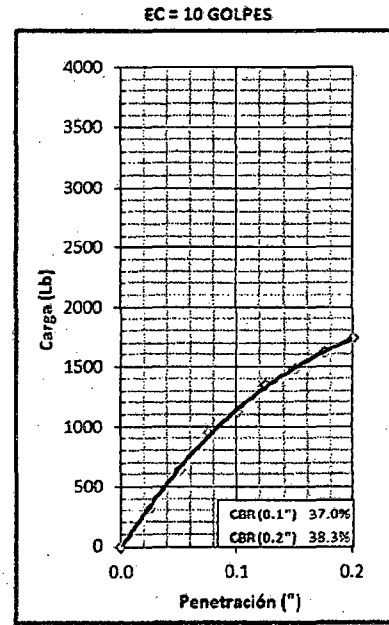
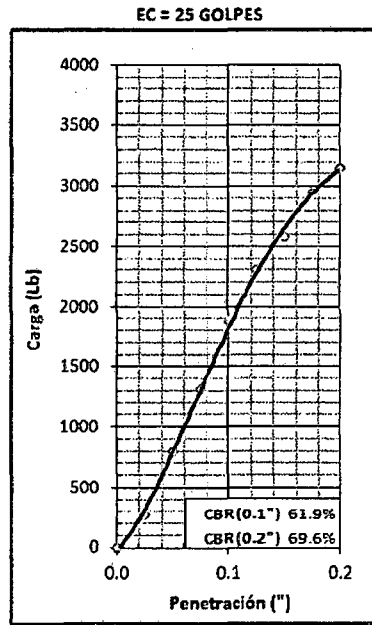
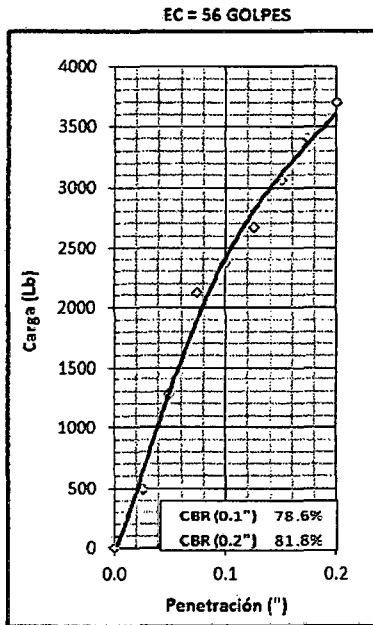
RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)

ASTM D-1883



MÉTODO DE COMPACTACIÓN	ASTM D 1557
Densidad máxima (gr/cm³)	2.047
Humedad óptima (%)	11.22
95% MDS	1.945

C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1"	57.00 %
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	0.1"	43.00 %





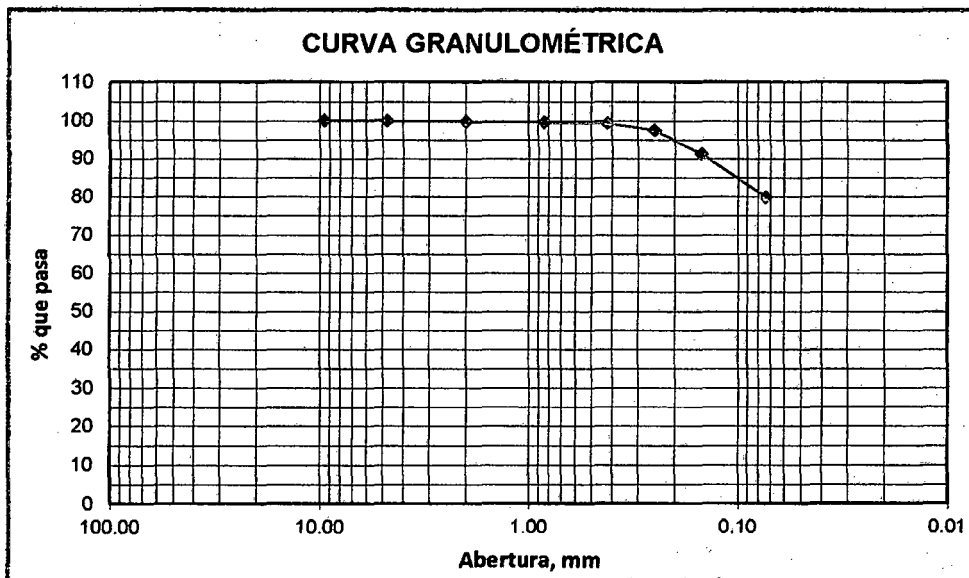
CALICATA C – 2
EN ESTADO NATURAL



1) ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM - D421)

Peso Inicial Seco, (gr)	1148.30
Peso Lavado y Seco, (gr)	231.30

MALLAS	ABERTURA [mm]	PESO RETENIDO [grs]	% PESO RETENIDO Parcial	% PESO RETENIDO Acumulado	% PASA
3"	76.000				
2"	50.800				
1 1/2"	38.100				
1"	25.400				
3/4"	19.050				
1/2"	12.500				
3/8"	9.525	0.00	0.00	0.00	100.00
N° 4	4.760	0.30	0.03	0.03	99.97
N° 10	2.000	2.60	0.23	0.25	99.75
N° 20	0.840	1.70	0.15	0.40	99.60
N° 40	0.420	3.20	0.28	0.68	99.32
N° 60	0.250	21.00	1.83	2.51	97.49
N° 100	0.150	71.70	6.24	8.75	91.25
N° 200	0.074	130.80	11.39	20.14	79.86
< N° 200		917.00	79.86	100.00	





2) LÍMITES DE CONSISTENCIA (ASTM - D4318)

A. LÍMITE LÍQUIDO

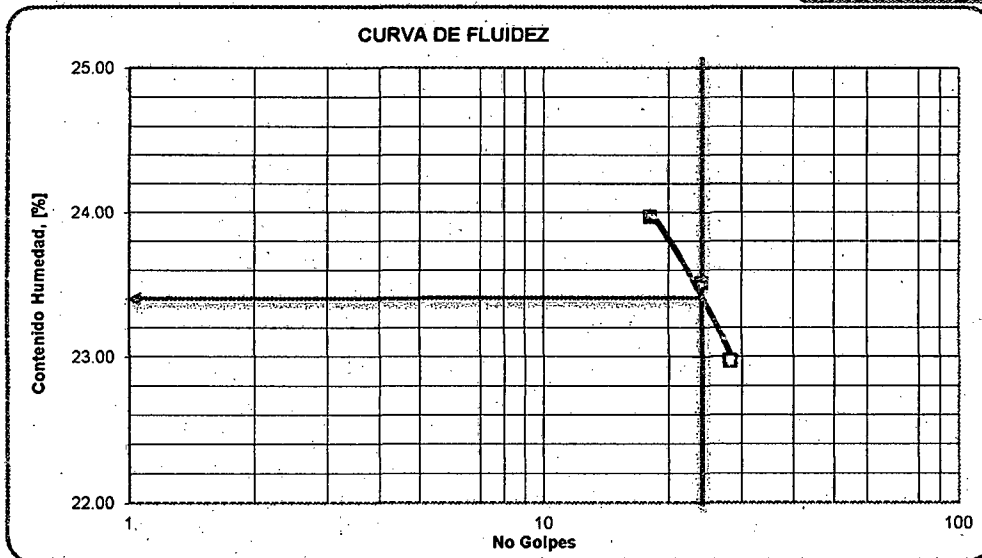
PROCEDIMIENTO	FORMULA	TARA N°		
		33	20	27
1: No de Golpes		18	24	28
2: Peso Tara, [gr]		18.920	23.460	21.340
3: Peso Tara + Suelo Humedo, [gr]		40.330	44.210	46.780
4: Peso Tara + Suelo Seco, [gr]		35.423	39.553	41.150
5: Peso Agua, [gr]	(3)-(4)	4.907	4.657	5.630
6: Peso Suelo Seco, [gr]	(4)-(2)	16.503	16.093	19.810
7: Contenido de Humedad, [%]	(5)/(6)X100	29.73	28.94	28.42

WL=28.81%

B. LÍMITE PLÁSTICO

PROCEDIMIENTO	FORMULA	TARA N°		
		23	38	1
1: Peso Tara, [gr]		15.620	21.420	20.570
2: Peso Tara + Suelo Humedo, [gr]		22.500	28.500	25.500
3: Peso Tara + Suelo Seco, [gr]		21.400	27.400	24.750
4: Peso Agua, [gr]	(2)-(3)	1.100	1.100	0.750
5: Peso Suelo Seco, [gr]	(3)-(1)	5.780	5.980	4.180
6: Contenido de Humedad	(4)/(5)X100	19.031	18.395	17.943

LP=18.46%





$IP = LL - LP = 10.36\%$

3) CONTENIDO DE HUMEDAD (ASTM – D2216)

PROCEDIMIENTO	FORMULA	TARA-N°
		13
1. Peso Tara, [gr]		21.60
2. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr]		103.20
3. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]		85.50
4. Peso Agua, [gr]	(2)-(3)	17.70
5. Peso Suelo Seco, [gr]	(3)-(1)	63.90
6. Contenido de Humedad, [%]	(4)/(5)X100	27.70

Resumen De Los ensayos realizados en Estado Natural en la calicata C-2.

CLASIFICACION SUCS	CLASIFICACION AASHTO	LIMITE LIQUIDO	LIMITE PLATICO	INDICE DE PLASTICIDAD	CONTENIDO DE HUMEDAD
CL	A-4	28.81%	18.46%	10.36%	27.70%



ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

ENSAYO N°	1	2	3	4
DETERMINACIÓN DE DENSIDAD				
Numero de Capas	5	5	5	5
Numero de Golpes	25	25	25	25
Peso Suelo + Molde (gr)	5,965	6,040	6,175	5,830
Peso del Molde (gr)	4,220	4,220	4,220	3,910
Peso Suelo Humedo Compactado (gr)	1,745	1,820	1,955	1,920
Volumen del Molde (cm ³)	947.87	947.87	947.87	947.87
Densidad Humeda (gr/cm ³)	1.84	1.92	2.06	2.03
DETERMINACIÓN DE CONTENIDO DE HUMEDAD				
RECIPIENTE N°	1	2	3	4
Suelo Humedo + Tara (gr)	61.65	56.34	72.69	53.97
Suelo Seco + Tara (gr)	59.20	53.90	67.35	50.35
Peso Tara (gr)	24.77	27.01	21.98	25.27
Peso del Agua (gr)	2.45	2.44	5.34	3.62
Peso del Suelo Seco (gr)	34.43	26.89	45.37	25.08
Contenido de Humedad (%)	7.10	9.10	11.80	14.40
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.718	1.760	1.843	1.774
Peso Especifico, G _s	2.70	2.70	2.70	2.70

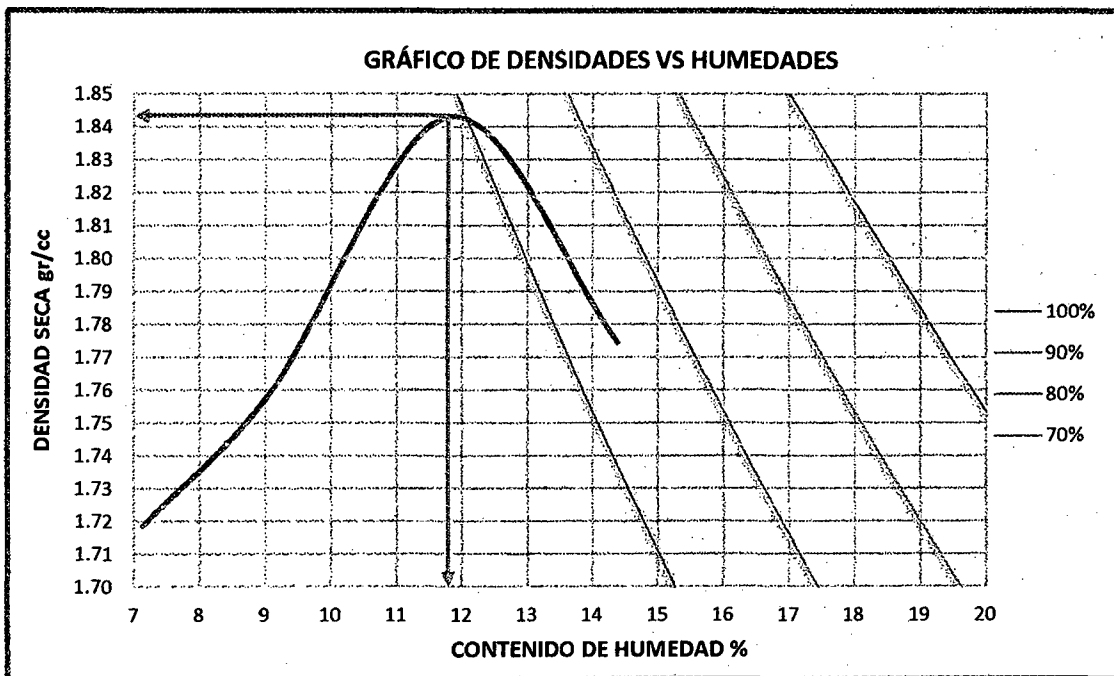
TRAZO DE LA CURVA DE SATURACIÓN

$$\omega = \left(\frac{1}{\gamma_s} - \frac{1}{G_s} \right) \times 100$$

$$\gamma_s = \left(\frac{\omega}{100} + \frac{1}{G_s} \right)^{-1}$$



DENS. SECA	% W	% DE SATURACION			
		100	90	80	70
1.718	7.10	2.266	2.226	2.178	2.120
1.760	9.10	2.167	2.121	2.066	1.999
1.843	11.80	2.048	1.994	1.931	1.855
1.774	14.40	1.944	1.885	1.817	1.736



Densidad máxima (gr/cm ³)	1.844
Humedad óptima (%)	11.80



ENSAYO DE C.B.R.

a) Ensayo Preliminar del Proctor Modificado

Densidad máxima (gr/cm ³)	1.844
Humedad óptima (%)	11.80
95%MDS	1.752

b) Compactación de los Moldes de CBR

Molde N°	1	2	3
Capas N°	5	5	5
Golpes por capa N°	56	26	10
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	12147.00	11975.00	11789.00
Peso de molde (g)	7558.00	7616.00	7700.00
Peso del suelo húmedo (g)	4589.00	4359.00	4089.00
Volumen del molde (cm ³)	2130.00	2148.00	2120.00
Densidad húmeda (g/cm ³)	2.154	2.029	1.929
Tara (N°)			
Peso suelo húmedo + tara (g)	115.23	125.23	103.50
Peso suelo seco + tara (g)	105.58	113.36	93.71
Peso de tara (g)	31.10	21.60	18.10
Peso de agua (g)	9.65	11.87	9.79
Peso de suelo seco (g)	74.48	91.76	75.61
Contenido de humedad (%)	12.96	12.94	12.95
Densidad seca (g/cm ³)	1.907	1.797	1.708



c) Prueba de Penetración

PENETRACIÓN										
Area del anillo 3.02 pulg ²		Presión (LB/PULG ²)=FUERZA/AREA DE ANILLO								
PENETRACIÓN pulgadas	CARGA STAND: Lb/pulg ²	MOLDE Nº 01			MOLDE Nº 02			MOLDE Nº 03		
		CARGA			CARGA			CARGA		
		FUERZA	PRESIÓN	%	FUERZA	PRESIÓN	%	FUERZA	PRESIÓN	%
0.000		0	0.0		0	0.0		0	0.0	
0.025		94	31.2		73	24.2		47	15.6	
0.050		153	50.5		106	35.2		77	25.4	
0.075		212	70.2		165	54.6		108	35.6	
0.100	1000	250	82.8	8.3	210	69.5	7.0	168	55.6	5.6
0.125		364	120.5		303	100.2		274	90.6	
0.150		423	140.2		373	123.4		333	110.4	
0.175		484	160.4		426	141.2		378	125.3	
0.200	1500	546	180.7	12.0	487	161.2	10.7	424	140.5	9.4
0.250		605	200.3		575	190.4		496	164.2	
0.300	1900	665	220.1		636	210.6		560	185.4	

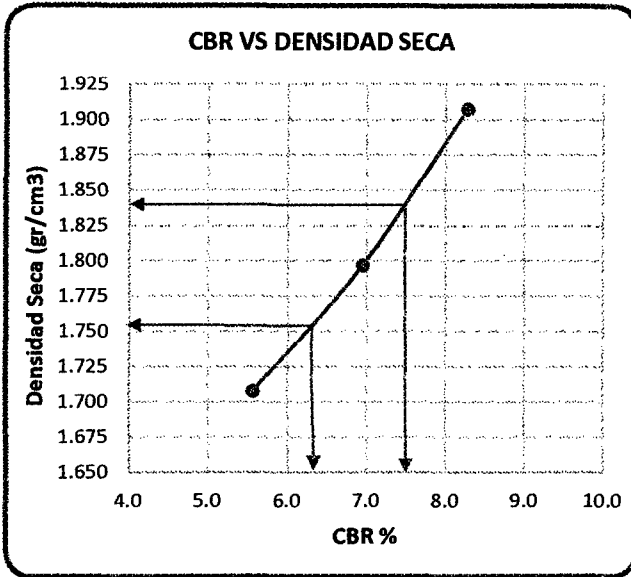
C. Expansión

FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPASION		DIAL	EXPASION		DIAL	EXPASION	
				mm	%		mm	%		mm	%
07/03/2014	18:00 pm	00 Hrs.	0.0000	0.0000	0.00	0.0000	0.000	0.00	0.0000	0.000	0.00
08/03/2014	18:00 pm	24 Hrs.	0.0137	0.348	0.27	0.0415	1.054	0.83	0.0470	1.194	0.94
09/03/2014	18:00 pm	48 Hrs.	0.0614	1.560	1.23	0.0578	1.468	1.16	0.0641	1.628	1.28



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

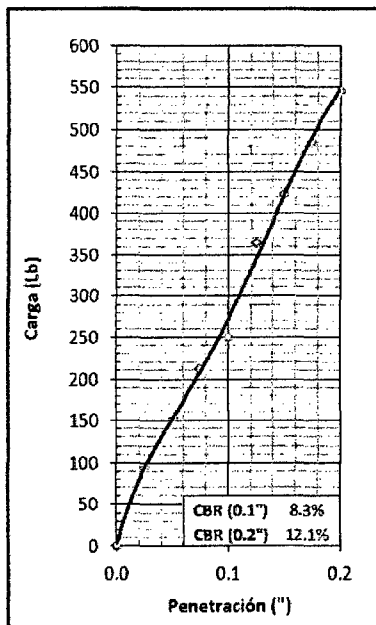
ASTM D-1883



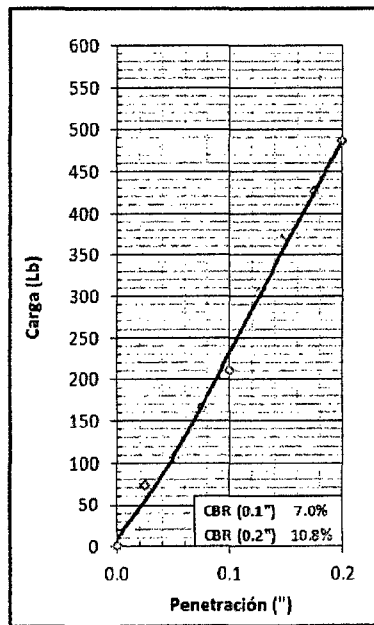
MÉTODO DE COMPACTACIÓN	ASTM D 1557
Densidad máxima (gr/cm³)	1.844
Humedad óptima (%)	11.80
95%MDS	1.752

C.B.R. Al 100% DE M.D.S. (%)	0.1"	7.50%
C.B.R. Al 95% DE M.D.S. (%)	0.1"	6.30%

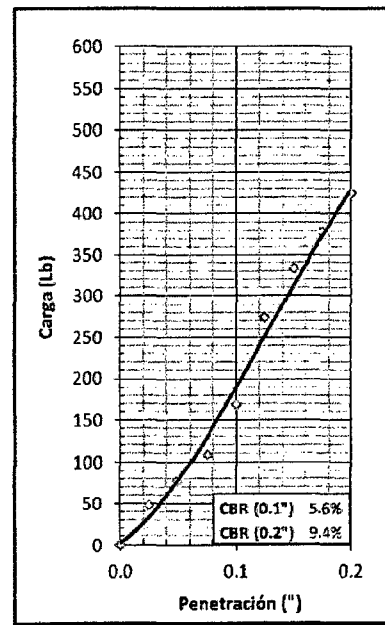
EC = 56 GOLPES



EC = 25 GOLPES



EC = 10 GOLPES





CALICATA C – 2
EMPLEANDO EL ESTABILIZANTE
IÓNICO POLYSES



1) LÍMITES DE CONSISTENCIA (ASTM -D4318)

A. LÍMITE LÍQUIDO

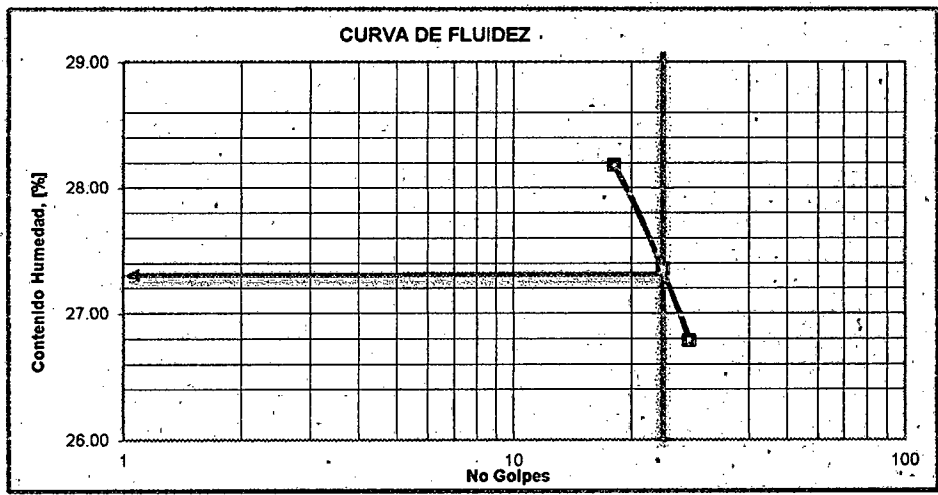
LL=27.36%

PROCEDIMIENTO	FORMULA	TARA N°		
		33	20	27
1. No de Golpes		18	24	28
2. Peso Tara, [gr]		18.920	23.460	21.340
3. Peso Tara + Suelo Humedo, [gr]		45.300	48.600	46.900
4. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]		39.500	43.200	41.500
5. Peso Agua, [gr]	(3)-(4)	5.800	5.400	5.400
6. Peso Suelo Seco, [gr]	(4)-(2)	20.580	19.740	20.160
7. Contenido de Humedad, [%]	(5)/(6)X100	28.18	27.36	26.79

C. LÍMITE PLÁSTICO

LP=21.28%

PROCEDIMIENTO	FORMULA	TARA N°		
		23	38	1
1. Peso Tara, [gr]		15.620	21.420	20.570
2. Peso Tara + Suelo Humedo, [gr]		22.500	25.010	24.780
3. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]		21.250	24.380	24.030
4. Peso Agua, [gr]	(2)-(3)	1.250	0.630	0.750
5. Peso Suelo Seco, [gr]	(3)-(1)	5.630	2.960	3.460
6. Contenido de Humedad, [%]	(4)/(5)X100	22.202	21.284	21.676



LL=27.36%
 LP=21.28%



ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

ENSAYO N°	1	2	3	4
DETERMINACIÓN DE DENSIDAD				
Número de Capas	5	5	5	5
Número de Golpes	25	25	25	25
Peso Suelo + Molde (gr)	6,230	6,345	6,370	6,310
Peso del Molde (gr)	4,220	4,220	4,220	4,220
Peso Suelo Humedo Compactado (gr)	2,010	2,125	2,150	2,090
Volumen del Molde (cm ³)	947.87	947.87	947.87	947.87
Densidad Humeda (gr/cm ³)	2.12	2.24	2.27	2.20
DETERMINACIÓN DE CONTENIDO DE HUMEDAD				
RECIPIENTE N°	1	2	3	4
Suelo Humedo + Tara (gr)	72.11	79.37	74.19	78.56
Suelo Seco + Tara (gr)	68.24	74.48	69.10	72.07
Peso Tara (gr)	24.77	29.36	27.01	25.27
Peso del Agua (gr)	3.87	4.89	5.09	6.49
Peso del Suelo Seco (gr)	43.47	45.12	42.09	46.80
Contenido de Humedad (%)	8.90	10.80	12.10	13.90
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.947	2.022	2.025	1.932
Peso Especifico, G _s	2.70	2.70	2.70	2.70

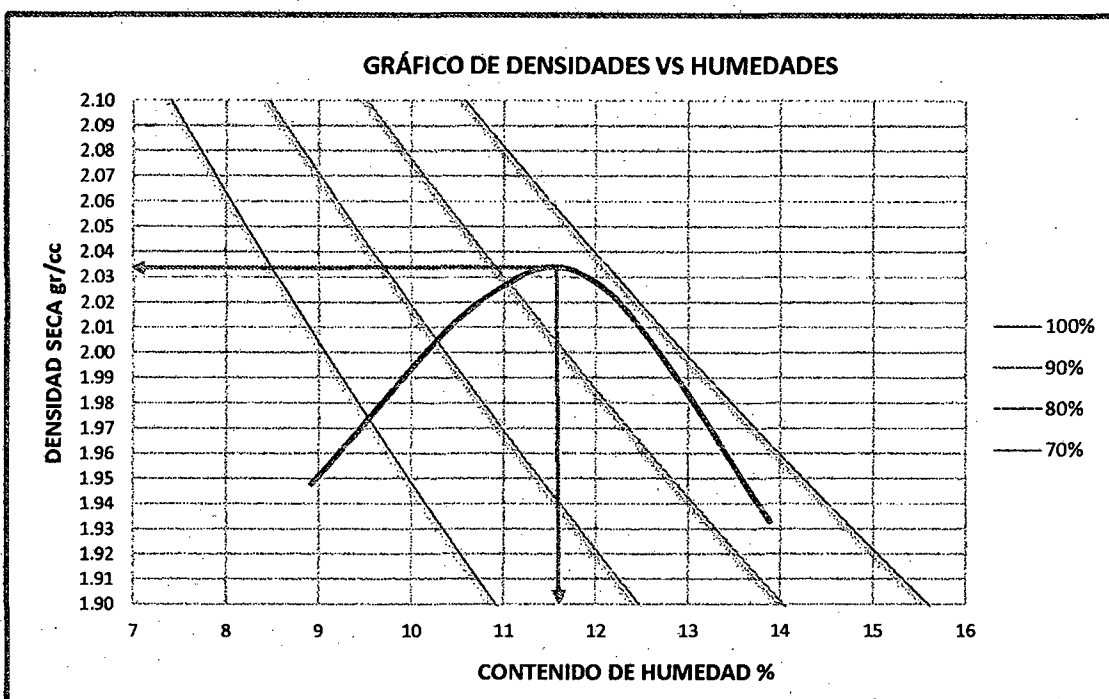
TRAZO DE LA CURVA DE SATURACIÓN

$$\omega = \left(\frac{1}{\gamma_s} - \frac{1}{G_s} \right) \times 100$$

$$\gamma_s = \left(\frac{\omega}{100} + \frac{1}{G_s} \right)^{-1}$$



DENS. SECA	% W	% DE SATURACION			
		100	90	80	70
1.947	8.90	2.177	2.131	2.076	2.010
2.022	10.80	2.090	2.039	1.979	1.906
2.025	12.10	2.035	1.981	1.917	1.841
1.932	13.90	1.963	1.905	1.838	1.758



Densidad máxima (gr/cm ³)	2.035
Humedad óptima (%)	11.60



ENSAYO DE C.B.R.

a) Ensayo Preliminar del Proctor Modificado

Densidad máxima (gr/cm ³)	2.035
Humedad óptima (%)	11.60
95% MDS	1.933

b) Compactación de los Moldes De CBR

Molde Nº	1	2	3
Capas Nº	5	5	5
Golpes por capa Nº	56	26	10
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	12598.00	12368.00	12158.00
Peso de molde (g)	7558.00	7616.00	7700.00
Peso del suelo húmedo (g)	5040.00	4752.00	4458.00
Volumen del molde (cm ³)	2130.00	2148.00	2120.00
Densidad húmeda (g/cm ³)	2.366	2.212	2.103
Tara (Nº)	31	44	53
Peso suelo húmedo + tara (g)	123.18	118.05	86.50
Peso suelo seco + tara (g)	111.58	105.89	77.81
Peso de tara (g)	32.10	22.70	18.15
Peso de agua (g)	11.60	12.16	8.69
Peso de suelo seco (g)	79.48	83.19	59.66
Contenido de humedad (%)	14.59	14.62	14.57
Densidad seca (g/cm ³)	2.065	1.930	1.835



c) PRUEBA DE PENETRACIÓN

PENETRACIÓN										
Área del anillo: 3.02 pulg ²		Presión (LB / PULG ²)=FUERZA/ÁREA DE ANILLO								
PENETRACIÓN pulgadas	CARGA STAND Lb/pulg ²	MOLDE Nº 01			MOLDE Nº 02			MOLDE Nº 03		
		FUERZA	PRESIÓN	%	FUERZA	PRESIÓN	%	FUERZA	PRESIÓN	%
0.000		0	0.0		0	0.0		0	0.0	
0.025		485	160.7		271	89.6		318	105.3	
0.050		1284	425.3		799	264.6		631	209.1	
0.075		1858	615.2		1310	433.8		1059	350.6	
0.100	1000	1924	637	63.7	1585	525	52.5	1204	399	39.9
0.125		2493	825.6		2303	762.5		1512	500.6	
0.150		2871	950.6		2582	855.1		1753	580.6	
0.175		3171	1050.0		2940	973.6		1934	640.5	
0.200	1500	3745	1240	82.7	3149	1043	69.5	2176	721	48.0
0.250		3988	1320.5		3383	1120.1		2447	810.2	
0.300	1900	4289	1420.3		4079	1350.6		2675	885.6	

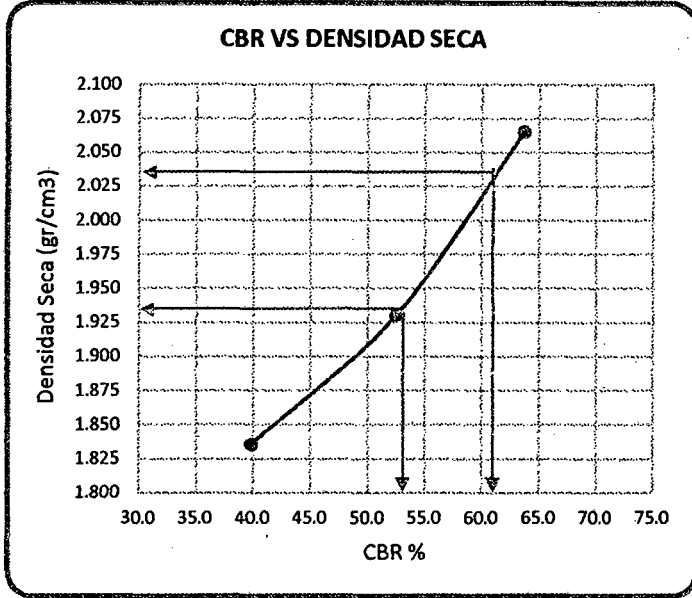
d) Expansión

FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN	
				mm	%		mm	%		mm	%
09/03/2014	15:00 pm	00 Hrs.	0.0000	0.0000	0.00	0.0000	0.000	0.00	0.0000	0.000	0.00
10/03/2014	15:00 pm	24 Hrs.	0.0254	0.645	0.51	0.0341	0.866	0.68	0.0142	0.361	0.28
11/03/2014	15:00 pm	48 Hrs.	0.0457	1.161	0.91	0.0512	1.300	1.02	0.0541	1.374	1.08



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

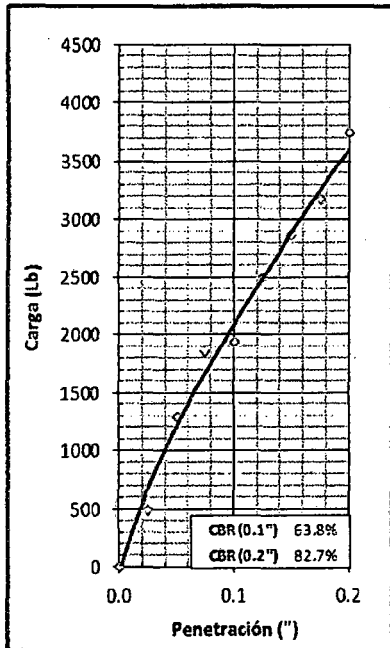
ASTM D-1883



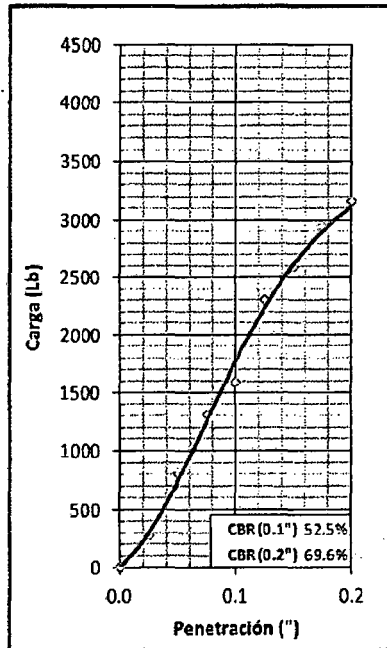
MÉTODO DE COMPACTACIÓN	ASTM D 1557
Densidad máxima (gr/cm³)	2.035
Humedad óptima (%)	11.60
95%MDS	1.933

C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1"	61.00 %
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	0.1"	53.00 %

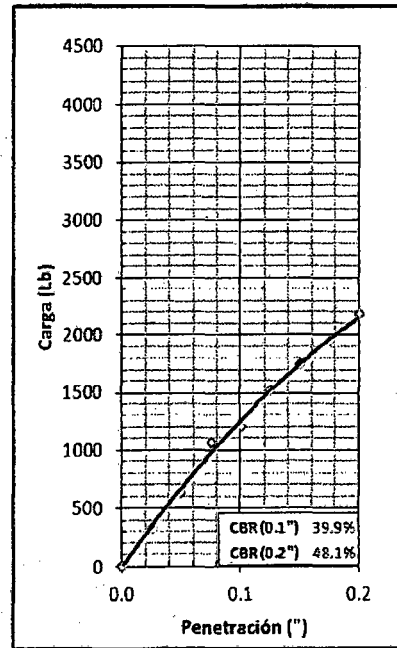
EC = 58 GOLPES



EC = 25 GOLPES



EC = 10 GOLPES





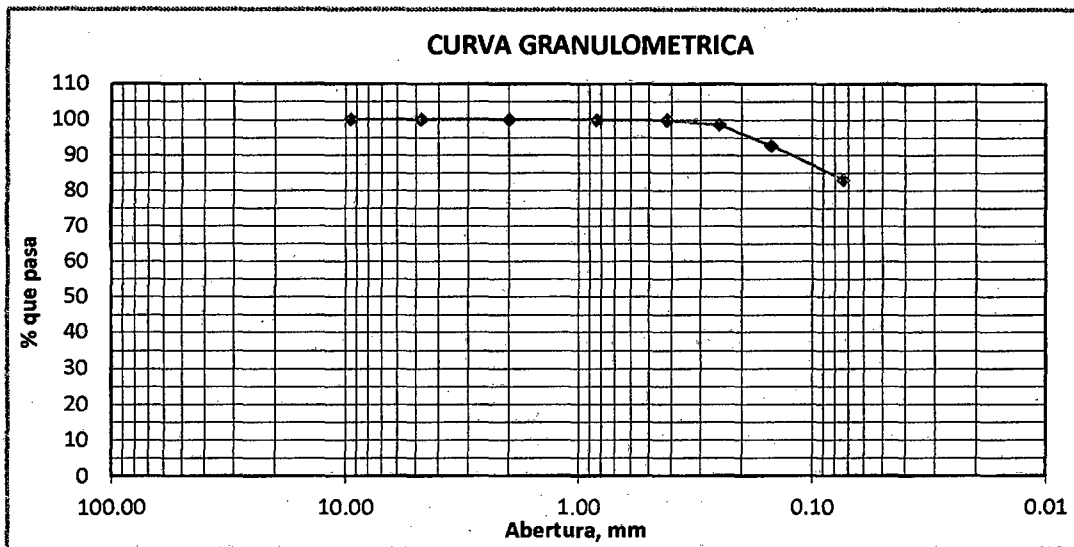
CALICATA C – 3 EN ESTADO NATURAL



1) ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM - D421)

Peso Inicial Seco (gr)	1227.80
Peso Lavado y Seco (gr)	209.10

MALLAS	ABERTURA	PESO	% PESO	% PESO	% PASA
	[mm]	RETENIDO [grs]	RETENIDO Parcial	RETENIDO Acumulado	
3"	76.000				
2"	50.800				
1 1/2"	38.100				
1"	25.400				
3/4"	19.050				
1/2"	12.500				
3/8"	9.525	0.00	0.00	0.00	100.00
N° 4	4.760	0.20	0.02	0.02	99.98
N° 10	2.000	0.90	0.07	0.09	99.91
N° 20	0.840	0.60	0.05	0.14	99.86
N° 40	0.420	2.10	0.17	0.31	99.69
N° 60	0.250	15.80	1.29	1.60	98.40
N° 100	0.150	71.80	5.85	7.44	92.56
N° 200	0.074	117.70	9.59	17.03	82.97
< N° 200		1018.70	82.97	100.00	





2) LÍMITES DE CONSISTENCIA (ASTM - D4318)

A. LÍMITE LÍQUIDO

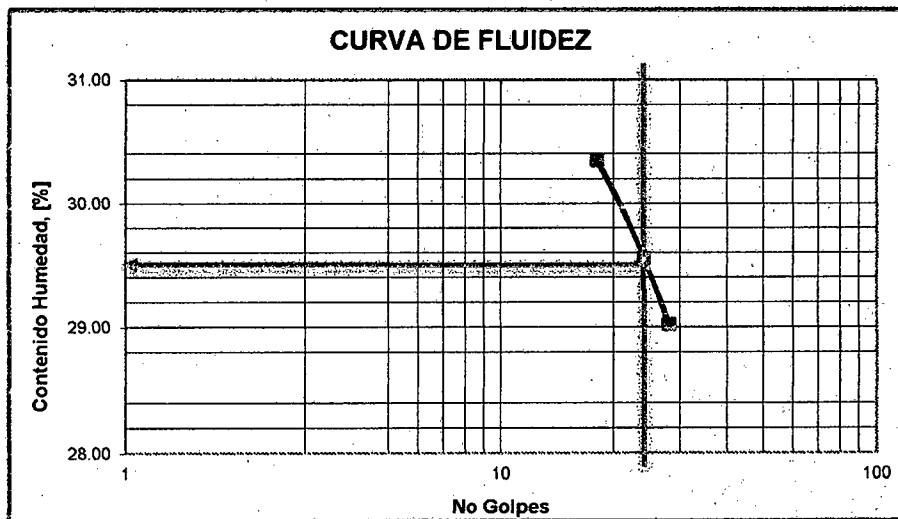
PROCEDIMIENTO	FORMULA	TARA N°		
		21	8	72
1. No de Golpes		18	24	28
2. Peso Tara, [gr]		22.130	31.520	20.960
3. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr]		39.670	46.530	41.810
4. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]		35.586	43.106	37.120
5. Peso Agua, [gr]	(3)-(4)	4.084	3.424	4.690
6. Peso Suelo Seco, [gr]	(4)-(2)	13.456	11.586	16.160
7. Contenido de Humedad, [%]	(5)/(6)X100	30.35	29.55	29.02

LL = 29.50 %

B. LÍMITE PLÁSTICO

PROCEDIMIENTO	FORMULA	TARA N°		
		44	40	17
1. Peso Tara, [gr]		13.220	13.370	21.230
2. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr]		17.030	16.460	24.050
3. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]		16.400	15.970	23.700
4. Peso Agua, [gr]	(2)-(3)	0.630	0.490	0.350
5. Peso Suelo Seco, [gr]	(3)-(1)	3.180	2.600	2.470
6. Contenido de Humedad	(4)/(5)X100	19.811	18.846	14.170

L.P = 17.61 %





$IP = L.L - L.P = 11.89\%$

3) CONTENIDO DE HUMEDAD (ASTM – D2216)

PROCEDIMIENTO	FORMULA	TARA N°
		13
1. Peso Tara, [gr]		18.30
2. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr]		123.10
3. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]		99.20
4. Peso Agua, [gr]	(2)-(3)	23.90
5. Peso Suelo Seco, [gr]	(3)-(1)	80.90
6. Contenido de Humedad, [%]	(4)/(5)X100	29.54

Resumen De Los ensayos realizados en Estado Natural en la calicata C-3.

CLASIFICACIÓN SUCS	CLASIFICACION AASHTO	LÍMITE LIQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO	ÍNDICE DE PLASTICIDAD	CONTENIDO DE HUMEDAD
CL	A-4	289.50 %	17.61 %	11.89 %	29.54 %



ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

ENSAYO N°	1	2	3	4
DETERMINACIÓN DE DENSIDAD				
Número de Capas	5	5	5	5
Número de Golpes	25	25	25	25
Peso Suelo + Molde (gr)	5,960	6,020	6,165	5,835
Peso del Molde (gr)	4,220	4,220	4,220	3,910
Peso Suelo Humedo Compactado (gr)	1,740	1,800	1,945	1,925
Volumen del Molde (cm ³)	947.87	947.87	947.87	947.87
Densidad Humeda (gr/cm ³)	1.84	1.90	2.05	2.03
DETERMINACIÓN DE CONTENIDO DE HUMEDAD				
RECIPIENTE N°	1	2	3	4
Suelo Humedo + Tara (gr)	62.24	57.31	63.81	58.68
Suelo Seco + Tara (gr)	59.71	54.01	57.85	54.50
Peso Tara (gr)	24.77	17.78	11.42	27.11
Peso del Agua (gr)	2.53	3.30	5.96	4.18
Peso del Suelo Seco (gr)	34.94	36.23	46.43	27.39
Contenido de Humedad (%)	7.20	9.10	12.80	15.30
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.716	1.742	1.817	1.761
Peso Especifico, G _s	2.70	2.70	2.70	2.70

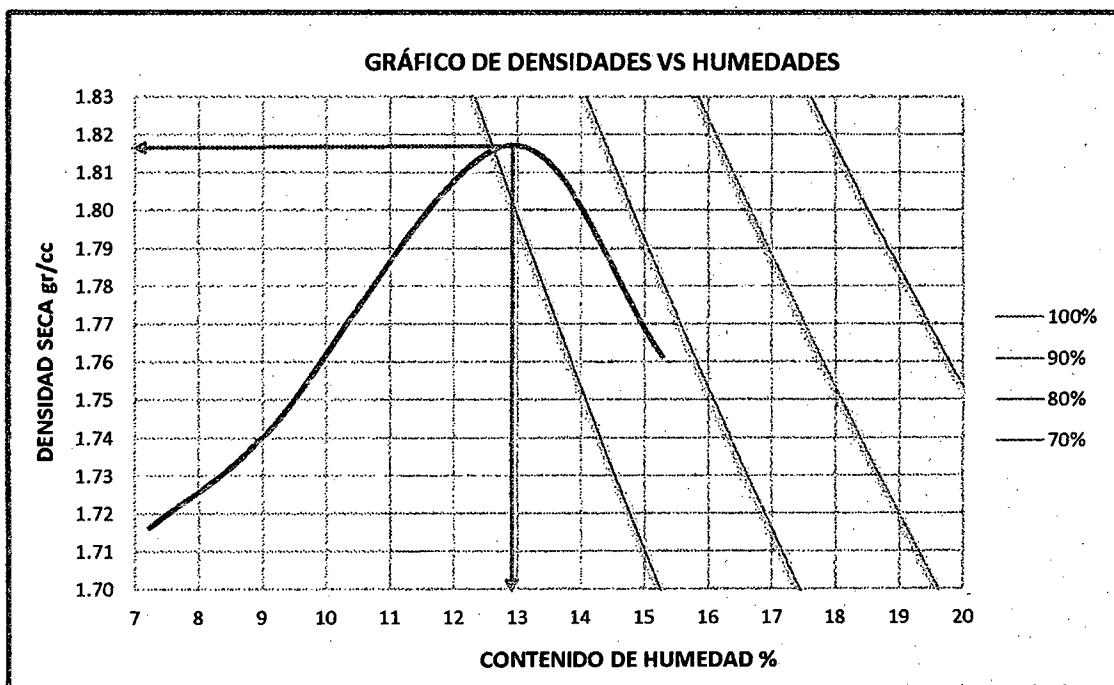
TRAZO DE LA CURVA DE SATURACIÓN

$$\omega = \left(\frac{1}{\gamma_s} - \frac{1}{G_s} \right) \times 100$$

$$\gamma_s = \left(\frac{\omega}{100} + \frac{1}{G_s} \right)^{-1}$$



DENS. SECA	% W	% DE SATURACIÓN			
		100	90	80	70
1.716	7.20	2.261	2.220	2.172	2.113
1.742	9.10	2.167	2.121	2.066	1.999
1.817	12.80	2.007	1.951	1.885	1.808
1.761	15.30	1.911	1.851	1.781	1.698



Densidad maxima (gr/cm ³)	1.817
Humedad optima (%)	12.95



ENSAYO DE C.B.R.

a) Ensayo Preliminar del Proctor Modificado

Densidad máxima (gr/cm ³)	1.817
Humedad óptima (%)	12.95
95%MDS	1.726

b) Compactación de los moldes de CBR

Molde Nº	1	2	3
Capas Nº	5	5	5
Golpes por capa Nº	56	25	10
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	12068.00	12010.00	11900.00
Peso de molde (g)	7558.00	7616.00	7700.00
Peso del suelo húmedo (g)	4510.00	4394.00	4200.00
Volumen del molde (cm ³)	2130.00	2148.00	2120.00
Densidad húmeda (g/cm ³)	2.117	2.046	1.981
Tara (Nº)			
Peso suelo húmedo + tara (g)	115.40	123.70	81.00
Peso suelo seco + tara (g)	104.00	109.91	72.50
Peso de tara (g)	31.10	21.60	18.10
Peso de agua (g)	11.40	13.79	8.50
Peso de suelo seco (g)	72.90	88.31	54.40
Contenido de humedad (%)	15.64	15.62	15.63
Densidad seca (g/cm ³)	1.831	1.769	1.713



c) Prueba de Penetración

PENETRACIÓN										
Area del anillo: 3.02 pulg ²		Presión (LB/PULG ²)=FUERZA/ÁREA DE ANILLO								
PENETRACIÓN pulgadas	CARGA STAND. Lb/pulg ²	MOLDE Nº 01			MOLDE Nº 02			MOLDE Nº 03		
		CARGA			CARGA			CARGA		
		FUERZA	PRESIÓN	%	FUERZA	PRESIÓN	%	FUERZA	PRESIÓN	%
0.000		0	0.0		0	0.0		0	0.0	
0.025		145	47.9		129	42.7		118	38.9	
0.050		165	54.7		140	46.4		127	41.9	
0.075		188	62.2		152	50.2		148	49.0	
0.100	1000	234	77.5	7.8	200	66.1	6.6	172	56.8	5.7
0.125		259	85.7		224	74.3		197	65.2	
0.150		292	96.6		274	90.8		227	75.0	
0.175		372	123.1		322	106.6		259	85.6	
0.200	1500	417	138.2	9.2	360	119.4	8.0	312	103.4	6.9
0.250		458	151.6		391	129.5		334	110.5	
0.300		499	165.2		423	140.2		367	121.6	

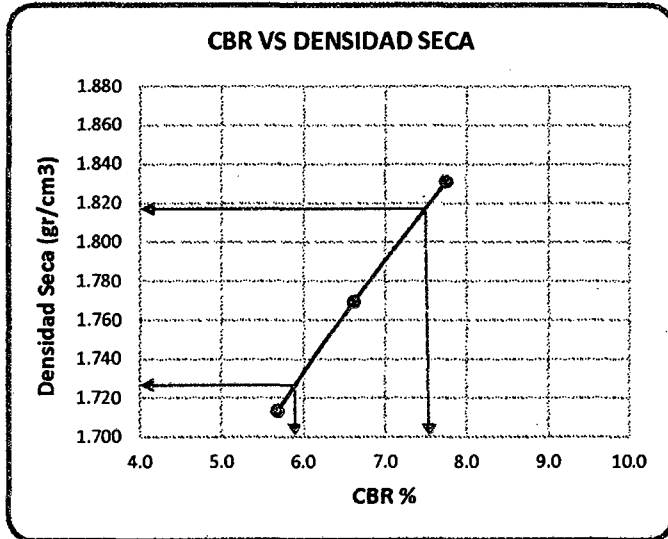
d) Expansión

FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPASION		DIAL	EXPASION		DIAL	EXPASION	
				mm	%		mm	%		mm	%
15/03/2014	17:00 pm	00 Hrs.	0.0000	0.0000	0.00	0.0000	0.000	0.00	0.0000	0.000	0.00
16/03/2014	17:00 pm	24 Hrs.	0.0214	0.544	0.43	0.0213	0.541	0.43	0.0120	0.305	0.24
17/03/2014	17:00 pm	48 Hrs.	0.0541	1.374	1.08	0.0412	1.046	0.82	0.0489	1.242	0.98



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

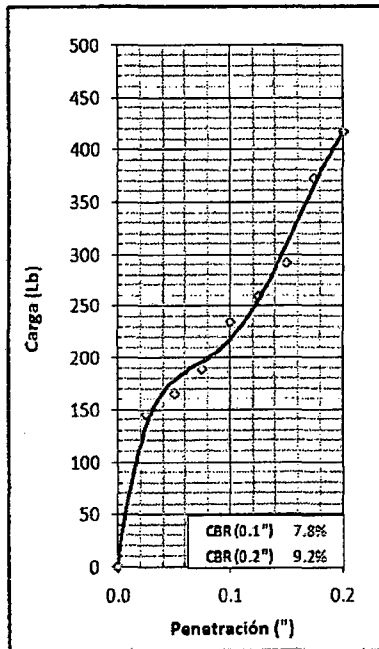
ASTM D-1883



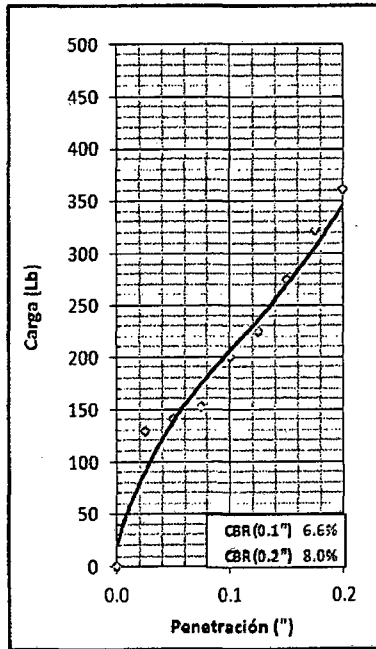
MÉTODO DE COMPACTACION	ASTM D 1557
Densidad máxima (gr/cm³)	1.817
Humedad optima (%)	12.95
95%MDS	1.726

C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1"	7.55%
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	0.1"	5.90%

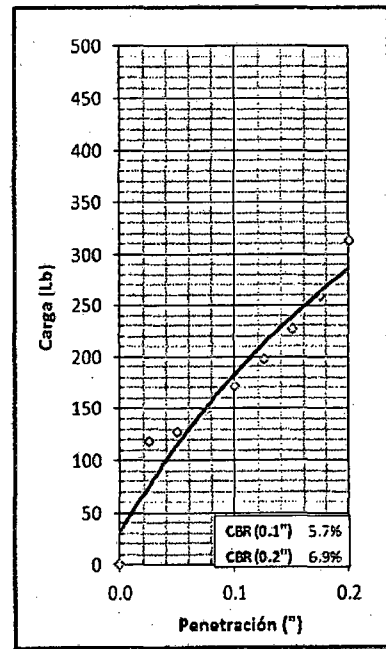
EC = 56 GOLPES



EC = 25 GOLPES



EC = 10 GOLPES





CALICATA C – 3
EMPLEANDO EL ESTABILIZANTE
IÓNICO POLYSES



2) LÍMITES DE CONSISTENCIA (ASTM -D4318)

A. LÍMITE LÍQUIDO

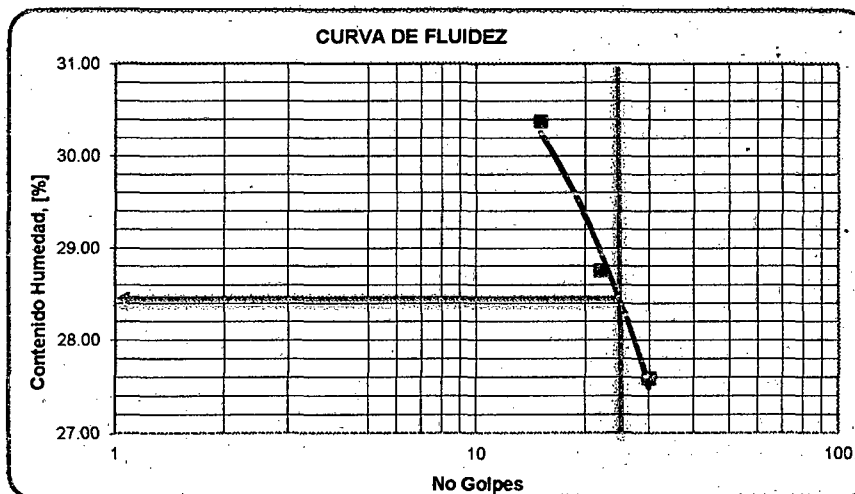
IP = 28.50 %

PROCEDIMIENTO	FORMULA	TARA N°		
		40	8	54
1. No de Golpes		15	22	30
2. Peso Tara, [gr]		22.090	22.700	29.500
3. Peso Tara + Suelo Humedo, [gr]		48.700	44.200	44.300
4. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]		42.500	39.400	41.100
5. Peso Agua, [gr]	(3)-(4)	6.200	4.800	3.200
6. Peso Suelo Seco, [gr]	(4)-(2)	20.410	16.700	11.600
7. Contenido de Humedad, [%]	(5)/(6)X100	30.38	28.74	27.59

B. LÍMITE PLÁSTICO

IP = 22.98 %

PROCEDIMIENTO	FORMULA	TARA N°		
		47	45	17
1. Peso Tara, [gr]		13.220	13.370	21.230
2. Peso Tara + Suelo Humedo, [gr]		18.500	17.500	24.050
3. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]		17.500	16.700	23.550
4. Peso Agua, [gr]	(2)-(3)	1.000	0.800	0.500
5. Peso Suelo Seco, [gr]	(3)-(1)	4.280	3.330	2.320
6. Contenido de Humedad, [%]	(4)/(5)X100	23.364	24.024	21.552



IP = 11.11 - LL = 5.52 %



ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

ENSAYO N°	1	2	3	4
DETERMINACIÓN DE DENSIDAD				
Número de Capas	5	5	5	5
Número de Golpes	25	25	25	25
Peso Suelo + Molde (gr)	6,215	6,315	6,385	6,305
Peso del Molde (gr)	4,220	4,220	4,220	4,220
Peso Suelo Humedo Compactado (gr)	1,995	2,095	2,165	2,085
Volumen del Molde (cm ³)	947.87	947.87	947.87	947.87
Densidad Humeda (gr/cm ³)	2.10	2.21	2.28	2.20
DETERMINACIÓN DE CONTENIDO DE HUMEDAD				
RECIPIENTE N°	1	2	3	4
Suelo Humedo + Tara (gr)	68.31	70.64	73.18	69.53
Suelo Seco + Tara (gr)	65.20	66.76	68.57	64.11
Peso Tara (gr)	24.77	25.62	27.11	24.71
Peso del Agua (gr)	3.11	3.88	4.61	5.42
Peso del Suelo Seco (gr)	40.43	41.14	41.46	39.40
Contenido de Humedad (%)	7.70	9.40	11.10	13.80
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.950	2.020	2.052	1.933
Peso Especifico, G _s	2.70	2.70	2.70	2.70

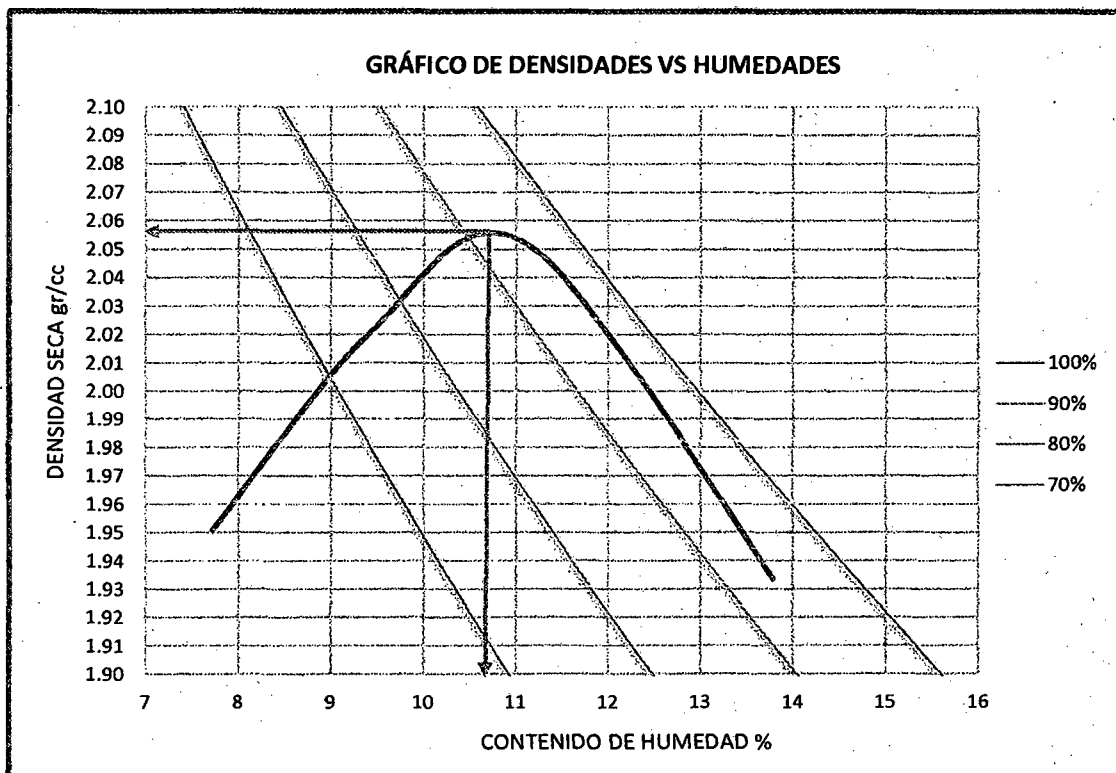
TRAZO DE LA CURVA DE SATURACIÓN

$$\omega = \left(\frac{1}{\gamma_s} - \frac{1}{G_s} \right) \times 100$$

$$\gamma_s = \left(\frac{\omega}{100} + \frac{1}{G_s} \right)^{-1}$$



DENS. SECA	% W	% DE SATURACIÓN			
		100	90	80	70
1.950	7.70	2.235	2.193	2.143	2.082
2.020	9.40	2.153	2.106	2.050	1.982
2.052	11.10	2.077	2.026	1.964	1.891
1.933	13.80	1.967	1.909	1.842	1.762



Densidad máxima (gr/cm ³)	2.056
Humedad óptima (%)	10.78



ENSAYO DE C.B.R.

a) Ensayo Preliminar del Proctor Modificado

Densidad máxima (g/cm ³)	2.056
Humedad óptima (%)	10.78
95% MDS	1.953

b) Compactación de los Moldes De CBR

Molde N°	1	2	3
Capas N°	5	5	5
Golpes por capa N°	56	25	10
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	12670.00	12390.00	12010.00
Peso de molde (g)	7558.00	7616.00	7700.00
Peso del suelo húmedo (g)	5112.00	4774.00	4310.00
Volumen del molde (cm ³)	2130.00	2148.00	2120.00
Densidad húmeda (g/cm ³)	2.400	2.223	2.033
Tara (N°)			
Peso suelo húmedo + tara (g)	123.18	118.05	86.50
Peso suelo seco + tara (g)	110.56	104.85	77.12
Peso de tara (g)	32.10	22.80	18.71
Peso de agua (g)	12.62	13.20	9.38
Peso de suelo seco (g)	78.46	82.05	58.41
Contenido de humedad (%)	16.08	16.09	16.06
Densidad seca (g/cm ³)	2.067	1.915	1.752



c) Prueba de Penetración

PENETRACIÓN										
Area del anillo: 3.02 pulg ²		Presión (LB /PULG ²)=FUERZA/AREA DE ANILLO								
PENETRACIÓN pulgadas	CARGA STAND Lb/pulg ²	MOLDE Nº 01			MOLDE Nº 02			MOLDE Nº 03		
		CARGA			CARGA			CARGA		
		FUERZA	PRESIÓN	%	FUERZA	PRESIÓN	%	FUERZA	PRESIÓN	%
0.000		0	0.0		0	0.0		0	0.0	
0.025		485	160.7		271	89.6		318	105.3	
0.050		1284	425.3		799	264.6		631	209.1	
0.075		1692	560.4		1310	433.8		1270	420.5	
0.100	1000	2146	710.5	71.1	1934	640.5	64.1	1753	580.6	58.1
0.125		2496	826.4		2303	762.5		1995	660.5	
0.150		2801	927.4		2582	855.1		2342	775.4	
0.175		3058	1012.7		2940	973.6		2630	870.9	
0.200	1500	3402	1126.5	75.1	3149	1042.6	69.5	2720	900.5	60.0
0.250		3837	1270.6		3293	1090.3		2900	960.4	
0.300		4078	1350.5		3475	1150.6		3082	1020.5	

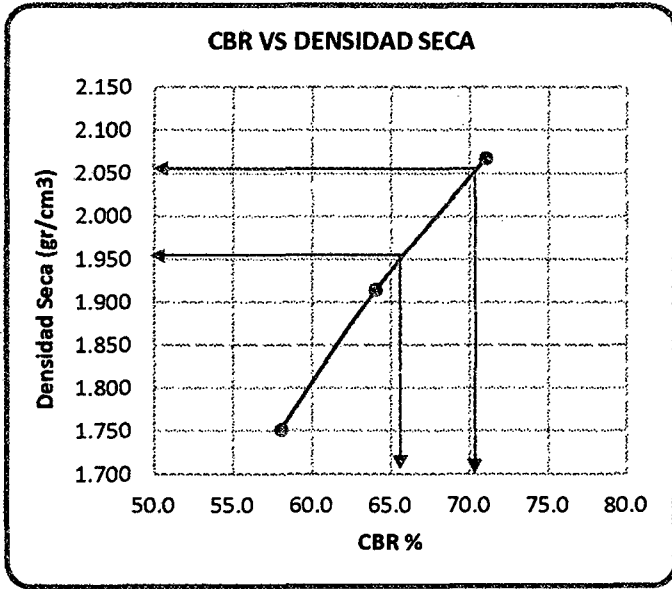
d) Expansión

FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN	
				mm	%		mm	%		mm	%
16/03/2014	19:00 pm	00 Hrs.	0.0000	0.0000	0.00	0.0000	0.000	0.00	0.0000	0.000	0.00
17/03/2014	19:00 pm	24 Hrs.	0.0189	0.480	0.38	0.0241	0.612	0.48	0.0470	1.194	0.94
18/03/2014	19:00 pm	48 Hrs.	0.0512	1.300	1.02	0.0587	1.491	1.17	0.0641	1.628	1.28



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

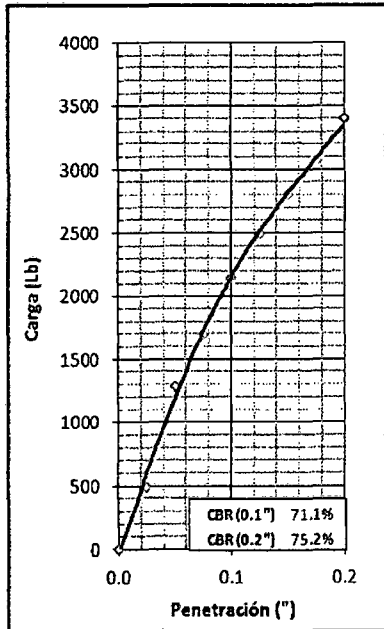
ASTM D-1883



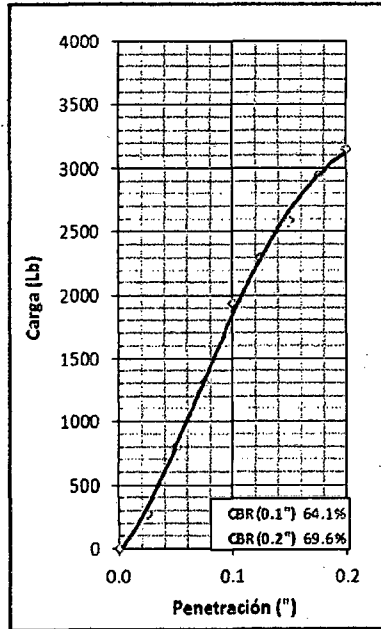
METODO DE COMPACTACIÓN	ASTM D 1557
Densidad máxima (gr/cm³)	2.056
Humedad óptima (%)	10.78
95%MDS	1.953

C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1"	70.90 %
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	0.1"	66.00 %

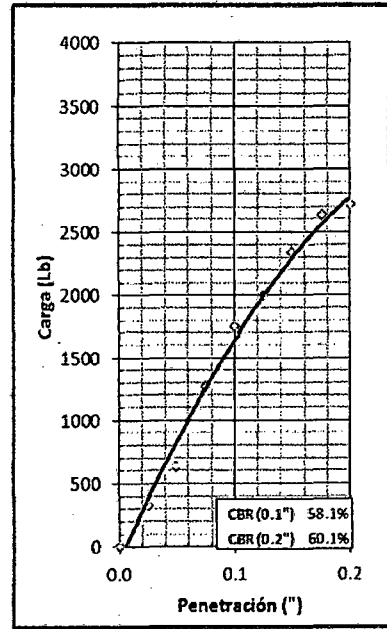
EC = 56 GOLPES



EC = 25 GOLPES



EC = 10 GOLPES





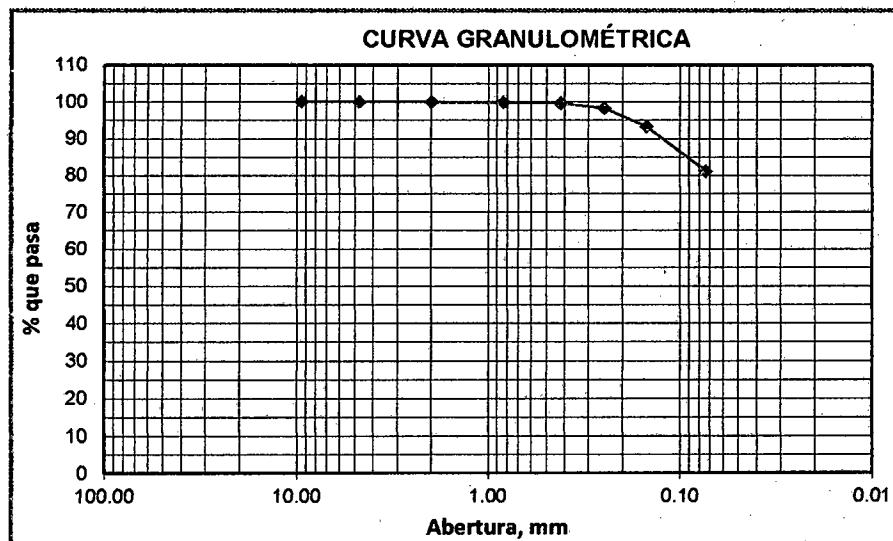
CALICATA C - 4
EN ESTADO NATURAL



1) ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM - D421)

Peso Inicial Seco. (gr)	1635.20
Peso Lavado y Seco. (gr)	310.90

MALLAS	ABERTURA [mm]	PESO RETENIDO [grs]	% PESO RETENIDO Parcial	% PESO RETENIDO Acumulado	% PASA
3"	76.000				
2"	50.800				
1 1/2"	38.100				
1"	25.400				
3/4"	19.050				
1/2"	12.500				
3/8"	9.525	0.00	0.00	0.00	100.00
N° 4	4.760	0.60	0.04	0.04	99.96
N° 10	2.000	1.20	0.07	0.11	99.89
N° 20	0.840	2.10	0.13	0.24	99.76
N° 40	0.420	3.50	0.21	0.45	99.55
N° 60	0.250	21.80	1.33	1.79	98.21
N° 100	0.150	83.40	5.10	6.89	93.11
N° 200	0.074	198.30	12.13	19.01	80.99
< N° 200		1324.30	80.99	100.00	





2) LÍMITES DE CONSISTENCIA (ASTM - D4318)

A. LÍMITE LÍQUIDO

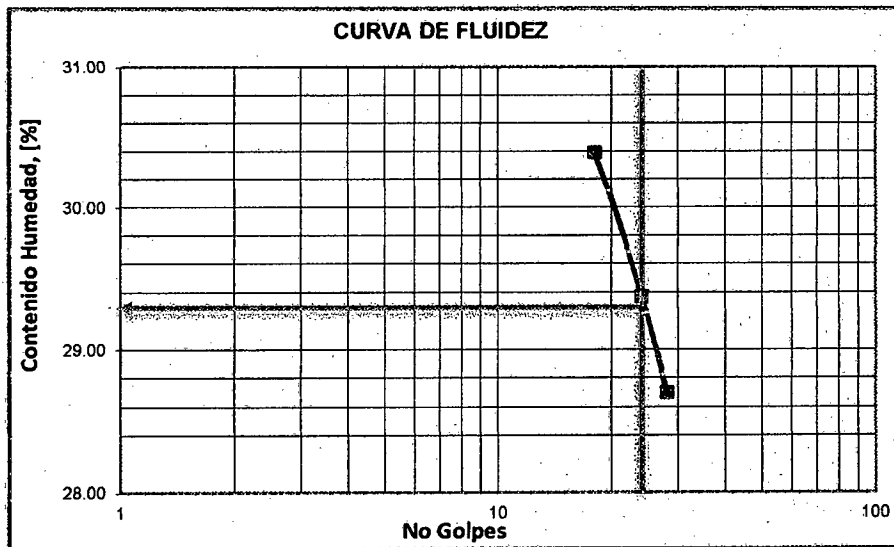
PROCEDIMIENTO	FÓRMULA	TARA N°		
		11	10	31
1. No de Golpes		18	24	28
2. Peso Tara, [gr]		21.420	22.120	21.860
3. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr]		38.450	37.230	42.910
4. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]		34.481	33.800	38.216
5. Peso Agua, [gr]	(3)-(4)	3.969	3.430	4.694
6. Peso Suelo Seco, [gr]	(4)-(2)	13.061	11.680	16.356
7. Contenido de Humedad, [%]	(5)/(6)X100	30.39	29.37	28.70

L.L = 29.25 %

B. LÍMITE PLÁSTICO

PROCEDIMIENTO	FÓRMULA	TARA N°		
		15	55	60
1. Peso Tara, [gr]		21.230	21.340	17.820
2. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr]		24.550	25.100	20.650
3. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]		24.060	24.530	20.190
4. Peso Agua, [gr]	(2)-(3)	0.490	0.570	0.460
5. Peso Suelo Seco, [gr]	(3)-(1)	2.830	3.190	2.370
6. Contenido de Humedad	(4)/(5)X100	17.314	17.868	19.409

L.P = 18.20 %





$IP = LL - LP = 11.05 \%$

3) CONTENIDO DE HUMEDAD (ASTM – D2216)

PROCEDIMIENTO	FORMULA	TARA N°
		50
1. Peso Tara, [gr]		21.30
2. Peso Tara + Suelo Humedo, [gr]		98.80
3. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]		81.40
4. Peso Agua, [gr]	(2)-(3)	17.40
5. Peso Suelo Seco, [gr]	(3)-(1)	60.10
6. Contenido de Humedad, [%]	(4)/(5)X100	28.95

Resumen De Los ensayos realizados en Estado Natural en la calicata C-3.

CLASIFICACIÓN SUCS	CLASIFICACIÓN AASHTO	LÍMITE LIQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO	ÍNDICE DE PLASTICIDAD	CONTENIDO DE HUMEDAD
CL	A-4	29.25 %	18.20 %	11.05 %	28.95 %



ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

ENSAYO N°	1	2	3	4
DETERMINACIÓN DE DENSIDAD				
Número de Capas	5	5	5	5
Número de Golpes	25	25	25	25
Peso Suelo + Molde (gr)	5,975	6,025	6,165	5,830
Peso del Molde (gr)	4,220	4,220	4,220	3,910
Peso Suelo Humedo Compactado (gr)	1,755	1,805	1,945	1,920
Volumen del Molde (cm ³)	947.87	947.87	947.87	947.87
Densidad Humeda (gr/cm ³)	1.85	1.90	2.05	2.03
DETERMINACIÓN DE CONTENIDO DE HUMEDAD				
RECIPIENTE N°	1	2	3	4
Suelo Humedo + Tara (gr)	69.34	44.78	76.69	63.97
Suelo Seco + Tara (gr)	66.15	42.61	71.41	58.70
Peso Tara (gr)	24.77	18.44	30.12	25.27
Peso del Agua (gr)	3.19	2.17	5.28	5.27
Peso del Suelo Seco (gr)	41.38	24.18	41.29	33.43
Contenido de Humedad (%)	7.70	9.00	12.80	15.80
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.718	1.743	1.817	1.753
Peso Especifico, Gs	2.70	2.70	2.70	2.70

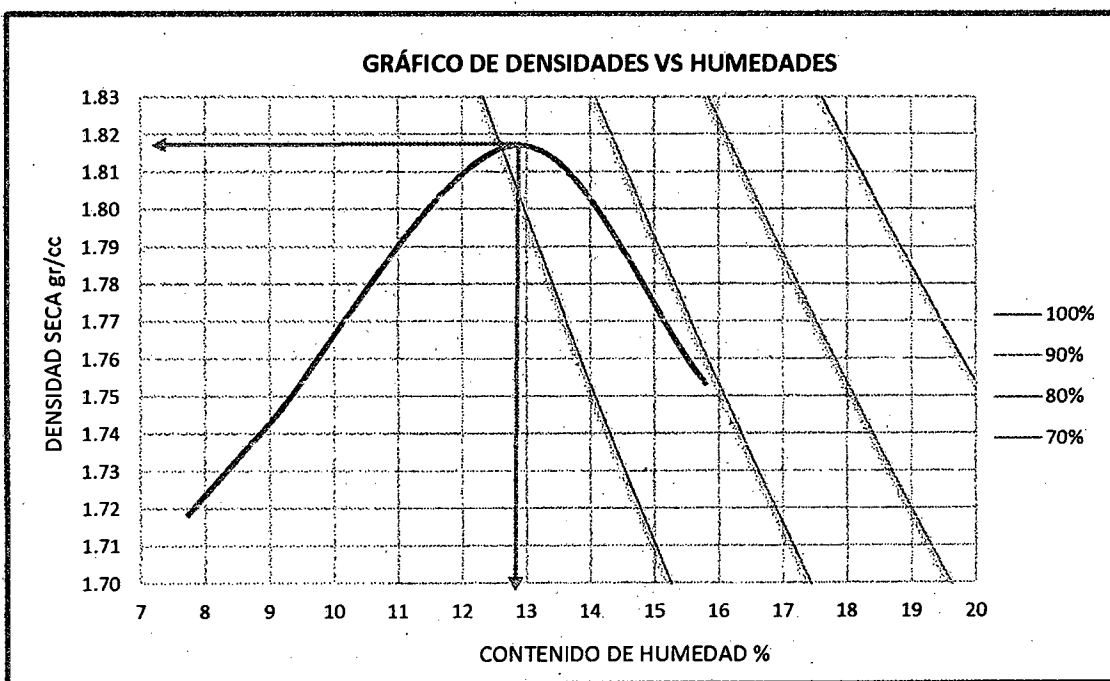
TRAZO DE LA CURVA DE SATURACIÓN

$$\omega = \left(\frac{1}{\gamma_s} - \frac{1}{G_s} \right) \times 100$$

$$\gamma_s = \left(\frac{\omega}{100} + \frac{1}{G_s} \right)^{-1}$$



DENS. SECA	% W	% DE SATURACION			
		100	90	80	70
1.718	7.70	2.235	2.193	2.143	2.082
1.743	9.60	2.172	2.126	2.071	2.004
1.817	12.80	2.007	1.951	1.885	1.808
1.753	15.80	1.893	1.832	1.761	1.678



Densidad máxima (gr/cm ³)	1.816
Humedad óptima (%)	12.85



ENSAYO DE C.B.R.

e) Ensayo Preliminar del Proctor Modificado

Densidad máxima (gr/cm ³)	1.816
Humedad óptima (%)	12.85
95%MDS	1.725

f) Compactación de los moldes de CBR

Molde N°	1	2	3
Capas N°	5	5	5
Golpes por capa N°	56	25	10
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	11997.00	11910.00	11815.00
Peso de molde (g)	7558.00	7616.00	7700.00
Peso del suelo húmedo (g)	4439.00	4294.00	4115.00
Volumen del molde (cm ³)	2130.00	2148.00	2120.00
Densidad húmeda (g/cm ³)	2.084	1.999	1.941
Tara (N°)			
Peso suelo húmedo + tara (g)	123.85	129.62	121.53
Peso suelo seco + tara (g)	112.50	116.40	108.85
Peso de tara (g)	31.10	21.60	18.10
Peso de agua (g)	11.35	13.22	12.68
Peso de suelo seco (g)	81.40	94.80	90.75
Contenido de humedad (%)	13.94	13.95	13.97
Densidad seca (g/cm ³)	1.829	1.754	1.703



g) Prueba de Penetración

PENETRACIÓN										
Area del anillo 3.02 pulg ²		Presión (LB /PULG ²)=FUERZA/AREA DE ANILLO								
PENETRACION pulgadas	CARGA STAND: Lb/pulg ²	MOLDE Nº 01			MOLDE Nº 02			MOLDE Nº 03		
		CARGA			CARGA			CARGA		
		FUERZA	PRESION	%	FUERZA	PRESION	%	FUERZA	PRESION	%
0.000		0	0.0		0	0.0		0	0.0	
0.025		4982	1649.6		4244	1405.2		3321	1099.7	
0.050		153	50.5		175	57.8		6089	2016.2	
0.075		228	75.4		224	74.1		9041	2993.7	
0.100	1000	333	110	11.0	300	99	9.9	264	88	8.8
0.125		393	130.2		376	124.6		333	110.4	
0.150		458	151.6		440	145.8		418	138.6	
0.175		530	175.4		499	165.2		459	152.1	
0.200	1500	604	200	13.3	558	185	12.3	540	179	11.9
0.250		669	221.6		620	205.4		604	200.1	
0.300		742	245.8		699	231.4		681	225.6	

h) Expansión

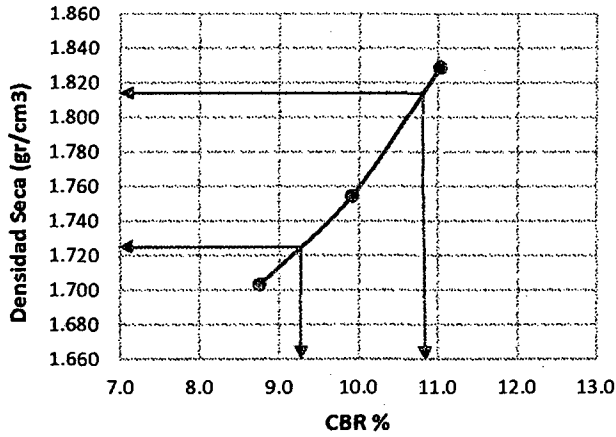
FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPASION		DIAL	EXPASION		DIAL	EXPASION	
				mm	%		mm	%		mm	%
18/03/2014	17:00 pm	00 Hrs.	0.0000	0.0000	0.00	0.0000	0.000	0.00	0.0000	0.000	0.00
19/03/2014	17:00 pm	24 Hrs.	0.0450	1.143	0.90	0.0654	1.661	1.31	0.0841	2.136	1.68
20/03/2014	17:00 pm	48 Hrs.	0.0874	2.220	1.75	0.0896	2.276	1.79	0.1312	3.332	2.62



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

ASTM D-1883

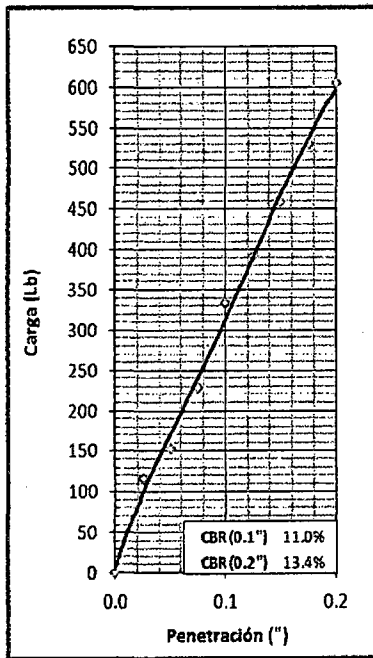
CBR VS DENSIDAD SECA



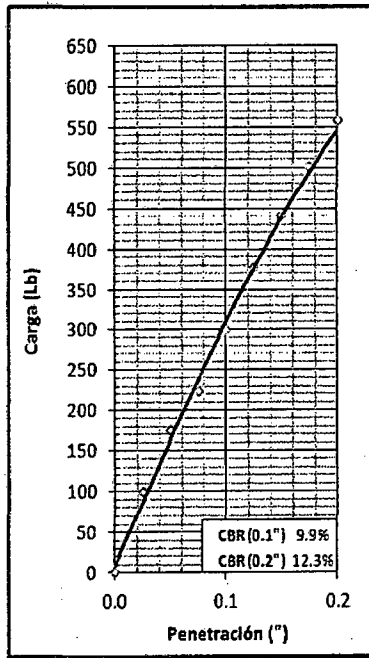
METODO DE COMPACTACIÓN	ASTM D 1557
Densidad máxima (gr/cm³)	1.816
Humedad óptima (%)	12.85
95%MDS	1.725

C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1"	10.90 %
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	0.1"	9.30 %

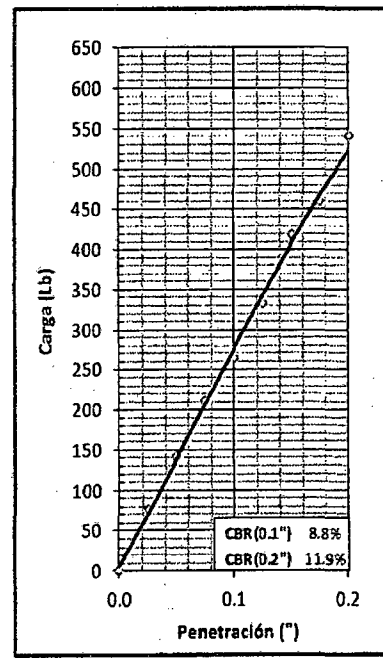
EC = 56 GOLPES



EC = 25 GOLPES



EC = 10 GOLPES





CALICATA C – 4
EMPLEANDO EL ESTABILIZANTE
IÓNICO POLYSES



1) LÍMITES DE CONSISTENCIA (ASTM -D4318)

A. LÍMITE LÍQUIDO

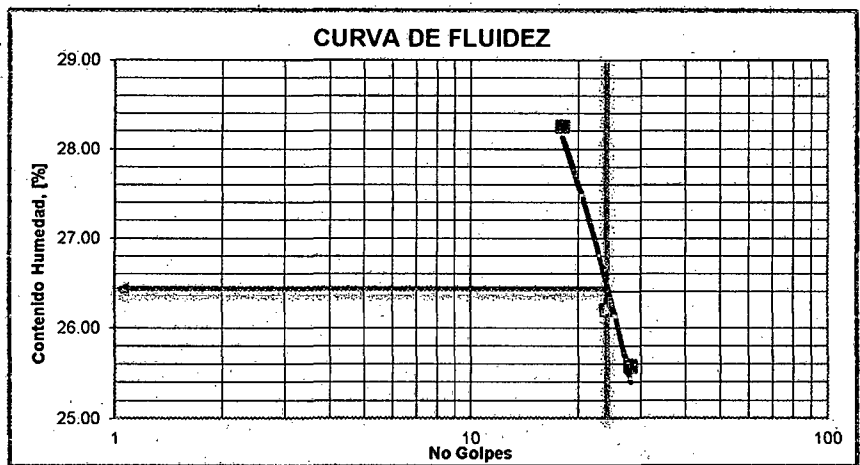
LL = 28.40 %

PROCEDIMIENTO	FÓRMULA	TARA N°		
1. No de Golpes		18	24	28
2. Peso Tara, [gr]		21.420	22.120	21.860
3. Peso Tara + Suelo Humedo, [gr]		36.400	38.500	41.500
4. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]		33.100	35.100	37.500
5. Peso Agua, [gr]	(3)-(4)	3.300	3.400	4.000
6. Peso Suelo Seco, [gr]	(4)-(2)	11.680	12.980	15.640
7. Contenido de Humedad, [%]	(5)/(6)X100	28.25	26.19	25.58

LP = 20.24 %

B. LÍMITE PLÁSTICO

PROCEDIMIENTO	FÓRMULA	TARA N°		
1. Peso Tara, [gr]		21.230	21.340	17.820
2. Peso Tara + Suelo Humedo, [gr]		24.650	25.210	20.710
3. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]		24.060	24.580	20.220
4. Peso Agua, [gr]	(2)-(3)	0.590	0.630	0.490
5. Peso Suelo Seco, [gr]	(3)-(1)	2.830	3.240	2.400
6. Contenido de Humedad, [%]	(4)/(5)X100	20.848	19.444	20.417



IP = LL - LP = 6.16 %



ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

ENSAYO N°	1	2	3	4
DETERMINACION DE DENSIDAD				
Número de Capas	5	5	5	5
Número de Golpes	25	25	25	25
Peso Suelo + Molde (gr)	6,235	6,330	6,370	6,325
Peso del Molde (gr)	4,220	4,220	4,220	4,220
Peso Suelo Húmedo Compactado (gr)	2,015	2,110	2,150	2,105
Volumen del Molde (cm ³)	947.87	947.87	947.87	947.87
Densidad Húmeda (gr/cm ³)	2.13	2.23	2.27	2.22
DETERMINACION DE CONTENIDO DE HUMEDAD				
RECIPIENTE N°	1	2	3	4
Suelo Húmedo + Tara (gr)	81.17	73.26	70.34	66.03
Suelo Seco + Tara (gr)	76.96	69.32	65.83	61.35
Peso Tara (gr)	26.62	28.50	24.61	26.71
Peso del Agua (gr)	4.21	3.94	4.51	4.68
Peso del Suelo Seco (gr)	50.34	40.82	41.22	34.64
Contenido de Humedad (%)	8.40	9.70	10.90	13.50
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.965	2.033	2.047	1.956
Peso Específico, Gs	2.70	2.70	2.70	2.70

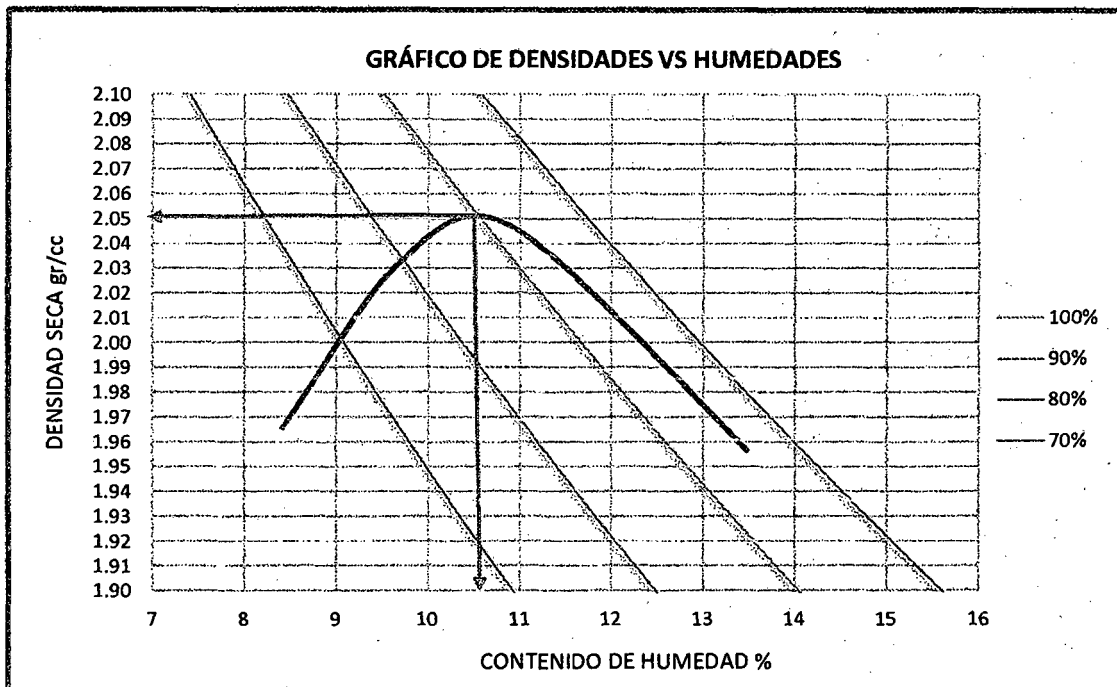
TRAZO DE LA CURVA DE SATURACIÓN

$$\omega = \left(\frac{1}{\gamma_s} - \frac{1}{G_s} \right) \times 100$$

$$\gamma_s = \left(\frac{\omega}{100} + \frac{1}{G_s} \right)^{-1}$$



DENS. SECA	% W	% DE SATURACION			
		100	90	80	70
1.965	8.40	2.201	2.157	2.104	2.039
2.033	9.70	2.140	2.091	2.034	1.965
2.047	10.90	2.086	2.035	1.974	1.901
1.956	13.50	1.979	1.922	1.855	1.775



Densidad máxima (gr/cm ³)	2.051
Humedad óptima (%)	10.54



ENSAYO DE C.B.R.

e) ENSAYO PRELIMINAR DEL PROCTOR MODIFICADO

Densidad máxima (gr/cm ³)	2.051
Humedad óptima (%)	10.54
95% MDS	1.948

f) COMPACTACION DE LOS MOLDES DE CBR

Molde N°	1	2	3
Capas N°	5	5	5
Golpes por capa N°	56	25	10
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	12650.00	12340.00	12050.00
Peso de molde (g)	7558.00	7616.00	7700.00
Peso del suelo húmedo (g)	5092.00	4724.00	4350.00
Volumen del molde (cm ³)	2130.00	2148.00	2120.00
Densidad húmeda (g/cm ³)	2.391	2.199	2.052
Tara (N°)			
Peso suelo húmedo + tara (g)	118.52	130.52	96.52
Peso suelo seco + tara (g)	108.91	118.52	87.89
Peso de tara (g)	35.40	26.60	21.98
Peso de agua (g)	9.61	12.00	8.63
Peso de suelo seco (g)	73.51	91.92	65.91
Contenido de humedad (%)	13.07	13.05	13.09
Densidad seca (g/cm ³)	2.114	1.945	1.814



g) PRUEBA DE PENETRACIÓN

PENETRACIÓN										
Área del anillo: 3.02 pulg ²		Presión (LB /PULG ²)=FUERZA/ÁREA DE ANILLO								
PENETRACIÓN pulgadas	CARGA STAND Lb/pulg ²	MOLDE Nº 01			MOLDE Nº 02			MOLDE Nº 03		
		CARGA			CARGA			CARGA		
		FUERZA	PRESIÓN	%	FUERZA	PRESIÓN	%	FUERZA	PRESIÓN	%
0.000		0	0.0		0	0.0		0	0.0	
0.025		455	150.8		339	112.4		219	72.5	
0.050		872	288.7		619	204.8		468	155.0	
0.075		1366	452.3		975	322.9		735	243.2	
0.100	1000	1541	510	51.0	1379	457	45.7	1126	373	37.3
0.125		1753	580.6		1662	550.4		1361	450.5	
0.150		2055	680.4		1812	600.1		1541	510.2	
0.175		2266	750.2		1965	650.8		1723	570.4	
0.200	1500	2477	820	54.7	2206	731	48.7	1964	650	43.4
0.250		2764	915.2		2447	810.4		2175	720.3	
0.300		3359	1112.3		2932	970.8		2447	810.4	

h) Expansión

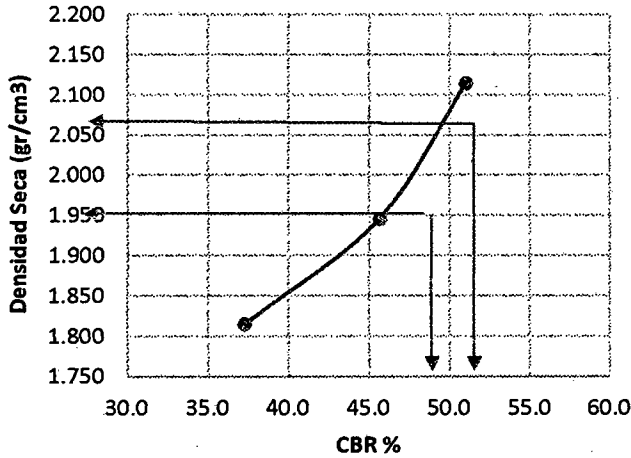
FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN	
				mm	%		mm	%		mm	%
20/03/2014	20:00 pm	00 Hrs.	0.0000	0.0000	0.00	0.0000	0.000	0.00	0.0000	0.000	0.00
21/03/2014	20:00 pm	24 Hrs.	0.0410	1.041	0.82	0.0810	2.057	1.62	0.0640	1.626	1.28
22/03/2014	20:00 pm	48 Hrs.	0.0852	2.164	1.70	0.1050	2.667	2.10	0.1120	2.845	2.24



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

ASTM D-1883

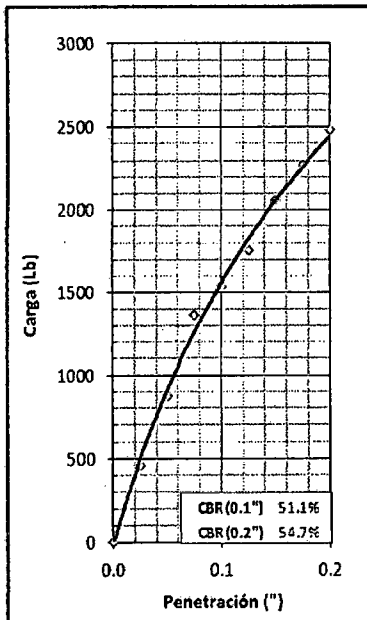
CBR VS DENSIDAD SECA



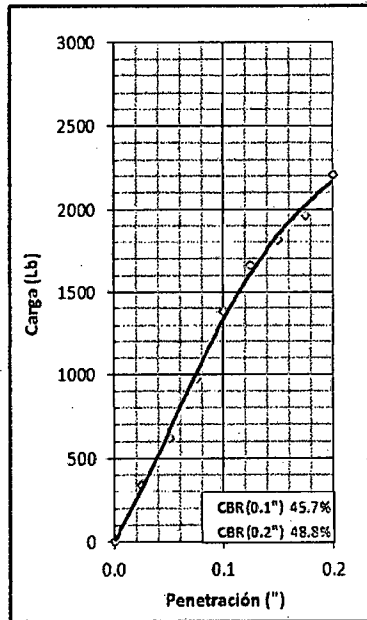
MÉTODO DE COMPACTACIÓN	ASTM D 1557
Densidad máxima (gr/cm³)	2.051
Humedad óptima (%)	10.54
95%MDS	1.948

C.B.R. Al 100% DE M.D.S. (%)	0.1"	49.60%
C.B.R. Al 95% DE M.D.S. (%)	0.1"	46.00%

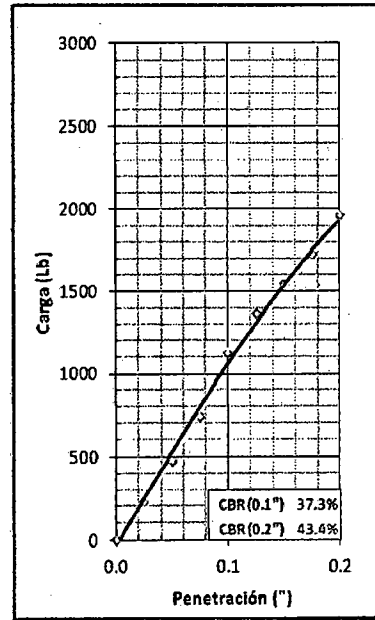
EC = 56 GOLPES



EC = 25 GOLPES



EC = 10 GOLPES





ANEXO N°02: PANEL FOTOGRÁFICO



FOTO N°01: Se observa la situación actual de la trocha que une el anexo San Juanito con la Villa Guadalupe, Distrito - Guadalupe, Provincia – Virú, departamento de La Libertad, está sujeta a condiciones húmedas debido a canales de regadío, estas condiciones son las que deterioran la vía y la convierten en un peligro.

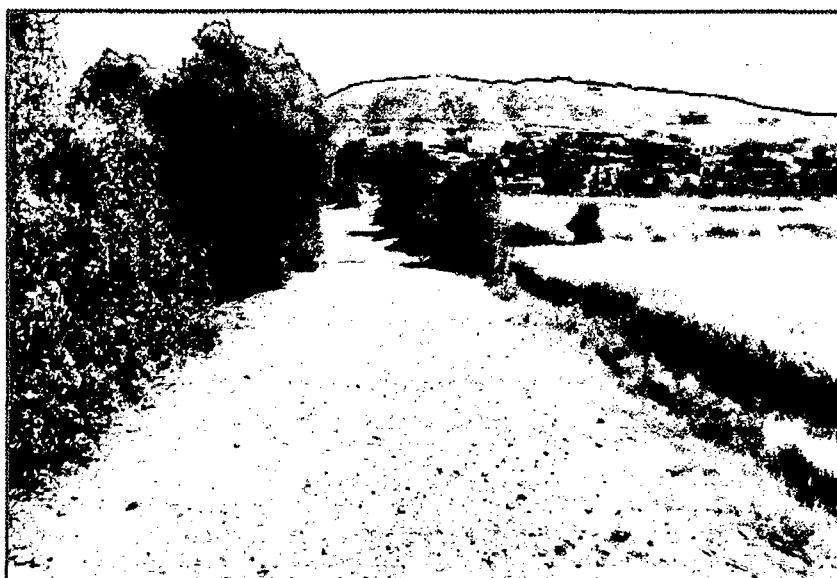


FOTO N°02: Se observa la situación actual de la carretera que une el anexo San Juanito con la villa Guadalupe actualmente a nivel de trocha carrozable, tiene un tránsito constante durante todos los días, su deterioro es notorio es por ello que se propone la utilización del estabilizante iónico Polyses.



FOTO N°03: Levantamiento topográfico de la trocha que une el Anexo San Juanito con la Villa Guadalupe.



FOTO N°04: Replanteo de los puntos de los canales de Regadio, se hizo el levantamiento de la trocha de aproximadamente 1.25 km de longitud.



FOTO N°05: Exploración de la calicata C-01 cuya profundidad es de 1.50 m y se aprecia los estratos del suelo.



FOTO N°06: Exploración de la calicata C-02 cuya profundidad es de 1.50 m y se aprecia los estratos del suelo.

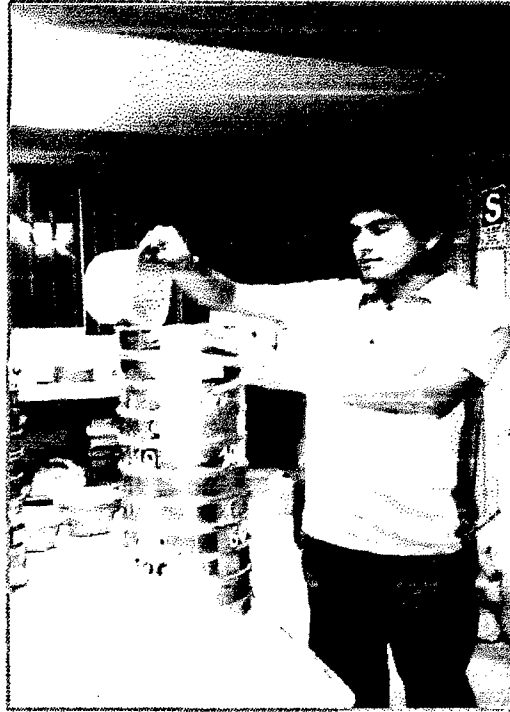


FOTO N°07: En la foto se aprecia los tamices estándar usados para elaborar el ensayo y determinar así su Curva Granulométrica.

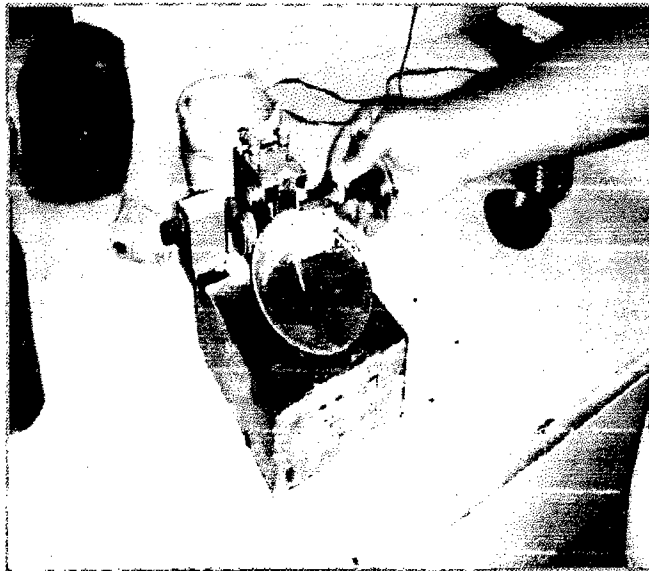


FOTO N°08: Ejecución del Ensayo para el Límite Líquido

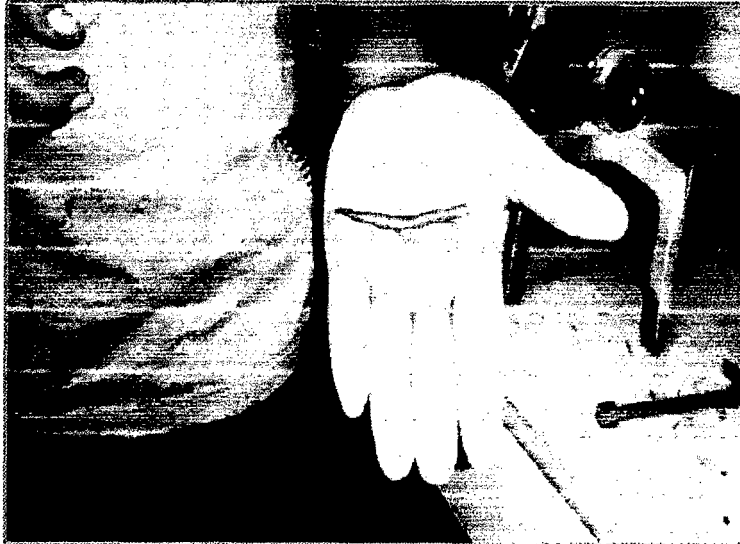


FOTO N°09: Ejecución del Ensayo para el Límite Plástico

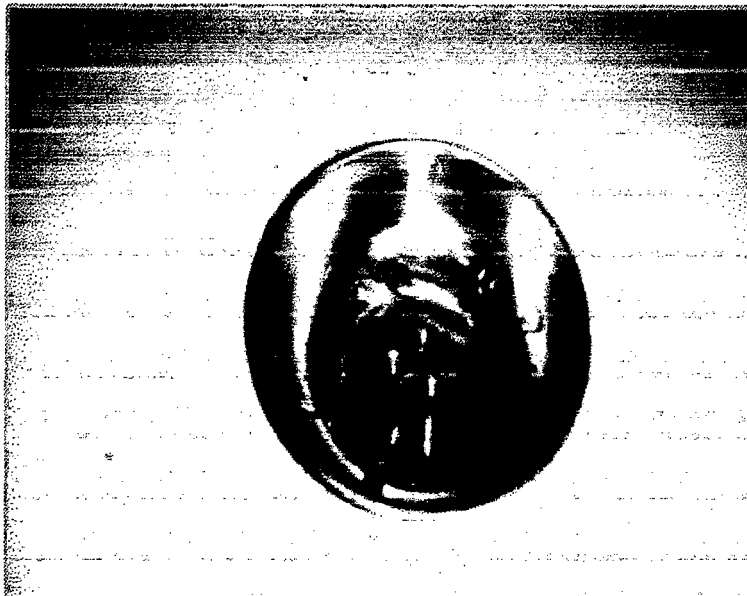


FOTO N°10: En la foto se muestra la colocación de la muestra húmeda sobre la tara antes de su respectivo peso.



FOTO N°11: Se procede a realizar el peso de la tara + la muestra obtenida del ensayo anteriormente realizado.

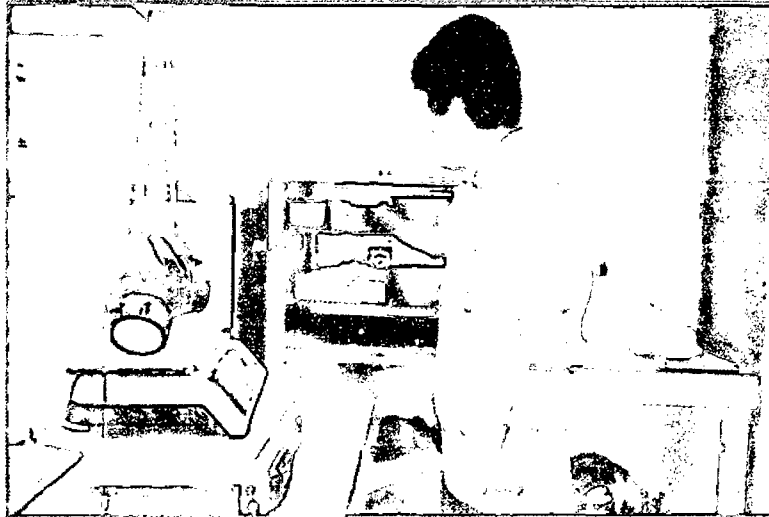


FOTO N°12: Inmediatamente la muestra de suelo húmedo más la tara, es colocada dentro de un horno 110°C de temperatura para su proceso de secado

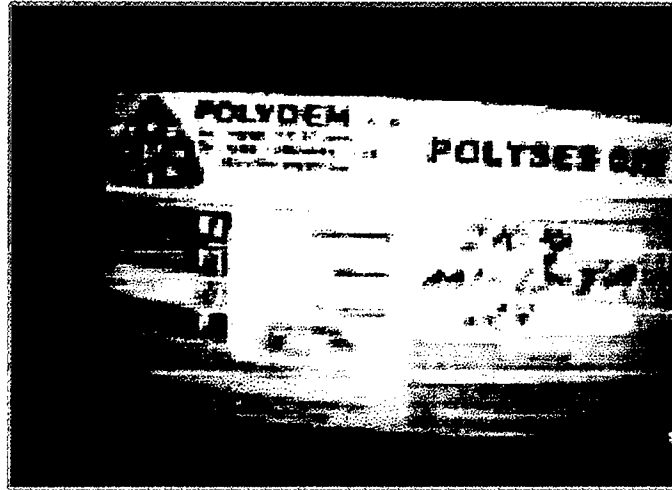


FOTO N°13: Se puede apreciar el lote del estabilizante iónico polyses, generalmente vienen en cilindros de 210 Lt, por motivos de investigación se adquirió lo necesario para la realización de los diferentes ensayos.

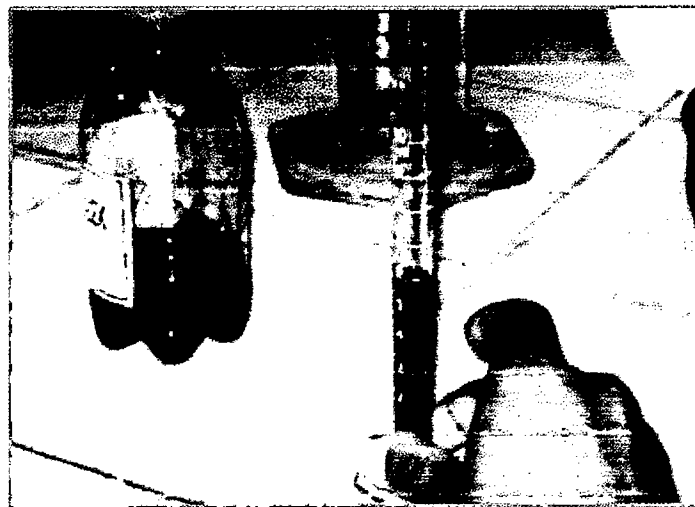


FOTO N°14: Del estabilizante empleado se procede realizar la dosificación de suelo – Polyses, dependiendo al peso de la muestra con la cual se hará el ensayo y de las especificaciones del Polyses.

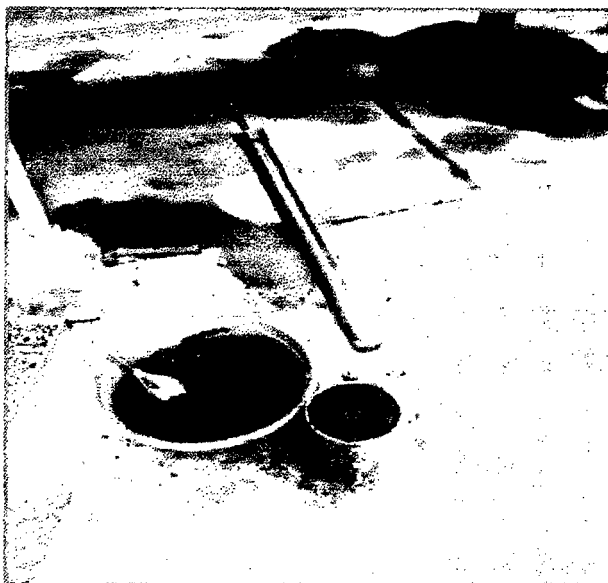


FOTO N°15: Con la dosificación exacta de suelo-polyses, se procede a ejecutar el ensayo de CBR con la aplicación de 10, 25 y 56 golpes del martillo mecánico en 5 capas para tres diferentes muestras.



FOTO N°16: Se realiza el peso de la muestra más el molde para posteriormente determinar la densidad seca y el óptimo contenido de humedad para el cálculo del CBR.



FOTO N°17: Se aprecia las tres muestras ejecutadas a 10, 25 y 56 golpes en 5 capas cada una, se emplean los discos con peso total de 10 lb, para luego sumergirlos totalmente en agua.



FOTO N°18: Sumersión de las muestras del CRB expuesto a las condiciones más severas durante 4 días

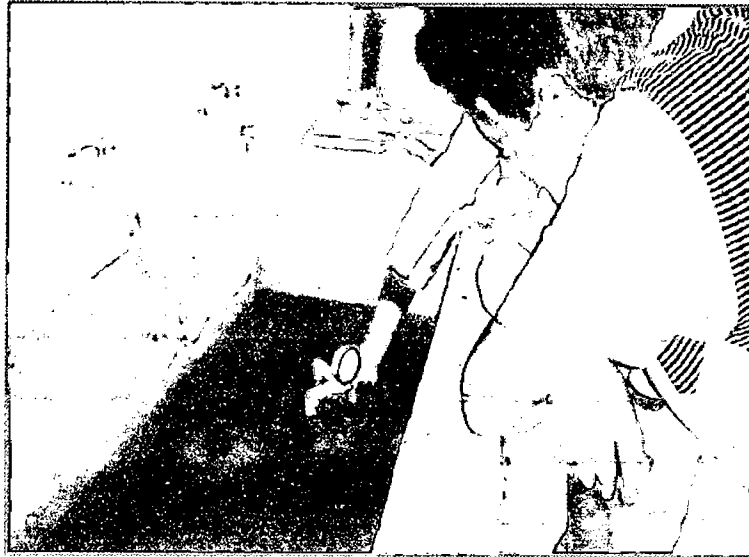


FOTO N°19: Tras sumersión de los moldes más la muestra en un intervalo de 96 horas, se procede a tomar lecturas del hinchamiento del suelo a través del extensómetro.

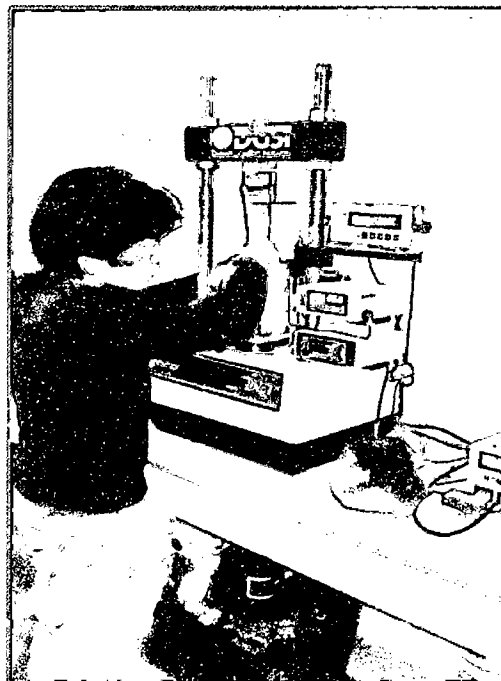


FOTO N°20: Tras tomar las lecturas del hinchamiento, las muestras de suelo más el molde son retirados del agua e inmediatamente es llevada para el ensayo de penetración del CBR.



ANEXO N°03: PLANOS

