

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y METALURGIA
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA



**EVALUACIÓN DEL USO DE CLORURO DE CALCIO EN LA ESTABILIZACIÓN
DE SUELOS EN CARRETERAS NO PAVIMENTADAS EN EL TRAMO LLOCHEGUA
- PERIAVENTE ALTA, PROVINCIA DE HUANTA**

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO QUÍMICO

PRESENTADO POR:

Bach. Glicerio AGUILAR LONASCO

ASESOR:




Ing. Aníbal GARCÍA BENDEZÚ

AYACUCHO - PERÚ

2013

ACTA DE CONFORMIDAD

Los que suscribimos, Miembros del Jurado Evaluador, designados para el acto público de exposición de sustentación de tesis: "EVALUACIÓN DEL USO DE CLORURO DE CALCIO EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS EN CARRETERAS NO PAVIMENTADAS, TRAMO LLOCHEGUA – PERIAVENTE ALTA, PROVINCIA DE HUANTA", presentado por el Bachiller Glicerio AGUILAR LONASCO; el cual fue sustentado el día 09 de setiembre del 2013, en mérito a la Resolución Decanal N° 082-2013-FIQM-D, damos conformidad al trabajo final corregido, aceptando la publicación final de la mencionada tesis declaramos el documento APTO, para iniciar sus gestiones administrativas, que conduzcan a la expedición y entrega del Título Profesional de Ingeniero Químico.

MIEMBROS DEL JURADO	DNI N°	FIRMA
Ing. Cipriano MENDOZA ROJAS	28223453	
Ing. César Aurelio VARGAS LINDO	28224842	
Ing. Alfredo ARIAS JARA	28259736	

Dedico este trabajo a mi querida madre Sabina, por brindarme el apoyo incondicional y permitirme haber llegado hasta este momento tan importante de mi vida profesional, gracias por su amor y comprensión.

A mis profesores de esta Universidad, por haberme guiado y por el esfuerzo prestado en mi formación.

Se agradece por su contribución para el desarrollo de esta tesis a la Dirección Regional de Transportes y Comunicaciones Ayacucho por haberme permitido realizar los ensayos en el Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales y por haber mostrado interés en este estudio.

Al Ing. Aníbal García Bendezú por su entusiasta colaboración para la revisión de los capítulos de la presente tesis y sus valiosas sugerencias.

RESUMEN

El objetivo general de la investigación viene a ser la evaluación del comportamiento y los efectos producidos por la adición del cloruro de calcio en la estabilización de suelos empleados como afirmado en las carreteras de la selva de nuestra región.

La hipótesis general, en la que se basa el trabajo es como sigue: La aplicación del cloruro de calcio en la estabilización de suelos en carreteras no pavimentadas mejorará las propiedades físico-mecánicas de nuestras vías.

La metodología empleada fue descriptiva y el diseño de investigación es experimental puro, para lo cual se han necesitado realizar distintas pruebas exigidas por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones basadas en las normas ASTM.

Los sujetos de la muestra constituido por el material de afirmado de las canteras del tramo Llochegua – Periavente Alta, del distrito de Llochegua, se han realizado ensayos de granulometría, límites de Atterberg, ensayo de Proctor modificado, pruebas de California Ratio Bearing, abrasión con la máquina Los Ángeles, medición del pH, salinidad y conductividad, para el suelo natural y con adiciones de cloruro de calcio en cristales en 0,0; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0 y 2,5% en peso. El tipo de suelo de la cantera N°01 y N°02 se han identificado utilizando los sistemas AASHTO y SUCS.

Los resultados más importantes del proceso de investigación donde los ensayos de Proctor modificado y California Ratio Bearing se emplearon para determinar la dosificación adecuada de cloruro de calcio, en donde se observaron que al adicionar cloruro de calcio se incrementa la densidad máxima seca y los valores del C.B.R., se han encontrado un rango óptimo de cloruro de calcio entre 1,4 y 1,6% en peso del suelo seco.

Las conclusiones a que se arribaron son que el cloruro de calcio adicionado incrementa la densidad y la resistencia al corte del suelo, debido a su efecto floculante.

Finalmente se han hecho análisis de los costos de la estabilización química y su comparación a afirmados tradicionales. También se realiza un estudio de los procesos constructivos de la estabilización usando este compuesto químico.

INTRODUCCIÓN

El Perú es uno de los países sudamericanos con menos carreteras pavimentadas y en mal estado. La región de Ayacucho es la que tiene la menor infraestructura vial a nivel nacional, donde el 93.5% son carreteras no pavimentadas y donde los caminos vecinales se encuentran en mal estado, con erosión de la superficie, la generación de polvo y su intransitabilidad en épocas de lluvia. Los caminos vecinales son vías que no justifican ser pavimentados por su elevado costo de construcción, pero su utilización demanda características aceptables de transitabilidad y confort. Recuerde que nuestras carreteras son el soporte de nuestra economía, tiene importancia histórica y es un medio de descentralización.

Definimos el problema de la investigación como el mal estado de las vías afirmadas y su elevado costo de mantenimiento.

Con la utilización de la solución de cloruro de calcio se puede obtener caminos de tierra con bajo costo de mantenimiento, de una vida útil prolongada y para variadas condiciones climatológicas. Es decir; alto rendimiento y bajo costo.

El objetivo que se ha estructurado fue evaluar el comportamiento del cloruro de calcio en la estabilización de suelos de carreteras no pavimentadas, teniendo como tramo de análisis Llochegua – Periavente Alta, la que se localiza en la zona selva de la provincia de Huanta, este estudio abarca solo ensayos a escala de laboratorio.

La hipótesis que se ha planteado es que la aplicación del cloruro de calcio en la estabilización de suelos en carreteras no pavimentadas mejorará las propiedades físico-mecánicas de nuestras vías.

El cloruro de calcio como agente estabilizante de suelos que mediante la aglomeración de las partículas finas por atracción electrostática y evita la formación de polvo y la pérdida de finos por su propiedad de crioscopia al absorber la humedad del medio ambiente.

El capítulo I se describe la metodología de estudio, en el capítulo II se expone la fundamentación teórica, en el capítulo III se detallan los procedimientos experimentales para los ensayos realizados, en el capítulo IV se hacen análisis y discusión de resultados, y posteriormente se arriban a las conclusiones y recomendaciones.

ÍNDICE

CAPÍTULO I GENERALIDADES

1.1.-FUNDAMENTACIÓN DEL PROBLEMA	1
1.2.-PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.2.1 PROBLEMA GENERAL	2
1.2.2 PROBLEMAS ESPECÍFICOS	2
1.3.-FORMULACIÓN DE OBJETIVOS	3
1.3.1 OBJETIVO GENERAL	3
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
1.4.-JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	3
1.5.-DELIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	4
1.6.-ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	4
1.7.-TIPO DE INVESTIGACIÓN	5
1.8.-NIVEL DE INVESTIGACIÓN	5
1.9.-DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	5
1.10.-UNIVERSO, POBLACIÓN Y MUESTRA	6
1.11.-HIPÓTESIS	6
1.11.1 HIPÓTESIS GENERAL	6
1.11.2 HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	7
1.12.-VARIABLES	7
1.12.1 VARIABLES INDEPENDIENTES	7
1.12.2 VARIABLES DEPENDIENTES	7
1.13.- INDICADORES	7

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

2.1.- ESTABILIZACIÓN DE SUELOS	8
2.1.1 ESTABILIZACIÓN FÍSICA DE SUELOS	8
2.1.2 ESTABILIZACIÓN QUÍMICA DE SUELOS	9
2.2.-REQUISITOS DE LA ESTABILIZACIÓN	9

2.3.-PROPIEDADES QUE SE INTERESA MEJORAR MEDIANTE LA ESTABILIZACIÓN	10
2.4.- PROBLEMAS COMUNES EN LAS CARRETERAS DEL PERÚ	10
2.5.-RETOS ACTUALES	12
2.6.-CARRETERAS AFIRMADAS EN EL PERÚ	12
2.7.- MATERIAL GRANULAR EN CAPA DE AFIRMADO	15
2.8.-REQUISITOS DE CALIDAD QUE DEBEN CUMPLIR LOS AFIRMADOS	15
2.9.-EL SUELO	16
2.10.-LA ARCILLA	17
2.10.1.-COMPORTAMIENTO DE ARCILLAS EN PRESENCIA DE AGUA	19
2.10.3.-COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN	22
2.10.4.-DISPERSIÓN	23
2.11.-PROCESO CIENTÍFICO DE LA ESTABILIZACIÓN QUÍMICA DE SUELOS	25
2.12.-EFECTOS DE LOS SUELOS ARCILLOSOS SOBRE LAS CONSTRUCCIONES	25
2.13.-EL CLORURO DE CALCIO	25
2.14.-HISTORIA DE APLICACIÓN DEL CLORURO DE CALCIO	26
2.15.-EFECTOS DEL CLORURO DE CALCIO COMO AGENTE ESTABILIZADOR DE LOS SUELOS	26
2.16.-EL CALCIO MÁS EFECTIVO QUE EL SODIO	27
2.17.-CÓMO FUNCIONA EL CLORURO DE CALCIO	27
2.18.-CÁLCULO DE LA DOSIFICACIÓN DEL CLORURO DE CALCIO	29
2.19.-ENSAYOS A REALIZAR EN LOS SUELOS PARA LA ESTABILIZACIÓN	29
2.19.1.-ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO	30
2.19.2.-LÍMITES DE ATTERBERG	30
2.19.3.-CLASIFICACIÓN DE SUELOS	31
2.19.4.- SISTEMA DE CLASIFICACIÓN AASHTO	31
2.19.5.- SISTEMA DE CLASIFICACIÓN SUCS	34
2.19.6.- ENSAYO PROCTOR MODIFICADO	37
2.19.7.- ENSAYO DE C.B.R. (CALIFORNIA BEARING RATIO)	38
2.19.8.- ENSAYO DE ABRASIÓN POR MEDIO DE LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES	39
2.20.-QUÉ ES EL Quím KD 40	39

2.20.1.-ESPECIFICACIONES TÉCNICAS EL Quím KD 40	39
2.20.2.- CARACTERÍSTICAS DEL PRODUCTO	40
2.20.3.-PRESENTACIÓN	40
2.20.4.-OTRAS APLICACIONES	41
2.21.- IMPACTO AMBIENTAL DE LOS ESTABILIZADORES QUÍMICOS	41
2.21.1.-FUNCION DE LOS NUTRIENTES EN LAS PLANTAS	41
2.21.2.-EFECTOS DEL POLVO DEPOSITADAS SOBRE LAS HOJAS DE LAS PLANTAS	43
2.21.3.-IMPACTO DEL CALCIO EN LAS PLANTAS	43
2.22.-pH DEL SUELO	44
2.23.-PROCESO DE APLICACIÓN DEL QUIM KD 40	45

CAPÍTULO III

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

3.1.-ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO	48
3.2.-DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE SUELOS	50
3.3.-DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO	53
3.4.-CÁLCULO DE ÍNDICE DE PLASTICIDAD (IP)	55
3.5.-PROCTOR MODIFICADO	56
3.6.-C.B.R. (CALIFORNIA BEARING RATIO)	67
3.7.-ENSAYO DE ABRASIÓN POR MEDIO DE LA MÁQUINA LOS ÁNGELES	76
3.8.-MEDICIÓN DEL pH DE SUELOS	80

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.-DETALLES DE LA MUESTRA Y EL TRAMO DE CARRETERA	82
4.2.-RESULTADOS DE LABORATORIO ENSAYO DE GRANULOMETRÍA	88
4.3.-RESULTADOS DE LÍMITE LÍQUIDO, PLÁSTICO E INDICE DE PLASTICIDAD	90
4.4.-RESULTADOS DE LA ENSAYO PROCTOR MODIFICADO	104
4.5.-RESULTADOS ENSAYO CALIFORNIA RATIO BEARING (C.B.R.)	118
4.6.-RESULTADOS DEL ENSAYO DE ABRASIÓN EN LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES	128
4.7.-RESULTADOS DE ENSAYO DE MEDICIÓN DEL pH Y CONDUCTIVIDAD	130
4.8.-DISCUSIÓN DE RESULTADOS	131

4.8.1.- GRANULOMETRÍA	131
4.8.2.-LÍMITE LÍQUIDO	132
4.8.3.-LÍMITE PLÁSTICO	132
4.8.4.-ÍNDICE DE PLASTICIDAD	133
4.8.5.-CLASIFICACIÓN DE SUELO SISTEMA AASHTO	133
4.8.6.-CLASIFICACIÓN DE SUELO SISTEMA SUCS	134
4.8.7.-PROCTOR MODIFICADO	134
4.8.8.-CALIFORNIA RATIO BEARING	135
4.8.9.-ABRASIÓN CON MÁQUINA LOS ÁNGELES	135
4.8.10.-pH, SALINIDAD Y CONDUCTIVIDAD	136
4.9.-COSTOS DE CONSERVACIÓN DE CARRETERAS EN LA SELVA	136
4.9.1.-COSTO CON AFIRMADO TRADICIONAL	137
4.9.2.-COSTO CON APLICACIÓN DE QUIM KD – 40	137
CONCLUSIONES	
RECOMENDACIONES	
GLOSARIO	
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1.-FUNDAMENTACIÓN DEL PROBLEMA

Los suelos existentes en los caminos rurales de la selva, están conformados en su mayor parte por limos y arcillas, con las consecuentes dificultades que esto presenta. La explotación de las escasas fuentes de buenos materiales, incrementa los costos y obliga transporte desde largas distancias. La mayoría de los materiales que se encuentran en las cercanías de las vías no cumplen las especificaciones, ya que presentan un alto porcentaje de fracción fina con un alto valor de índice de plasticidad y manifiestan en mayor o menor grado variaciones volumétricas, características que en condiciones naturales no los hacen aptos.

Se sabe que el mantenimiento de caminos a nivel de afirmado son los que generan mayores costos, estos caminos se deterioran al poco tiempo después de su mantenimiento, lo cual se traduce en una pesadilla para el usuario y la inversión constante para las entidades encargadas de su mantenimiento.

Si bien es cierto que los caminos vecinales no se pueden pavimentar por sus elevados costos y por su bajo volumen de tránsito, sin embargo, debe contar con las características de transitabilidad y confort, teniendo en cuenta que gran parte de nuestra red vial departamental y los caminos vecinales solo se encuentran a nivel de afirmado.

Generalmente estos caminos son atendidos mediante la ejecución de mantenimiento periódico anual, con la reposición y/o mantenimiento de la superficie de rodadura, las que en corto tiempo se disgregan. La disgregación prematura de estas superficies de rodadura, además de la inversión mal aplicada trae como consecuencia:

- Deterioro de las condiciones de tránsito.
- Emisión de polvo.
- Existencia de barro en épocas de lluvia.
- Explotación indiscriminada de canteras.

Es necesario aclarar que en la selva existe carencia de canteras que cumplan los requisitos mínimos de calidad dados por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, tales como plasticidad, granulometría y la resistencia al desgaste, los mismos que se encuentran por debajo de lo exigido.

1.2.-PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2.1 PROBLEMA GENERAL

¿Cuál será comportamiento del cloruro de calcio al ser empleado en la estabilización de suelos en las carreteras no pavimentadas, en el tramo Llochegua – Periavente Alta, de la provincia de Huanta?

1.2.2 PROBLEMAS ESPECÍFICOS

1. ¿Cuál será la proporción óptima de cloruro de calcio que sería necesario para alcanzar mejores resultados en la estabilización de suelos del tramo en estudio?
2. ¿En qué tipos de suelos es posible aplicar satisfactoriamente el cloruro de calcio?

1.3.-FORMULACIÓN DE OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar el comportamiento del cloruro de calcio en la estabilización de suelos en carreteras no pavimentadas del tramo Llochegua – Periavente Alta.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Evaluar las densidades y la resistencia mecánica de suelos a distintas proporciones de cloruro de calcio, asimismo determinar la dosificación óptima.
2. Evaluar si el tipo de suelos de las canteras disponibles son aptas para ser usadas.

1.4.-JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Hay tres razones que fundamenta la realización de nuestro estudio:

1. Con la aplicación de la solución de cloruro de calcio puede obtenerse caminos a nivel de afirmado con bajo costo de mantenimiento, de extensa vida útil y en las variadas condiciones climatológicas.
2. La solución de cloruro de calcio es fácil de aplicar. Se utiliza equipo convencional de construcción y se requiere menor esfuerzo que la que se realiza para las operaciones normales de recubrimiento de superficies. El único paso diferente en la operación normal de escarificado y nivelación es agregar la solución de cloruro de calcio, con suficiente agua para mojar todas las partículas del suelo y obtener la humedad óptima para la compactación.
3. Un adecuado estado de la vía significa desarrollo del país, a través de ellas se lleva a cabo las interrelaciones económicas, sociales, culturales, etc. entre los pueblos. Miles de millones de dólares y horas - hombre se gasta cada año en la construcción, mantenimiento y reparación de caminos.
4. La tarea de hoy es la conservación de la red vial y adaptarla a las necesidades de los usuarios. Uno de los objetivos primordiales de las Entidades del Estado

encargados del mantenimiento y conservación vial de las superficies de rodadura a nivel de afirmado, es la ejecución de soluciones innovadoras que beneficien a poblaciones alejadas, creando impacto social y productivo, siendo además estas soluciones de bajo costo si se compara con las obras de mantenimiento periódico tradicionales.

1.5.-DELIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

En este trabajo se hará uso del material de afirmado de canteras de zonas adyacentes a la carretera Llochegua – Periavente Alta en la provincia de Huanta, cuya longitud del tramo es 5.74 km.

Se realizarán pruebas a nivel de laboratorio de muestras de 2 canteras que serán llevadas a la ciudad de Huamanga, en un plazo prudencial y será financiado por el investigador en su totalidad.

1.6.-ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

El cloruro de calcio se ha venido empleando como paliativo del polvo desde principios del siglo pasado. En la década de 1930, cuando se empezó a dar importancia a la ingeniería del suelo, se realizaron investigaciones y experimentos sobre sus efectos en los suelos. Se observó que la adición de cloruro de calcio podría beneficiar los suelos no solo como paliativo del polvo, sino aumentando la densidad al compactar, con lo que mejoraba la estabilidad de la carretera en general. **(Mateos Miguel. Estabilización de suelos con cloruro cálcico, 1961)**

El empleo de cloruro de calcio se ha hecho extensivo a la mayor parte de los Estados Unidos existiendo un número incalculable de kilómetros de carreteras y calles donde se ha usado este producto.

En el Perú existen pocas experiencias del empleo de los estabilizadores químicos, razón por el cual el Ministerio de Transportes y Comunicaciones conforma una comisión técnica para tratar el tema de los estabilizadores químicos de suelos, que en el año 2004 se aprueba mediante Resolución Directoral Nº 007-2004-MTC/14 la norma MTC E 1109-

2004 “Norma técnica de estabilizadores químicos”, además se han realizado tramos de prueba para evaluar el comportamiento de los estabilizadores.

En nuestra región hace falta de experiencias de la aplicación de este producto en las carreteras afirmadas, básicamente en la selva donde las canteras no son las más adecuadas y las precipitaciones son altas. Por tanto, necesitamos saber cómo se determina la dosis óptima, los ensayos a realizar y el proceso de aplicación de este producto, en nuestro medio y de acuerdo a nuestro clima.

1.7.-TIPO DE INVESTIGACIÓN

La presente investigación es de tipo **aplicada**, ya que se preocupa en la aplicación inmediata sobre una realidad concreta, busca conocer para hacer, para actuar, para construir y modificar.

1.8.-NIVEL DE INVESTIGACIÓN

Se usará la investigación de nivel **descriptivo**, donde el propósito de esta investigación es describir situaciones y eventos, es decir, cómo es y cómo se manifiestan determinados fenómenos.

1.9.-DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

La estrategia para alcanzar los objetivos de estudio, es contestar las interrogantes que se ha planteado y analizar la certeza de las hipótesis formuladas en nuestro contexto particular, donde todos forman una acción y se miden sus efectos. El diseño de investigación empleado en este caso es **experimental (verdadero o puro)** ya que es explicativo.

1.10.-UNIVERSO, POBLACIÓN Y MUESTRA

Para esta investigación se han tomado 2 muestras, de 2 canteras ubicadas en el mismo tramo de la carretera en mención, los mismos que se están empleando actualmente para la rehabilitación y mantenimiento de esta vía, cuyas características y ubicación son las siguientes:

Suelo 1:

- Material : Granular de afirmado
- Cantidad : 350 kg
- Progresiva : 1+100
- Coordenada Este : 617332
- Coordenada Norte : 8627030
- Altitud : 560 msnm

Suelo 2

- Material : Granular de afirmado
- Cantidad : 350 kg
- Progresiva : 3+500
- Coordenada Este : 615838
- Coordenada Norte : 8627700
- Altitud : 668 msnm

1.11.-HIPÓTESIS

1.11.1 HIPÓTESIS GENERAL

La aplicación de cloruro de calcio en la estabilización de suelos de carreteras no pavimentadas mejorará las propiedades físico – mecánicas del suelo.

1.11.2 HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

1. La proporción adecuada de cloruro de calcio mejorará la resistencia mecánica y la densidad del suelo.
2. El tipo de suelo del tramo de esta carretera son las adecuadas para emplear cloruro de calcio.

1.12.-VARIABLES

1.12.1 VARIABLES INDEPENDIENTES

1. El cloruro de calcio.
2. La proporción de cloruro de calcio.
3. El tipo de suelo.

1.12.2 VARIABLES DEPENDIENTES

1. Estabilidad del suelo.
2. Resistencia y densidad del suelo.
3. Propiedades del suelo.

1.13.- INDICADORES

1. Porcentaje de cloruro de calcio.
2. Propiedades físico – mecánicas del suelo.
3. Conductividad eléctrica y pH.
4. Ensayo de Proctor modificado y C.B.R.
5. Sistemas de clasificación AASHTO y SUCS.
6. Granulometría y plasticidad.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1.- ESTABILIZACIÓN DE SUELOS

La estabilización de un suelo es un proceso mediante el cual se someten los suelos naturales a cierta manipulación o tratamiento para aprovechar sus mejores cualidades, obteniéndose una superficie estable, capaz de soportar los efectos del tránsito y las condiciones de clima más severas. Como también la corrección de las deficiencias para darle una mayor resistencia a un suelo inestable y disminuir su plasticidad. **(Mateos Miguel. Estabilización de suelos con cloruro cálcico, 1961)**

Las dos formas de lograrlo son las siguientes:

2.1.1 ESTABILIZACIÓN FÍSICA DE SUELOS

Se utiliza para mejorar el suelo produciendo cambios físicos en el mismo, para ello se busca la granulometría adecuada, mediante la mezcla de materiales granulares y cohesivos al suelo original, que posteriormente son compactados.

Las gravas y arenas tienen alta fricción interna lo que hacen soportar grandes esfuerzos, pero esta cualidad no hace que sea estable en una carretera ya que al no tener cohesión de sus partículas se mueven libremente y con el paso de los vehículos se pueden desprender. Las arcillas, por lo contrario, tienen una gran cohesión y muy poca fricción lo que provoca que pierdan estabilidad cuando hay mucha humedad. **(Mateos Miguel. Estabilización de suelos con cloruro cálcico, 1961)**

2.1.2 ESTABILIZACIÓN QUÍMICA DE SUELOS

En las carreteras afirmadas, la estabilización de suelos busca poder utilizar suelos naturales con baja calidad de soporte, cercanas a la obra, no aptos para la construcción, para mejorarlos y hacerlos adecuados de una manera económica.

La estabilización química de suelos consiste en el empleo de sustancias químicas para mejorar las propiedades mecánicas de los suelos, reduciendo su plasticidad y haciéndolos más resistentes, ante la acción del tráfico y condiciones ambientales. En general el uso de aditivos químicos incrementa en los suelos la capacidad de soportar cargas sin deformación y reduce la pérdida de la capa de rodadura ocasionadas por erosión, por tráfico pesado o por lluvias fuertes. **(Mateos Miguel. Estabilización de suelos con cloruro cálcico, 1961)**

Los procedimientos de estabilización química de suelos más conocidos y empleados son: suelo-cemento, suelo-cal, suelo-asfalto, con sales, polímeros, enzimas, compuestos resinosos y otros. Cada uno de estos procedimientos proporciona modificaciones diferentes a cada suelo.

En estos últimos años han ido surgiendo diferentes aditivos con el objetivo de obtener mejoras en las propiedades ingenieriles de los suelos a partir de diversas reacciones químicas de los suelos, ejemplo ellos son: Quím KD-40, stasoil, CBR plus, consolid, permazyme, terrazyme, optimasoil, AID, dustkill, Top Seal, Solid Road 510, SoilStabilizer, Roca Mix y otros. **(Aguayo Oswaldo. Soluciones básicas para caminos de bajo tránsito, 2007)**

2.2.-REQUISITOS DE LA ESTABILIZACIÓN

1. Debe ser aplicable al suelo. No todos los sistemas de estabilización se pueden aplicar a todos los tipos de suelo, los que deben ser estudiados.
2. Los efectos de la estabilización deben permanecer en el tiempo.
3. La forma de ejecución debe ser sencilla, lo que permite una correcta colocación y ayuda a disminuir los tiempos de trabajo.
4. Debe tener un costo razonable, proporcional a los beneficios.

2.3.-PROPIEDADES QUE SE INTERESA MEJORAR MEDIANTE LA ESTABILIZACIÓN

Según **Mateos Miguel**, en su revista *Estabilización de suelos con cloruro cálcico*, 1961:

- Resistencia mecánica
- Permeabilidad
- Durabilidad
- Compresibilidad

2.4.- PROBLEMAS COMUNES EN LAS CARRETERAS DEL PERÚ

Según el **Ministerio de Transportes y Comunicaciones**, en su publicación *“Evaluación de la Aplicabilidad de estabilizadores de suelos”*

- Carreteras con superficie deteriorada.
- Velocidades de circulación bajas, en promedio 20 km/h.
- Formación de excesivo polvo.
- Formación de barro en épocas de lluvia.



Foto N° 2.1.- Superficie de carretera afirmada deteriorada, con presencia de baches.



Foto Nº 2.2.- Velocidades de circulación bajas, promedio 20 km/h



Foto Nº 2.3.- Generación de polvo y pérdida de finos

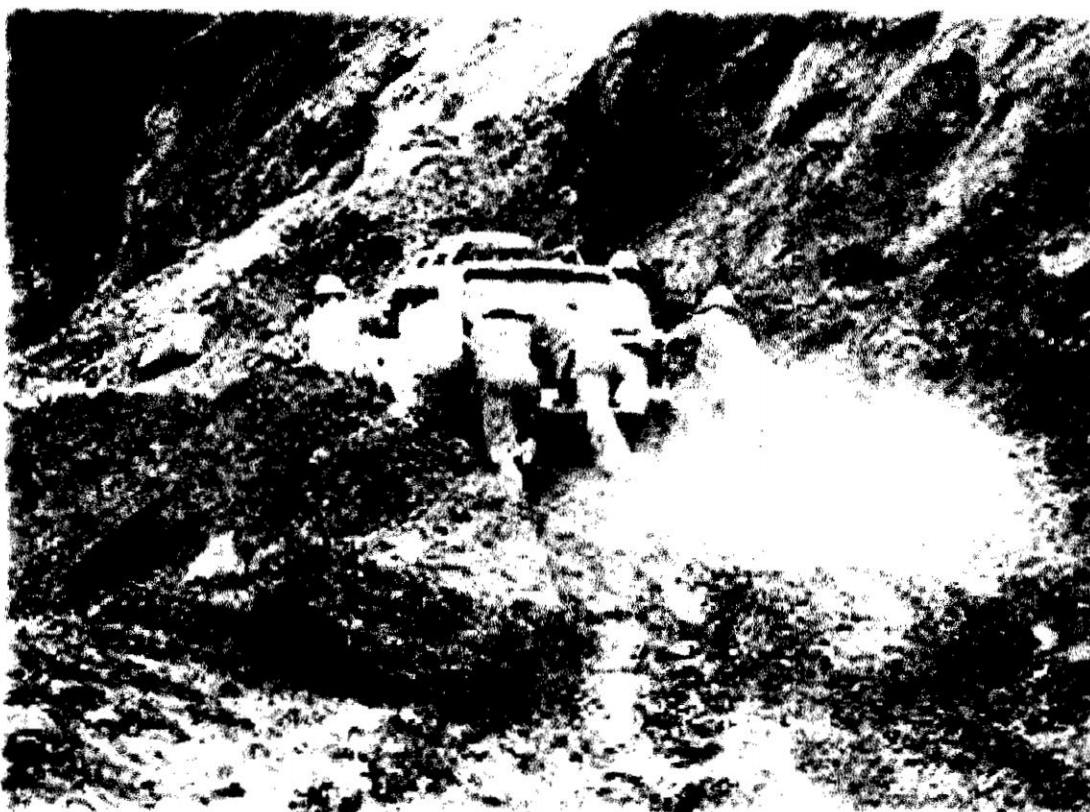


Foto N° 2.4.- Formación de barro en épocas de lluvia.

2.5.-RETOS ACTUALES

1. Construir carreteras de bajo costo, transitables todo el año y de larga vida.
2. Evitar el deterioro prematuro de la superficie de rodadura.
3. Disminuir la contaminación ambiental por la emisión de polvo.
4. Aprovechamiento de suelos locales como material de afirmado de fácil obtención, que generalmente son de menor calidad y a un bajo costo.
5. Reducción en los presupuestos para conservación y rehabilitación.

2.6.-CARRETERAS AFIRMADAS EN EL PERÚ

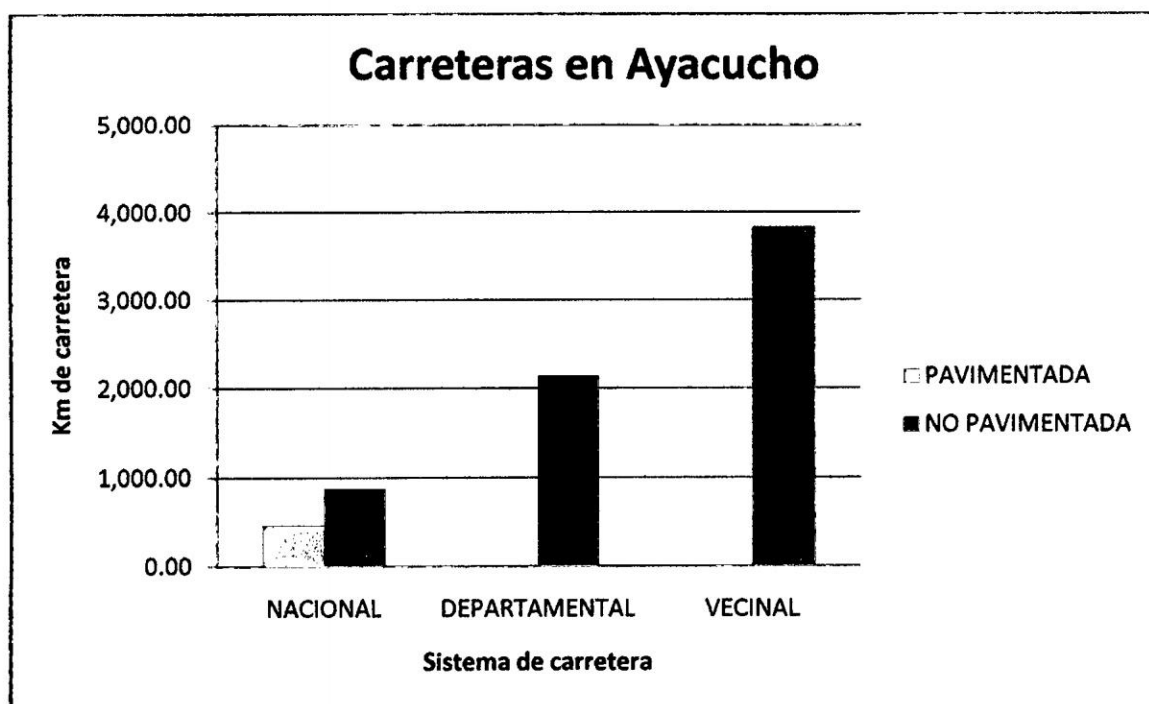
Una **carretera** es una vía de dominio y uso público, proyectada y construida fundamentalmente para la circulación de vehículos terrestres. Las carreteras han sido desde siempre el principal medio de desplazamiento de viajeros y la vía principal para la distribución de mercancías. Al conectar los pueblos y comunidades han sido indispensable en el desarrollo de diversas actividades y regiones en todo el mundo.

En el Perú a las carreteras de bajo volumen de tránsito ($IMD < 200$ vehículos/día) se las construyen a nivel de afirmado, y en la región de Ayacucho representan un 93,5% del total de su red vial. El crecimiento de nuestra economía puede entenderse como el resultado del crecimiento de sus economías regionales y de la progresiva interacción entre ellas a lo largo del tiempo, situaciones que se ven estimuladas por la inversión en capital privado, la inversión en infraestructura de servicios públicos y las mejoras en el aprovechamiento de nuevas tecnologías en el interior de un país, entre otros factores.

En los últimos años, desde el 2005 al 2011 la longitud de nuestras vías ha crecido enormemente y casi llegan a duplicar, este crecimiento de la infraestructura vial hace que se requiera mayor capacidad y tecnología. Es decir hay más kilómetros que requieren mantenimiento, por tanto se debe realizar la supervisión y controles de calidad para lograr vías con mayor duración y menor costo. **(Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Manual de Carreteras, 2013)**

En el caso de Ayacucho, la mayor parte de la red vial está conformada por vías departamentales y vecinales, en ambos casos se encuentran no pavimentadas, tal como se muestra en el cuadro N° 2.1

Gráfico N° 2.1.- Carreteras en Ayacucho, según el tipo de superficie



Fuente: DGCF – Provias Nacional 2011

Cuadro N° 2.1.- Sistema vial terrestre en el Perú, según departamento: 2011

DEPARTAMENTO	LONGITUD TOTAL	SISTEMA DE CARRETERA (Km)					
		NACIONAL		DEPARTAMENTAL		VECINAL (*)	
		Pavimento	No Pavimento	Pavimento	No Pavimento	Pavimento	No Pavimento
Total	129,161.54	13,639.66	9,679.69	2,089.65	23,508.53	1,484.28	78,759.73
mazonas	2,860.75	312.10	538.97	12.05	611.13	-	1,386.50
ncash	9,503.70	932.37	657.53	215.04	1,296.42	67.82	6,334.52
purímac	5,394.53	335.22	773.34	-	1,325.97	4.75	2,955.25
requipa	7,833.49	958.43	460.99	446.99	1,266.65	176.24	4,524.19
yacucho	7,318.55	464.95	878.56	-	2,136.22	12.90	3,825.92
ajamarca	9,284.75	733.79	854.67	-	910.89	12.82	6,772.58
allao	64.94	13.10	-	51.84	-	-	-
uzco	11,808.51	797.86	1,023.62	84.16	2,525.07	35.39	7,342.41
uancavelica	7,409.75	480.71	747.15	-	1,563.00	-	4,618.89
uánuco	4,552.21	439.50	346.89	9.96	681.85	20.62	3,053.39
a	3,395.97	553.66	70.81	18.57	742.62	80.94	1,929.37
ínin	7,056.18	924.93	306.87	14.58	867.51	195.73	4,746.56
a Libertad	7,495.40	524.37	719.58	129.06	1,628.18	164.44	4,329.77
ambayeque	3,099.20	403.77	63.86	176.21	443.37	27.55	1,984.44
ima	7,496.82	1,030.26	400.94	124.70	1,698.66	180.53	4,061.73
oreto	953.94	43.09	44.80	108.56	348.98	11.30	397.21
ladre de Dios	1,994.91	397.85	1.43	2.49	177.14	5.07	1,410.93
oquegua	2,634.11	440.75	35.00	38.13	873.31	98.19	1,148.73
asco	3,038.29	253.46	311.40	79.43	543.02	-	1,850.98
iura	5,983.34	969.03	405.26	260.32	535.78	185.31	3,627.64
uno	9,980.16	1,293.39	534.66	93.32	1,770.72	23.16	6,264.91
an Martín	4,715.38	531.87	316.21	58.83	558.39	14.82	3,235.26
acna	2,547.87	454.68	177.91	81.19	448.12	151.55	1,234.42
umbes	911.28	138.15	-	84.03	220.69	5.95	462.46
cayallí	1,827.51	212.37	9.24	0.19	334.84	9.20	1,261.67

(*) Red Vecinal, compuesta por la red vecinal registrada y la red vecinal no registrada.

Fuente: DGCF – Provías Nacional, 2012

2.7.- MATERIAL GRANULAR EN CAPA DE AFIRMADO

El **afirmado** es una mezcla de tres tamaños o tipos de material: piedra, arena y arcilla (finos). Si no existe una buena combinación de estos tres tamaños, el afirmado es pobre. **(Instituto de Construcción y Gerencia. Manual de Construcción, 2013)**

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

Hay dos principales aplicaciones en el uso de afirmados: Su uso como superficie de rodadura en carreteras no pavimentadas o uso como capa inferior granular o como colchón anticontaminante.

Como superficie de rodadura, un afirmado sin suficientes finos está expuesto a perderse porque es inestable. En construcción de carreteras, se requiere un porcentaje limitado, pero suficiente de materiales finos y plásticos que cumplan la función de aglutinar para estabilizar la mezcla de gravas.

Existen pocos depósitos naturales de material que tiene la gradación ideal, donde el material sin procesar se puede utilizar directamente por lo que será necesario zarandear el material para la granulometría especificada.

2.8.-REQUISITOS DE CALIDAD QUE DEBEN CUMPLIR LOS AFIRMADOS

El **Ministerio de Transportes y Comunicaciones**, en su **Manual de Diseño de Carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito**, publicado por la DGCF-MTC, indica que deben cumplirse con los siguientes requisitos en los materiales de afirmado:

- Desgaste los Ángeles : 50 % máximo
- Límite Líquido : 35 % máximo
- Índice Plástico : 4 a 9
- California Bearing Ratio (C.B.R.) : 40 % mínimo

En caso de que se tuvieran materiales con índice de plasticidad fuera del rango de 4 a 9%, se estudiará el empleo de tratamiento superficial, como la imprimación reforzada bituminosa, estabilización con cal, cemento, cloruros u otros estabilizadores químicos con la finalidad de mantener y/o prolongar la vida útil de la carretera.

Entre los estabilizadores químicos más utilizados están la cal, el cemento, los cloruros, el asfalto, las escorias y otros productos químicos. La aplicación de estos estabilizadores estará de acuerdo a la norma MTC 1109-2004 Norma Técnica de Estabilizadores Químicos. **(Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Evaluación de la aplicabilidad de estabilizadores de suelos, 2005)**

El suelo estabilizado debe ser resistente a la abrasión y estabilidad, no permitir levantamiento de polvo, no provocar desgaste de neumáticos, económico y de fácil mantenimiento.

2.9.-EL SUELO

En el sentido general de la ingeniería, el suelo se define como el agregado no cementado de granos minerales y materia orgánica descompuesta (partículas sólidas) junto con el líquido y gas que ocupan espacios vacíos entre las partículas sólidas. **(Braja M. Das. Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, 2007)**

Tamaño de partículas del suelo

Cuadro N° 2.2.- Límite tamaño de suelos separados.

SUELOS SEGÚN TAMAÑO	Según AASHTO (mm)	Según SUCS (mm)
Grava	76.2 a 2	76.2 a 4.75
Arena	2 a 0.075	4.75 a 0.075
Limo	0.075 a 0.002	< 0.075
Arcilla	< 0.002	

Fuente: Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, Braja M. Das.

Se denomina suelo a la parte superficial de la corteza terrestre, biológicamente activa, que proviene de la desintegración o alteración física y química de las rocas y de los residuos de las actividades de seres vivos que se asientan sobre ella. **(Juárez Badillo y Rico Rodríguez. Mecánica de suelos, 1996)**

Para poder definir el comportamiento del suelo en las obras viales se consideran tres grupos de parámetros, **(Braja M. Das. Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, 2007)**, que son:

- a) Los parámetros de identificación: La granulometría (distribución de los tamaños de partículas que constituyen el agregado) y la plasticidad (la variación de consistencia del agregado del contenido de agua)
- b) Los parámetros de estado: La humedad (contenido de agua de agregado) y la densidad, referida al grado de compacidad que muestran las partículas constituyentes.
- c) Los parámetros estrictamente mecánicos: La resistencia al esfuerzo cortante y la permeabilidad.

2.10.-LA ARCILLA

La arcilla está constituida por agregados de silicatos de aluminio hidratado, procedente de la descomposición de minerales de aluminio. Surge de la descomposición de rocas que contienen feldespato, originada en un proceso natural que dura miles de años. **(Braja M. Das. Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, 2007)**

Físicamente se considera un coloide, de partículas extremadamente pequeñas y superficie lisa. El diámetro de las partículas de arcilla es inferior a 0.002mm.

Químicamente la arcilla es un silicato hidratado de alúmina, cuya fórmula es:
 $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot H_2O$

Las arcillas son agregados de partículas microscópicas derivadas de la descomposición química que sufren los constituyentes de las rocas. Son suelos plásticos dentro de límites extensos en contenido de humedad y cuando están secos son duros. Tienen, además, una permeabilidad extremadamente baja. (Juárez Badillo y Rico Rodríguez. *Mecánica de suelos*, 1996).

Están constituidas por láminas de aproximadamente 1 micra, las cuales se ven influenciadas por enormes fuerzas eléctricas en sus superficies, esta condición es la característica de los suelos cohesivos.

El comportamiento mecánico de los suelos arcillosos está en función de:

- La constitución mineralógica
- La estructura que conforma la lámina.

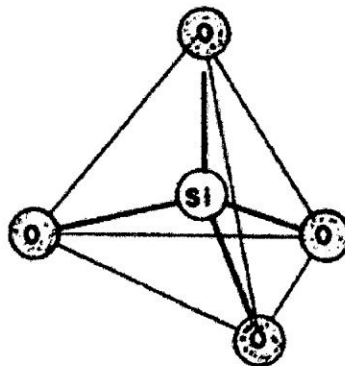


Figura N°2.1.- Tetraedro de sílice

Las partículas de la arcilla llevan una carga negativa sobre su superficie, resultado de su sustitución isomorfa y su ruptura en la continuidad de la estructura en sus bordes. Cargas negativas mayores se derivan de superficies específicas mayores.

En la arcilla seca, la carga negativa es balanceada por los cationes intercambiables, como Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , que rodean a las partículas mantenidas juntas por atracción electrostática. Cuando se agrega a la arcilla, esos cationes y un pequeño número de aniones flotan alrededor de la arcilla, a esto se le llama capa difusa doble, las moléculas de agua son polares (Braja M. Das. *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*, 2007)

2.10.1.-COMPORTAMIENTO DE ARCILLAS EN PRESENCIA DE AGUA

El agua puede tener dos efectos perjudiciales sobre el suelo. En primer lugar, la sola presencia del agua disminuye las fuerzas de atracción entre las partículas arcillosas. En segundo lugar, el agua intersticial puede, en determinadas situaciones particulares, soportar los esfuerzos aplicados, modificando así el comportamiento del suelo.

Una muestra de arcilla, que puede tener una resistencia similar a la del cemento pobre cuando seca, puede convertirse en fango al sumergirse en agua. Así pues, el aumento de la humedad en un suelo reduce, por lo general, la resistencia del mismo.

Cuando una partícula cristalina de arcilla queda rodeada de agua, los átomos de oxígeno del cristal quedan en la superficie de éstos como consecuencia de su constitución interna. Si el cristal se considera como un ente ideal sería eléctricamente neutro, con todas sus cargas eléctricas positivas y negativas balanceadas. Aunque la realidad es otra y en los vértices y aristas de los cristales se rompe de hecho la continuidad de la estructura, por que verdaderamente se tiene, por lo menos en estas zonas, cargas desbalanceadas, es una hipótesis razonable y muy simplificada en un análisis elemental el considerar que el cristal en conjunto es neutro. Las cargas negativas de los átomos de oxígeno en consecuencia, crean una superficie de cristal real, un campo eléctrico hacia el exterior con lo cual las moléculas de agua vecinas se ionizan, de manera que los iones de hidrógeno positivos resultan captados por el cristal, así como también lo hacen los cationes que pudieran haber en disolución en el agua. **(Juárez Badillo y Rico Rodríguez. Mecánica de suelos, 1996).**

Cuando dos cristales de arcilla quedan suficientemente cerca uno del otro, sus respectivas atmósferas de adsorción interaccionan de manera que entre ellas aparece una fuerza neta de repulsión. Los cálculos demuestran que la energía libre de los sistemas de doble capa aumenta cuando la superficie se acerca, de forma que es preciso realizar un trabajo exterior para disminuir la separación entre dos cristales. Se ha visto también que la fuerza repulsiva entre las partículas disminuye aproximadamente en forma exponencial cuando la distancia entre ellas aumenta, pero de nuevo el fenómeno está influido por la concentración, la valencia y el tamaño de los cationes en la solución, así

como por la densidad superficial de carga en la partícula, por la constante dieléctrica del fluido y por la temperatura.

La fuerza repulsiva entre dos cristales próximos no es la única fuerza que actúa, pues entre las moléculas de ambos y las moléculas de agua entre ellos se ejercen también fuerzas atractivas, como consecuencia del efecto *Van der Waals* (Juárez Badillo y Rico Rodríguez. **Mecánica de suelos, 1996**). La fuerza neta actuante entre dos partículas de arcilla será, por lo tanto, la suma algebraica de las dos fuerzas opuestas mencionadas.

Las fuerzas de *Van der Waals* son independientes de la naturaleza del medio que existe entre las partículas, por lo que para un tipo dado de arcilla, la fuerza neta entre partículas vecinas puede variar añadiendo cantidades convenientes de electrolitos en una suspensión, naturalmente que en este caso cambia únicamente el potencial repulsivo de las partículas. Cuando en una suspensión de arcilla la fuerza neta es de repulsión las partículas permanecen separadas y si se depositan lo harán en forma de un sedimento relativamente denso, sin embargo, las partículas continúan separadas unas de otras por el medio repulsivo de sus atmósferas catiónicas. Esto da lugar a una estructura dispersa, al aumentar la concentración de cationes en la suspensión hace disminuir el potencial repulsivo entre las partículas de la arcilla, con lo que aumenta la preponderancia relativa de la fuerza de atracción, de modo que la probabilidad de que dos partículas al acercarse dentro de su movimiento browniano se atraigan en lugar de repelerse aumenta; de hecho en este caso, la fuerza de atracción entre dos partículas aumenta al disminuir su distancia. Si se llega a esta situación, se dice que el suelo flocula, fenómeno que produce, cuando la sedimentación tiene lugar, un depósito de agrupaciones de partículas muy sueltas, ya que cada unidad depositada posee una alta proporción de vacíos (Juárez Badillo y Rico Rodríguez. **Mecánica de suelos, 1996**).

2.10.2.-CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO

Los cristales de arcilla pueden cambiar los cationes absorbidos en su película superficial. Los cationes intercambiables más comunes son: Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , H^+ y $(\text{NH}_4)^+$. Las caolinitas son menos susceptibles de intercambiar sus cationes que las montmorilonitas y las illitas poseen la propiedad en grado intermedio.

Las propiedades mecánicas de una arcilla pueden cambiar al variar los cationes contenidos en sus complejos de adsorción, pues a diferentes cationes ligados corresponden distintos espesores de la película adsorbida, lo que se refleja sobre todo en las propiedades de plasticidad y resistencia del suelo. Por esta razón el intercambio cationico forzado se usa para tratar suelos con fines de mejorar su comportamiento mecánico.

Ilustración del intercambio cationico

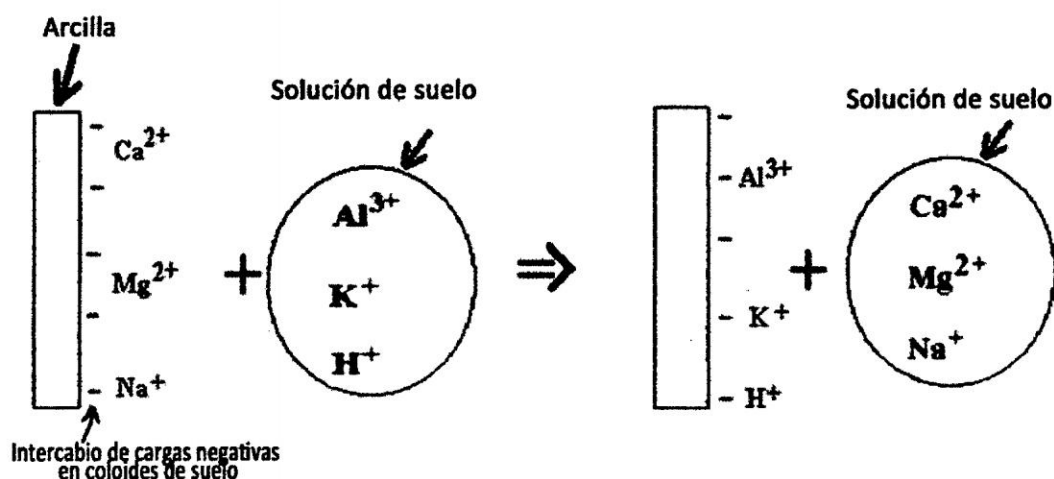
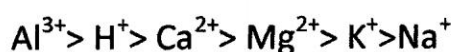


Figura N°2.2.- Capacidad de intercambio cationico en arcillas.

Fuente:Chapman, H.D. 1965. Capacidad de Intercambio Cationico.

Según (Pérez y Urrea. Coagulación y floculación, 2006) indica en el orden general de sustitución entre cationes es:



2.10.3.-COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN

La coagulación es el proceso de desestabilización y posterior agregación de partículas en suspensión coloidal presentes en el agua. La desestabilización se consigue neutralizando las cargas eléctricas, con lo que dejan de actuar las fuerzas de repulsión y los coloides tienden a agregarse. El proceso de coagulación tenderá a agrupar partículas pequeñas en otras mayores, por tanto más sólidas y que denominaremos *flóculos*. La coagulación es la desestabilización de partículas coloidales causadas por la adición de un reactivo químico (coagulante) que neutralizando las cargas electrostáticas, hace que las partículas tiendan a unirse entre sí. (Pérez y Urrea. Coagulación y floculación, 2006)

La floculación es la aglomeración de partículas desestabilizadas en microflóculos y después en flóculos más grandes. El proceso de floculación es precedido por el de coagulación, por eso suele hablarse de procesos coagulación – floculación. (Pérez y Urrea. Coagulación y floculación, 2006)

Las interacciones que se desarrollan entre dos partículas próximas entre sí en una solución acuosa, serán afectadas por dos tipos de fuerzas:

- a) Atracción entre partículas debida a las fuerzas de enlaces secundarios o de Van den Waals.
- b) Fuerzas de repulsión debida a la naturaleza de cargas negativas de superficie de la partícula y capa absorbida.

Factores que influyen en la coagulación:

Según (Pérez y Urrea. Coagulación y floculación, 2006)

- **Valencia:** Entre mayor sea la valencia del ion, más efectivo resulta como coagulante.
- **Capacidad de cambio:** Es una medida a la tendencia a reemplazar cationes de baja valencia por otros de mayor valencia, provocando la desestabilización y aglomeración de partículas en forma muy rápida.
- **Tamaño de las partículas:** Las partículas deben poseer el diámetro inferior a una micra, en cambio las partículas de diámetro superior, son demasiado grandes para ser incorporados en el floc.
- **Temperatura:** La temperatura cambia el tiempo de la formación del floc, entre más fría el agua, la reacción es más lenta y el tiempo de formación del floc es mayor.
- **Relación cantidad – tiempo:** La cantidad de coagulante es inversamente proporcional al tiempo de formación del floc.

2.10.4.-DISPERSIÓN

Es el estado donde las partículas de tamaño coloidal se distribuyen homogéneamente en todo el líquido dispersante y se encuentran separadas unas de otras. (Pérez y Urrea. Coagulación y floculación, 2006)

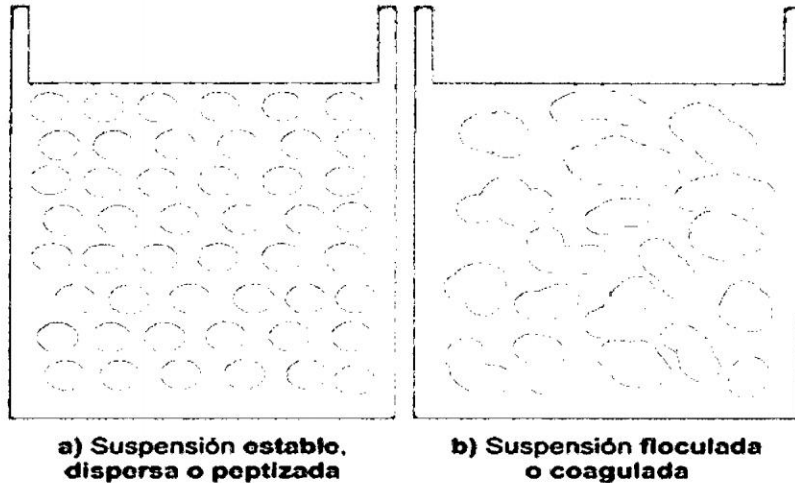


Figura N°2.3.- Suspensiones dispersa y floculada.

La mayoría de las partículas de arcilla tienen una carga eléctrica negativa. Al igual que cargas iguales se repelen, así las partículas de arcillase repelen entre sí.

Un catión es una molécula cargada positivamente. Cationes del suelo comunes incluyen sodio (Na^+), potasio (K^+), magnesio (Mg^{2+}), calcio (Ca^{2+}) y aluminio (Al^{3+}). Los cationes pueden hacer que las partículas de arcillase adhieran (floculación).

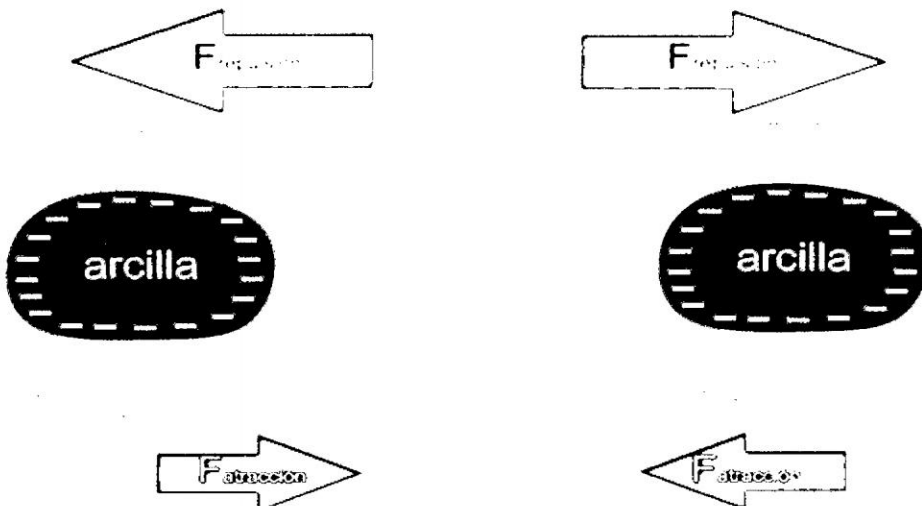


Figura N°2.4.- Partículas de arcilla en presencia de agua, sin cationes.

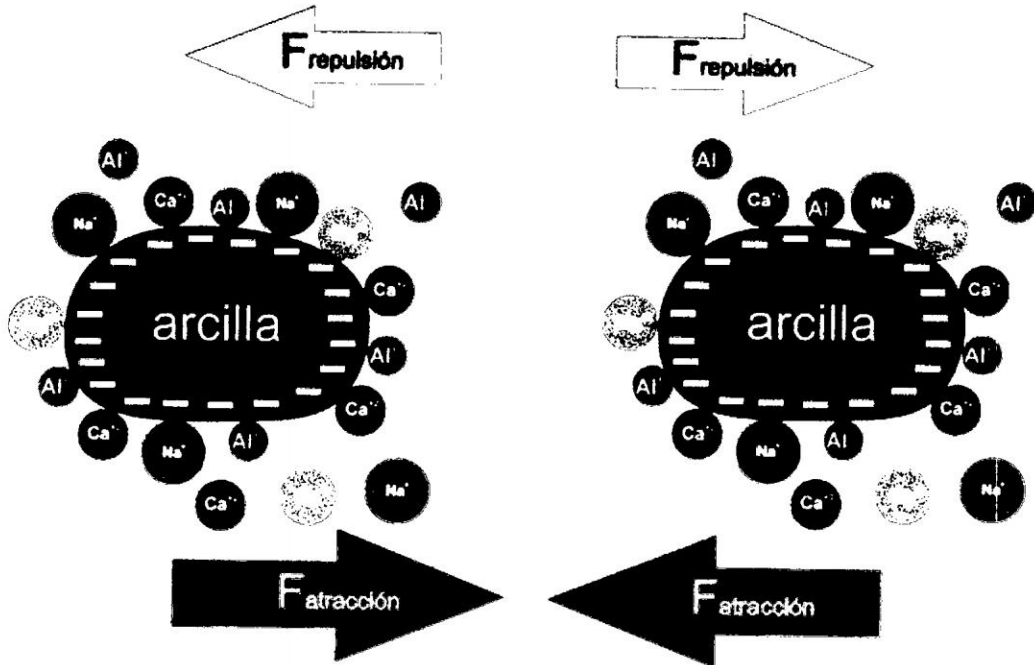


Figura N°2.5.- Partículas de arcilla en presencia de agua, con cationes.

Cationes floculantes:

Podemos dividir cationes en dos categorías

a) Pobres floculadores:

- sodio

b) Buenos floculadores:

- magnesio
- calcio
- aluminio

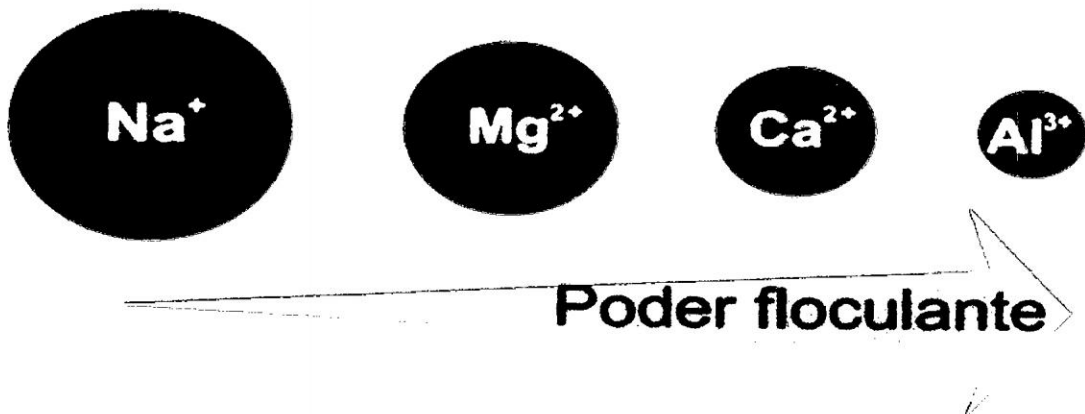


Figura N°2.6.- Poder floculante de cationes en orden creciente.

2.11.-PROCESO CIENTÍFICO DE LA ESTABILIZACIÓN QUÍMICA DE SUELOS

Según la publicación (Mateos Miguel. Estabilización de suelos con cloruro cálcico, 1981):

- a) La estabilización consiste en unir químicamente las laminillas de arcilla impidiendo que se vuelvan a separar por acción del agua.
- b) Las arcillas naturales se expanden por el “agua adsorbida”; produciendo la plasticidad y los “lodos” de la vía.
- c) Une las laminillas y evita la adsorción del agua y así disminuye la plasticidad y su expansión.
- d) Aumenta moderadamente el CBR del suelo de la vía.

2.12.-EFECTOS DE LOS SUELOS ARCILLOSOS SOBRE LAS CONSTRUCCIONES

Las principales peculiaridades de los suelos arcillosos en su comportamiento como material estructural derivadas de su estructura y composición se pueden resumir en los siguientes puntos: (Braja M. Das. Fundamentos de ingeniería geotécnica, 2007)

- e) Comportamiento diferente según el nivel de humedad.
- f) Afinidad por el agua, manifiesta en mayor o menor grado según su mineralogía.
- g) Inestabilidad volumétrica.
- h) Baja resistencia y capacidad portante.
- i) Baja permeabilidad.
- j) Compresibilidad dependiente del tiempo de aplicación de la carga.

2.13.-EL CLORURO DE CALCIO

El cloruro de calcio se produce por la reacción entre la caliza (carbonato de calcio) y ácido clorhídrico. Es higroscópico, delicuescente y no inflamable. El cloruro de calcio que se usa para construcción de carreteras, debe satisfacer los requerimientos establecidos en las especificaciones ASTM D 98.(Mateos Miguel. Estabilización de suelos con cloruro cálcico, 1981):



Carbonato de calcio Ácido clorhídrico Cloruro de calcio Dióxido de carbono Agua

2.14.-HISTORIA DE APLICACIÓN DEL CLORURO DE CALCIO

Parece ser que las primeras aplicaciones de cloruro de calcio se hicieron al principio del siglo XX. El interés en este material nació de la aplicación de agua del mar como paliativo de polvo. Se observó que, al regar con agua salada las carreteras, los efectos eran más duraderos que al hacerlo con agua dulce. Para los investigadores las causas de este beneficio, se usaron independientemente las sales disueltas en el agua de mar, observándose sus efectos. Una de estas sales, el cloruro de calcio, se reveló muy efectiva en la reducción del polvo. Estados Unidos y Canadá han sido los pioneros con este sistema de estabilizaciones y tienen una gran cantidad de kilómetros estabilizados con cloruros. **(Mateos Miguel. Estabilización de suelos con cloruro cálcico, 1981)**

2.15.-EFECTOS DEL CLORURO DE CALCIO COMO AGENTE ESTABILIZADOR DE LOS SUELOS

Efectos beneficiosos:

(Mateos Miguel. Estabilización de suelos con cloruro cálcico, 1981)

1. Aumenta la densidad máxima para un mismo esfuerzo de compactación.
2. Mantienen estable la humedad durante el proceso de compactación.
3. Mantiene la superficie de la vía húmeda, reduciendo la formación de polvo con el tránsito y reteniendo los agregados en la carretera.
4. Suministra cationes de calcio que mejoran las características de las arcillas.

Limitaciones:

(Mateos Miguel. Estabilización de suelos con cloruro cálcico, 1981)

1. Se recomienda emplear en suelos bien graduados.
2. Se disuelve y es arrasado por las aguas de las lluvias.
3. Cuando se usa en tratamientos superficiales, las partículas de cloruro de calcio se pueden depositar en los vehículos acentuando la corrosión de las partes metálicas.

2.16.-EL CALCIO MÁS EFECTIVO QUE EL SODIO

El exceso de sodio intercambiable tiene efecto adverso sobre el crecimiento de plantas y estructura del suelo. Su resultado se traduce en reducción en los rendimientos de cultivos. **(Mateos Miguel. Estabilización de suelos con cloruro cálcico, 1981)**

En los suelos sódicos, las partículas de arcilla tienden a separarse. Este proceso de disociación técnicamente se denomina dispersión. Las fuerzas que mantienen unidas a las partículas de arcilla se interrumpen por los iones de Sodio.

Cuánto más pequeño es el radio hidratado, y cuánto mayor la valencia de un catión, mayor es su poder de flocular el suelo. El calcio tiene un efecto floculante, mientras que el sodio dispersa el suelo. El calcio es más efectivo que el sodio porque es bivalente y tiene un menor radio iónico. **(Mateos Miguel. Estabilización de suelos con cloruro cálcico, 1981)**

2.17.-CÓMO FUNCIONA EL CLORURO DE CALCIO

El cloruro de calcio se puede aplicar sobre cualquier superficie expuesta al tránsito, viento, cargas, lluvias y agentes que pueden desprender el material fino.

Para la conservación de caminos estabilizados con cloruro de calcio deben aplicarse una vez al año, pero en dosis ya menores después de la primera aplicación, es recomendable realizar después de la temporada de lluvias. No olvidarse el drenaje superficial y lateral del camino para conservarlo en óptimas condiciones.

La aplicación de cloruro de calcio permite utilizar una amplia gama de materiales granulares (gravosos o arenosos), desde no plásticos hasta con índice de plasticidad de 15%. **(Mateos Miguel. Estabilización de suelos con cloruro cálcico, 1981)**

El presupuesto para construir carreteras no pavimentadas aplicando cloruro de calcio es 30% más que aquellas vías afirmadas solo con material granular; sin embargo este mayor costo es compensado por la reducción en los costos de mantenimiento rutinario y periódico y sumarle los efectos sociales, económicos y ambientales en la zona de influencia. **(Mateos Miguel. Estabilización de suelos con cloruro cálcico, 1981)**

El cloruro de calcio tiene la propiedad de penetrar en los agregados del camino, sobre todo en la fracción fina, cubriendo las partículas y rellenando los vacíos, obteniendo la compactación con menor número de pasadas del rodillo, manteniendo la humedad del

suelo estabilizado y reduciendo al mínimo la pérdida del material fino por efecto del tránsito..(Mateos Miguel. **Estabilización de suelos con cloruro cálcico, 1981**)

El grado de pureza no es importante, porque las impurezas más comunes son el cloruro de sodio (NaCl) y cloruro de magnesio ($MgCl_2$), donde estas dos sales producen en los suelos efectos similares al cloruro cálcico. Sin embargo, debido a que el cloruro de magnesio es muy corrosivo su contenido debe ser el menor posible cuando se emplea en tratamientos superficiales. (Mateos Miguel. **Estabilización de suelos con cloruro cálcico, 1981**)

El aumento de la densidad está originado por la floculación de las partículas arcillosas del suelo, unido a una mayor facilidad para que las partículas gruesas cambien de posición en el proceso de compactación. El estado de la floculación o coagulación de las partículas de la arcilla depende de la concentración de la sal.

La solución de cloruro de calcio se congela a una temperatura menor que el agua pura. Por consiguiente los suelos tratados con cloruro cálcico sufren menos efectos del hielo y deshielo. (Mateos Miguel. **Estabilización de suelos con cloruro cálcico, 1981**)

Los suelos tratados con cloruro de calcio experimentan una densificación, debido exclusivamente a catión calcio. A esta densificación se le llama "curado", porque tiene lugar después de la compactación. El aumento de la densidad durante el curado está relacionado con la disminución en espesor de la película de agua que rodea las partículas del suelo debida a la pérdida de parte de la humedad de la capa estabilizada. El cloruro de calcio al suministrar Ca^{2+} pueden ser intercambiados por otros tipos de cationes en la superficie de las partículas de arcilla, reduciendo notablemente la plasticidad de las arcillas y el hinchamiento de las mismas cuando absorben agua.

Una solución de cloruro tiene una presión de vapor más baja que el agua pura, por lo que las moléculas de agua en la solución se evaporan más lentamente que las moléculas del agua pura. Debido a estas propiedades es por lo que se usa el cloruro como paliativo del polvo. La humedad que imparte la adición de cloruro a la superficie de un camino de tierra mantiene los áridos más estables que en uno sin tratar. Al perderse menos áridos se ahorra en la conservación de los caminos. (Mateos Miguel. **Estabilización de suelos con cloruro cálcico, 1981**)

2.18.-CÁLCULO DE LA DOSIFICACIÓN DEL CLORURO DE CALCIO

El contenido de cloruro de calcio en la mezcla, generalmente varía entre 1% a 3% en peso del suelo seco a estabilizar. No obstante, la cantidad adecuada de cloruro de calcio se definirá en función a las características propias de los materiales y a los ensayos de CBR, realizado mediante la norma ASTM D 1883 y en función a los resultados que se obtengan del tramo de prueba.

El porcentaje óptimo de cloruro de calcio puede variar dependiendo de las características del suelo a estabilizar. Por lo tanto de deben hacer ensayos de laboratorio para identificar el tipo de suelo y su plasticidad. El porcentaje de cloruro de calcio óptimo se puede determinar mediante la prueba de Proctor modificado y C.B.R.

Para garantizar la durabilidad se recomienda que los materiales a utilizar cumplan con las especificaciones técnicas para afirmados.

Cada tipo de suelo requiere una cantidad adecuada de cloruro de calcio para su estabilización, por ello se utilizaron suelos de canteras predominantes a la superficie del camino a tratar y a la cual, se le realizaron ensayos de laboratorio en la ciudad de Huamanga. **(Mateos Miguel. Estabilización de suelos con cloruro cálcico, 1981)**

2.19.-ENSAYOS A REALIZAR EN LOS SUELOS PARA LA ESTABILIZACIÓN

Los principales ensayos a realizar en los suelos a emplearse que el Ministerio de Transportes y Comunicaciones recomienda es:

- Análisis granulométrico
- Límites de Atterberg (límite líquido y plástico)
- Ensayo Proctor modificado
- California Ratio Bearing (C.B.R.)
- Prueba de Abrasión con la máquina de los Ángeles

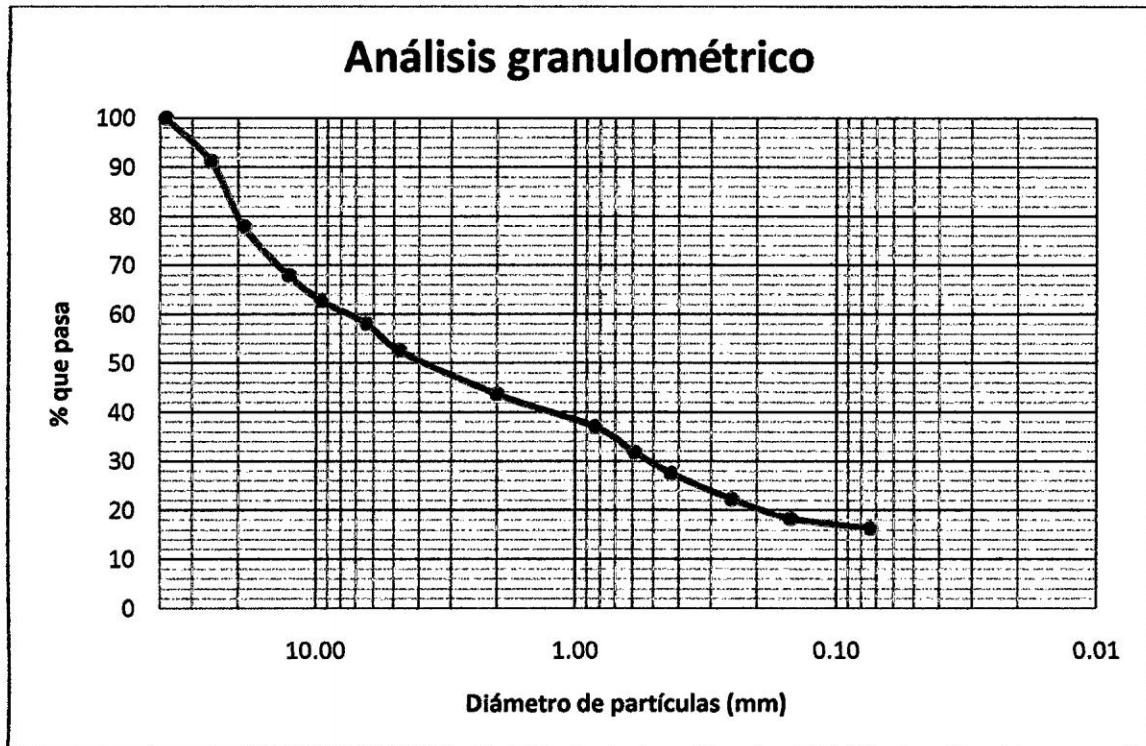
Primeramente se debe identificar el tipo de suelo mediante los ensayos de granulometría y límites de Atterberg, luego para calcular la dosificación adecuada emplear el ensayo Proctor modificado y C.B.R. La prueba de la resistencia a la abrasión en la máquina de los Ángeles se usa para asegurar que los agregados gruesos sean resistentes al tráfico. **(Mateos Miguel. Estabilización de suelos con cloruro cálcico, 1981)**

2.19.1.-ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

El objetivo de éste ensayo es obtener la distribución por tamaños de partículas presentes en una muestra de suelo.

Los resultados de este ensayo se deben representar mediante el gráfico del porcentaje que pasa vs diámetro de partículas.

Gráfico 2.1.-Análisis granulométrico.



2.19.2.-LÍMITES DE ATTERBERG

Cuando existen minerales de arcilla en un suelo de grano fino, éste puede ser remodelado en presencia de alguna humedad sin desmoronarse. Esta naturaleza cohesiva es debida al agua adsorbida que rodea a las partículas de arcilla. A principios de 1900, un científico sueco, Albert Atterberg, desarrolló un método para describir la consistencia de los suelos de grano fino con contenidos variables de agua. A muy bajo contenido de agua, el suelo se comporta más como un sólido frágil. Cuando el contenido de agua es muy alto, el suelo y el agua fluyen como un líquido. Por tanto, dependiendo del contenido de agua, la naturaleza del comportamiento del suelo se clasifica arbitrariamente en 4 estados básicos, denominados: sólido, semisólido, plástico y líquido, como muestra la figura: (Braja M. Das. Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, 2007)

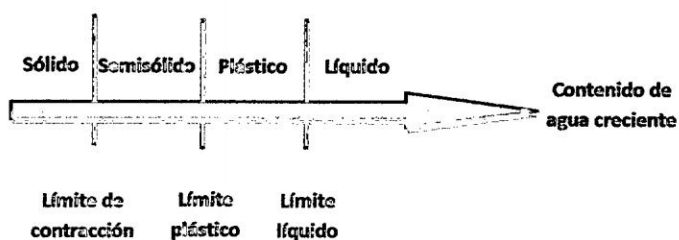


Figura N°2.7.-Límites de Atterberg.

El contenido de agua, en porcentaje, en el que la transición de estado sólido a semisólido tiene lugar, se define como el **límite de contracción**. El contenido de agua en el punto de transición del estado semisólido a plástico es el **índice plástico**, y de estado plástico a líquido es el **límite líquido**. Esos límites se conocen también como **límites de Atterberg**. (Braja M. Das. Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, 2007)

2.19.3.-CLASIFICACIÓN DE SUELOS

Los suelos con propiedades similares se clasifican en grupos y sub-grupos basados en su comportamiento ingenieril. Los sistemas de clasificación proporcionan un lenguaje común para expresar en forma concisa las características generales de los suelos, que son infinitamente variadas sin una descripción detallada. Actualmente, dos sistemas de clasificación que usan la **distribución por tamaño de grano y la plasticidad** de los suelos son usados comúnmente por los ingenieros de suelos. Estos son el Sistema AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) y el SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos). El sistema AASHTO lo usan principalmente los departamentos de caminos estatales y condados, mientras que los ingenieros geotécnicos usualmente prefieren el SUCS. (Braja M. Das. Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, 2007)

2.19.4.- SISTEMA DE CLASIFICACIÓN AASHTO

El sistema de clasificación AASHTO actualmente hace uso del Cuadro N° 2.3. De acuerdo a éste, el suelo se clasifica en siete grupos mayores: A-1 al A-7. Los suelos clasificados en los grupos A-1, A-2 y A-3 son materiales granulares, donde 35% o menos de las partículas pasan por la criba N°200. Los suelos de los que más del 35% pasan por la

criba N°200 son clasificados en los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7. La mayoría están formados por materiales tipo limo y arcilla. Este sistema de clasificación se basa en los siguientes criterios:(Braja M. Das. Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, 2007)

A.- Tamaño del grano:

Grava: Fracción que pasa la malla de 75mm (3") y es retenida en la malla N° 10 (2mm).

Arena: Fracción que pasa la malla N°10 (2mm) y es retenida en la malla N°200 (0.075mm).

Limo y arcilla: Fracción que pasa por la malla N°200 (0,075mm).

B.- Plasticidad:

El término **limoso** se aplica cuando las fracciones de los finos del suelo tienen un índice de plasticidad de 10 ó menos. El término **arcilloso** se aplica cuando las fracciones de finos tienen un índice de plasticidad de 11 o mayor.(Braja M. Das. Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, 2007)

C.- Cantos rodados y boleos:

Los cantos rodados y boleos (tamaños mayores que 75mm ó 3") están presentes, éstos se excluyen de la porción de la muestra de suelo que se está clasificando. Sin embargo, el porcentaje de tal material se registra. (Braja M. Das. Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, 2007)

Para clasificar un suelo de acuerdo con el Cuadro N°2.3, los datos de prueba se aplican de izquierda a derecha. Por un proceso de eliminación, el primer grupo desde la izquierda en el que los datos de prueba se ajusten, es la clasificación correcta.(Braja M. Das. Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, 2007)

Cuadro N°2.3.-Clasificación de suelos según Sistema AASHTO

CLASIFICACION GENERAL	Materiales Granulares (igual o menor del 35% pasa el tamiz N° 200)							Materiales Limo - Arcillosos (más del 35% que pasa el tamiz N° 200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
GRUPOS	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5
SUB - GRUPOS	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7	A-4	A-5	A-6	A-7-6
% que pasa el Tamiz											
N° 10	50 máx.										
N° 40	30 máx.	50 máx.	51 máx.								
N° 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Características del Material que pasa el tamiz N° 40											
Límite Líquido			NO	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de Plasticidad	6 máx.	6 máx.	PLÁSTICO	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Índice de Grupo	0	0	0	0	0	4 máx.	4 máx.	8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.
Tipos de Material	fragmentos de piedra grava y arena		Arena fina	Grava, arenas limosas y arcillosas				Suelos Limosos		Suelos Arcillosos	
Terreno de Fundación	Excelente a Bueno						Regular a Deficiente				

NOTA: El índice de plasticidad de los suelos A-7-5 es igual o menor que su Límite Líquido 30, el de los A-7-6 mayor que su Límite Líquido (fig. 1) se ha indicado la relación entre lo LL e IP de los materiales finos. Dicho de otro modo, el grupo A-7 es subdividido en A-7-5 ó A-7-6 dependiendo del Límite Plástico (L.P.)
Si el LP ≥ 30, la clasificación es A-7-6
Si el LP < 30, la clasificación es A-7-5

Fuente: Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, Braja M. Das (2007)

Para la evaluación de la calidad de un suelo como material para la subrasante de carreteras, se incorpora también el número llamado **Índice de grupo (IG)** junto con los grupos y subgrupos del suelo. Este número se escribe en paréntesis después de la designación de grupo o de subgrupo. El índice de grupo (IG) está dado por la ecuación:

$$IG = (F - 35)[0.2 + 0.005(LL - 40)] + 0.01(F - 15)(IP - 10)$$

Donde:

F : Porcentaje que pasa la malla N°200.

LL: Límite líquido.

IP: Índice de plasticidad.

2.19.5.- SISTEMA DE CLASIFICACIÓN SUCS

El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos fue originalmente propuesto por Casagrande (1942) y hoy es ampliamente usado por los ingenieros (Prueba D-2487 de la ASTM). El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos se presenta en los Cuadros N°3.4, 3.5 y 3.6; clasifica los suelos en dos amplias categorías: Suelo de grano grueso y suelo de grano fino. (Braja M. Das. Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, 2007)

Criterios para usar los Cuadros N°3.4, 3.5 y 3.6:

Si: $F_1 < \frac{(100-F)}{2}$ usar el Cuadro N°3.4 (suelo tipo grava).

Si: $F_1 \geq \frac{(100-F)}{2}$ usar el Cuadro N°3.5 (suelo arenoso).

Si: $F \geq 50$ usar el Cuadro N°3.6 (suelo limo arcilloso).

Cuadro N° 2.4.- Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, símbolos de grupo para suelos tipo grava.

SÍMBOLO DE GRUPO	CRITERIOS
GW	Menos del 5% pasa la malla N° 200; $C_u = D_{60}/D_{10}$ mayor o igual que 4; $C_c = (D_{30})^2 / (D_{10} \times D_{60})$ entre 1 y 3.
GP	Menos de 5% pasa la malla N° 200; no cumple ambos criterios para GW.
GM	Más de 12% pasa la malla N°200; los límites de Atterberg se grafican debajo de la línea A (fig. 2.8) o el índice de plasticidad menor que 4.
GC	Más de 12% pasa la malla N°200; los límites de Atterberg se grafican debajo de la línea A (fig. 2.8) índice de plasticidad mayor que 7.
GC – GM	Más de 12% pasa la malla N°200; los límites de Atterberg caen en el área sombreada marcada CL-ML en la Fig. 2.8
GW – GM	El porcentaje que pasa la malla N°200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para GW – GM.
GW – GC	El porcentaje que pasa la malla N°200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para GW – GC.
GP – GM	El porcentaje que pasa la malla N°200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para GP – GM.
GP - GC	El porcentaje que pasa la malla N°200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para GP – GC.

Fuente: Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, Braja M. Das (2007)

Cuadro N° 2.5.-Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, símbolos de grupo para suelos arenosos.

SÍMBOLO DE GRUPO	CRITERIOS
SW	Menos de 5% pasa la malla N° 200; $Cu=D_{60}/D_{10}$ mayor o igual que 6.
SP	Menos de 5% pasa la malla N° 200; no cumple con criterios para SW.
SM	Más de 12% pasa la malla N°200; los límites de Atterberg se grafican debajo de la línea A (Fig. 2.8); o índice de plasticidad menor que 4.
SC	Más de 12% pasa la malla N°200; los límites de Atterberg se grafican arriba de la línea A (Fig. 2.8); índice de plasticidad mayor que 7.
SC – SM	Más de 12% pasa la malla N°200; los límites de Atterberg caen en el área sombreada marcada CL-ML en la Fig. 2.8.
SW – SM	Porcentaje que pasa la malla N°200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para SW y SM.
SW – SC	Porcentaje que pasa la malla N°200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para SW y SC.
SP – SM	Porcentaje que pasa la malla N°200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para SP y SM.
SP – SC	Porcentaje que pasa la malla N°200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para SP y SC.

Fuente: Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, Braja M. Das (2007)

Cuadro N° 2.6.- Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, símbolos de grupo para suelos limos y arcillosos.

SÍMBOLO DE GRUPO	CRITERIOS
CL	Inorgánico; $LL < 50$; $IP > 7$; se grafica sobre o arriba de la línea A (véase zona CL en la fig. 2.8)
ML	Inorgánico; $LL < 50$; $IP < 4$; o se grafica debajo de la línea A (véase zona ML en la fig. 2.8)
OL	Orgánico; $(LL \text{ no secado en horno}) / (LL \text{ secado en horno}) < 0.75$; $LL < 50$ (véase zona OL en la fig. 2.8)
CH	Inorgánico; $LL \geq 50$; IP se grafica sobre o arriba de la línea A (véase zona CH en la fig. 2.8)
MH	Inorgánico; $LL \geq 50$; IP se grafica debajo de la línea A (véase la zona MH en la fig. 2.8)
OH	Orgánico; $(LL \text{ no secado en horno}) / (LL \text{ secado en horno}) < 0.75$; $LL \geq 50$ (véase zona OH en la fig. 2.8)
CL – ML	Inorgánico; se grafica en la zona sombreada en la fig. 2.8.
Pt	Turba, lodos y otros suelos altamente orgánicos.

Fuente: Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, Braja M. Das (2007)

A.- Suelo de grano grueso: Son de naturaleza tipo grava y arenosa con menos del 50% pasando la malla N°200. Los símbolos de grupo comienzan con un prefijo G o S. Donde G significa grava o suelo gravoso y S significa arena o suelo arenoso. **(Braja M. Das. Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, 2007)**

B.- Suelo de grano fino: Con 50% o más pasando por la malla N°200. Los símbolos de grupo comienzan con un prefijo M que significa limo inorgánico, C para arcilla inorgánica u O para limos y arcillas orgánicas. El símbolo Pt se usa para turbas, lodos y otros suelos altamente orgánicos. **(Braja M. Das. Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, 2007)**

Otros símbolos son también usados para la clasificación:

- W** : bien graduado.
- P** : mal graduado.
- L** : baja plasticidad (límite líquido menor que 50)
- H** : alta plasticidad (límite líquido mayor que 50)

Para una clasificación apropiada con este sistema, debe conocerse algo o todo de la información siguiente:

- 1.-**Porcentaje de grava**, es decir, la fracción que pasa la malla de 3" (76.2mm) y es retenida en la malla N°4 (4,75mm).
- 2.-**Porcentaje de arena**, es decir, la fracción que pasa N°4 (4.75mm) y es retenida en la malla N° 200 (0,075mm).
- 3.-**Porcentaje de limo y arcilla**, es decir, la fracción de finos que pasan la malla N°200 (0,075mm).
- 4.-El **coeficiente de uniformidad (Cu)** y el **coeficiente de curvatura (Cc)**.
- 5.-**Límite líquido e índice de plasticidad** de la porción de suelos que pasa la malla N°40.

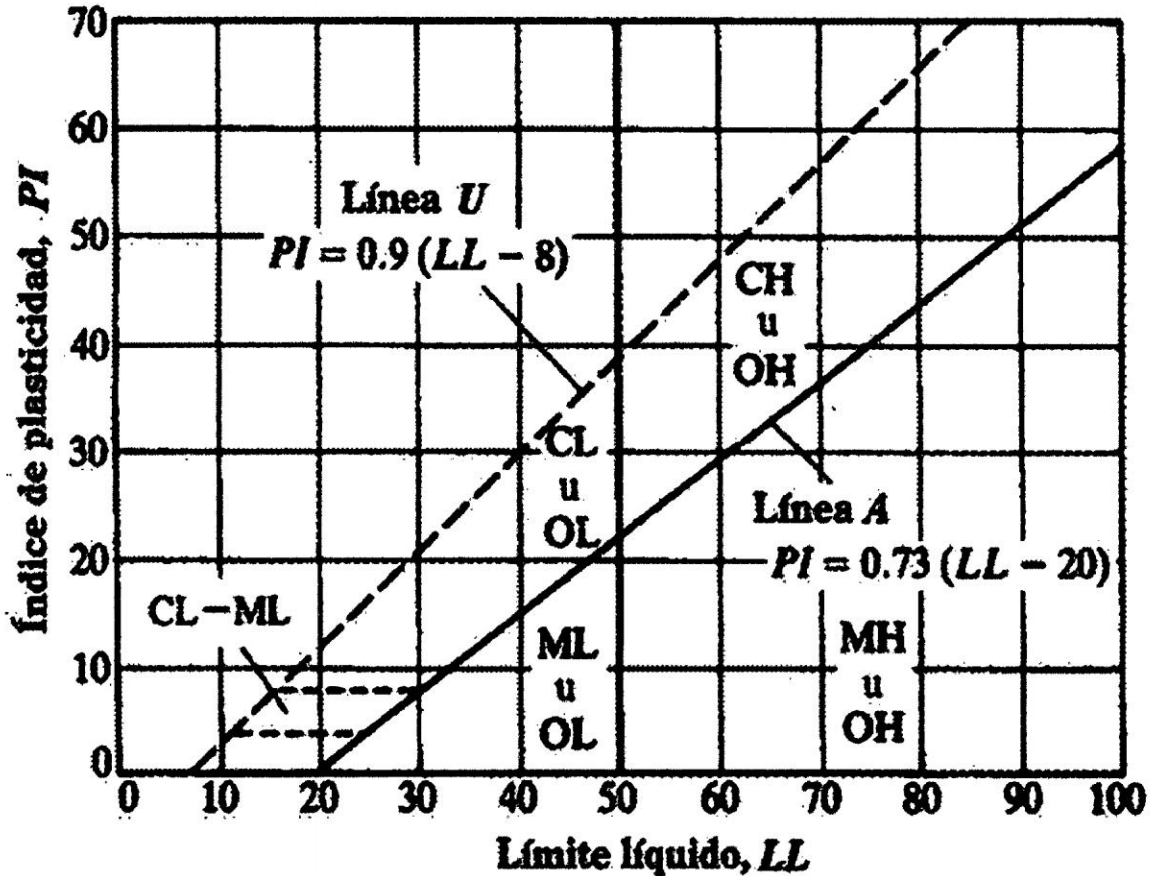


Figura Nº 2.8.- Carta de plasticidad de Casagrande (1932)

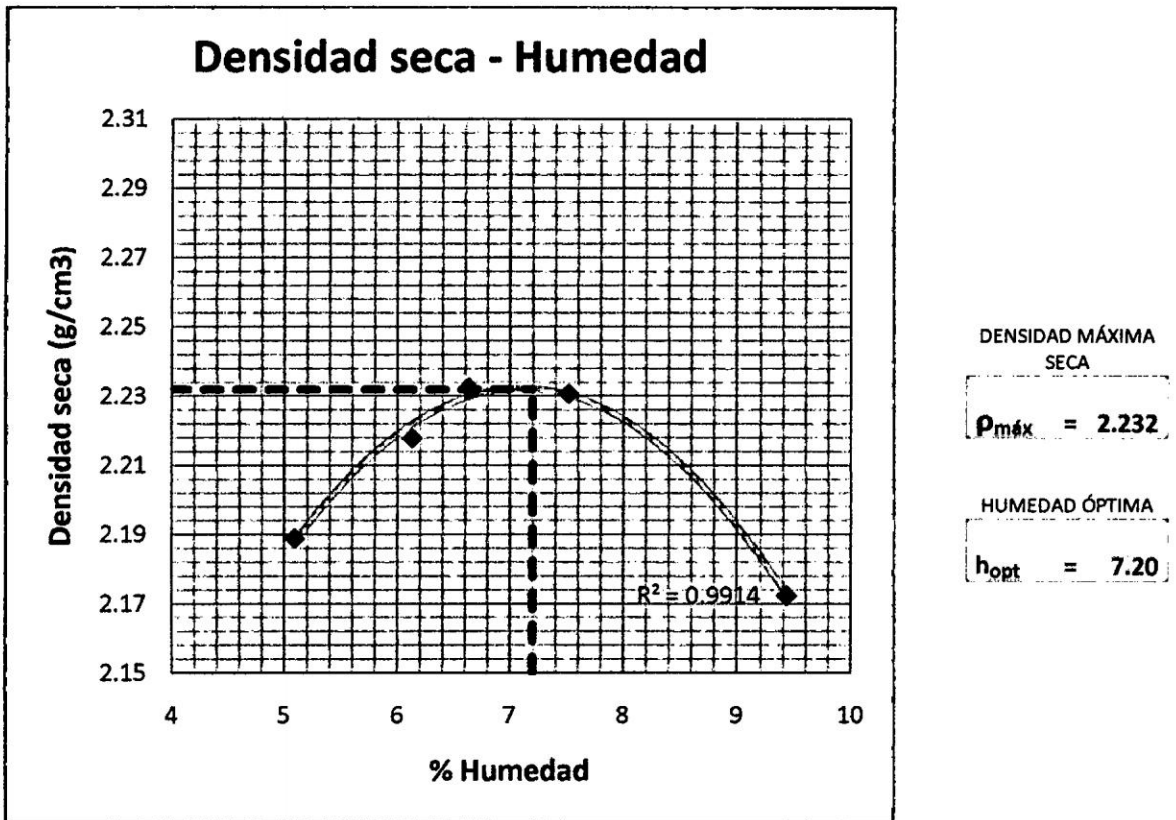
2.19.6.- ENSAYO PROCTOR MODIFICADO

El ensayo de compactación Proctor es uno de los más importantes procedimientos de estudio y control de calidad de la compactación de un terreno. A través de él es posible determinar la compactación máxima de un terreno en relación con su grado de humedad. (Braja M. Das. Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, 2007)

El ensayo consiste en compactar una porción de suelo en un cilindro con volumen conocido, haciéndose variar la humedad para obtener el punto de compactación máxima en el cual se obtiene la humedad óptima de compactación. (Braja M. Das. Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, 2007)

Para lograr la densidad máxima se realizan 5 pruebas con suelos con contenidos de humedad creciente y se realiza el gráfico de densidad máxima seca vs porcentaje de humedad.

Gráfico N° 2.2.- Variación de densidad respecto a la humedad



Fuente.- Elaboración propia

2.19.7.- ENSAYO DE C.B.R. (CALIFORNIA BEARING RATIO)

Describe el procedimiento de ensayo para la determinación de un índice de resistencia de los suelos denominado valor de la relación de soporte, que es muy conocido, como CBR (California Bearing Ratio). EL ensayo se realiza normalmente sobre suelo preparado en el laboratorio en condiciones determinadas de humedad y densidad.

Este índice se utiliza para evaluar la capacidad de soporte de los suelos de subrasante y de capas de bases, sub-base y de afirmado. **(Braja M. Das. Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, 2007)**

Este modo operativo hace referencia a los ensayos para determinación de las relaciones de peso unitario – humedad, usando un equipo modificado.

2.19.8.- ENSAYO DE ABRASIÓN POR MEDIO DE LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES

El ensayo mide la degradación de los agregados resultan de la combinación de varias acciones como ser abrasión, impacto y fricción de las esferas dentro de la máquina de Los Ángeles el número de esferas varía según la gradación del material a ser ensayado.(Juárez Badillo y Rico Rodríguez. **Mecánica de suelos, 1996**)

2.20.-QUÉ ES EL Quím KD 40

El Quím KD 40 es un producto elaborado por la Empresa QUIMPAC S.A., que tiene como compuesto básico el cloruro de calcio, el cual tiene como complemento la participación de aditivos que permiten darle al producto final el aspecto, equilibrio y la calidad requeridos para cumplir eficazmente con las aplicaciones específicas a las que está dirigido.(Ministerio de Transportes y Comunicaciones. **Evaluación de la aplicabilidad de estabilizadores de suelos, 2005**)

El producto es elaborado en la Planta de Álcalis de Paramonga como un derivado del proceso cloro soda. Ello permite que la concentración de cloruro de sodio en su composición sea mínima (menor a los 50 ppm), con lo cual el producto no es corrosivo, pudiendo usarse de manera segura en los diferentes campos de aplicación.(Ministerio de Transportes y Comunicaciones. **Evaluación de la aplicabilidad de estabilizadores de suelos, 2005**)

2.20.1.-ESPECIFICACIONES TÉCNICAS EL Quím KD 40

El producto cumple con las normas técnicas nacionales (NTP 209.017) e internacionales (ASTM E449-90). (Ministerio de Transportes y Comunicaciones. **Evaluación de la aplicabilidad de estabilizadores de suelos, 2005**)

Cuadro N°2.3.-Especificaciones técnicas de QUIM KD 40

Características	Límites	Unidad
Cloruro de Calcio (como CaCl ₂)	36-40	% w/w
Sulfatos (como CaSO ₄)	Máx. 0.40	% w/w
Fierro (como Fe)	Máx. 3.0	mg/L
pH	7.0 – 8.5	
Densidad (a 25° C)	1.36 - 1,40	g/mL
Aspecto	Líquido transparente exento de partículas en suspensión.	

Fuente: Quimpac S. A.

2.20.2.- CARACTERÍSTICAS DEL PRODUCTO

El Quím KD 40 presenta las siguientes características (**Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Evaluación de la aplicabilidad de estabilizadores de suelos, 2005**):

- **Higroscópico.** Absorbe el agua del medio ambiente.
- **Versátil.** Empleo en distintos tipos de vías, climas y medios geográficos.
- **Ecológico.** Contribuye a mejorar el paisaje y a eliminar la contaminación ambiental, disminuyendo la concentración de finos en el aire a niveles permisibles de acuerdo a la legislación vigente.
- **Delicuescente.** Redisolución en la humedad que absorbe formando una solución clara resistente a la evaporación.
- **Resistente.** Mantiene una buena carpeta con largos períodos de retención de humedad.
- **Aglutinante.** Cohesiona las partículas del suelo, aumentando su densidad.

2.20.3.-PRESENTACIÓN

Quimpac S.A. ofrece su estabilizador de suelos en forma líquida al 40% de pureza. Al lugar de aplicación el producto llega en cisternas de 30 toneladas. Dichas cisternas están dotadas de todos los elementos necesarios para que la aplicación se realice de

manera segura y eficiente.(Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Evaluación de la aplicabilidad de estabilizadores de suelos, 2005)

2.20.4.-OTRAS APLICACIONES

(Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Evaluación de la aplicabilidad de estabilizadores de suelos, 2005)

- **Industria minera.** Como controlador de polvos, en lixiviación de Cobre con el proceso Cuprochlor, como aglomerante.
- **Industria de la construcción e ingeniería civil.** Como acelerador del fraguado del cemento. Como estabilizador de suelos en la construcción de vías.
- **Industria del petróleo.**
- **Industria Química.** En el tratamiento de agua. Como refrigerante.
- **Agricultura.** Como aportante de calcio.

2.21.- IMPACTO AMBIENTAL DE LOS ESTABILIZADORES QUÍMICOS

Los impactos de los principales estabilizadores registrados hablan de daños a la vegetación, suelos y el agua superficial. Para determinar el grado de estabilidad de cada uno de estos productos estabilizadores se tendrá en cuenta los efectos e incidencia que tienen estos en las personas, el subsuelo, la capa superficial de suelo, las plantas y los animales, las fuentes de agua, la erosión del suelo, etc.

2.21.1.-FUNCION DE LOS NUTRIENTES EN LAS PLANTAS

Las plantas como seres vivos toman los elementos que se encuentra en el medio ambiente tanto en el aire como suelo y lo sintetizan para su propio consumo debido a este proceso se les considera como seres autótrofos (seres con la capacidad de generar su propio alimento), gracias a este fenómeno se determino que ciertos elementos que se encuentran en suelo, agua y aire ayudan al buen desarrollo y crecimiento. A estos elementos se les clasificó como los macronutrientes (C, H, O, N, S, P, K, Ca y Mg) y los micronutrientes (Fe, Mn, B, Zn y Mo).

La toxicidad del aluminio ha sido reconocida como el factor limitante más importante para la producción agrícola en suelos ácidos y asociada a una reducción de la absorción de varios nutrientes de las plantas, así como el proceso de absorción y utilización de algunos nutrientes, en especial el Ca, Mg y P.

El pH en las plantas es un parámetro importante a monitorear y regular, está directamente relacionada con la solución nutritiva, es decir, tener disponibles los elementos facilitando su absorción evitando el estrés o desgaste al cultivo, debemos recordar que es un ser vivo, lo que significa que se alimenta en este proceso lo hace desde la raíz en donde toma los elementos necesarios y/o disponibles, para llevarlos hasta las hojas en donde son digeridos y asimilados por la planta este proceso se afecta cuando, el pH no es el idóneo con esto nos referimos si es alto (básico) o bajo (ácido) lo que implica un desgaste para la planta tratando de tomar los nutrientes bajando su calidad como rendimiento. (Mateos Miguel. Estabilización de suelos con cloruro cálcico, 1981)

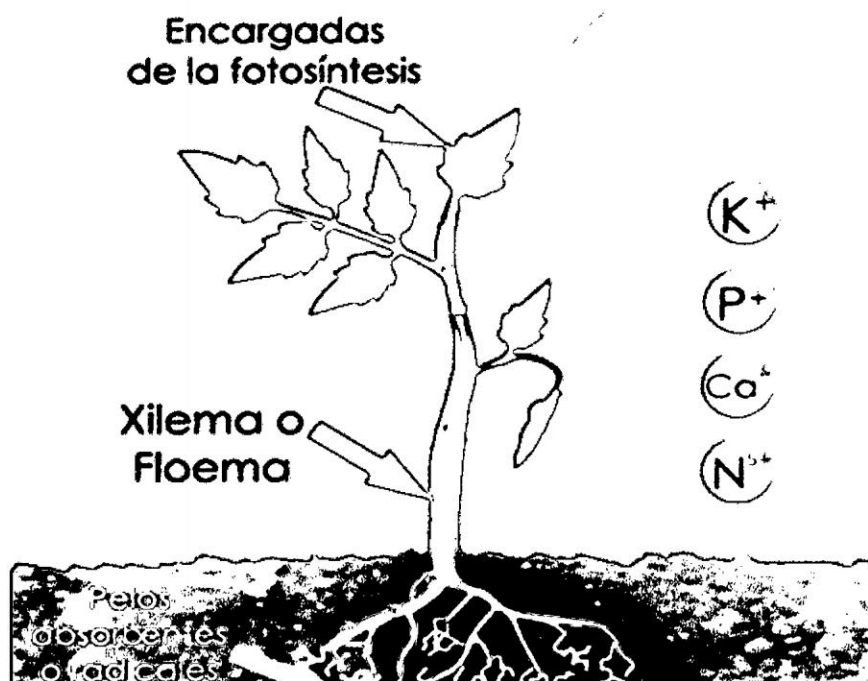


Figura N°2.7.-Esquema los procesos de toma de agua como nutrientes para su desarrollo en suelo.

La **conductividad eléctrica** es otro parámetro a tener en cuenta, es un estimador de la concentración de sales disueltas en el agua, permitiendo evaluar la capacidad del agua para conducir la corriente eléctrica, e influye en la asimilación de los fertilizantes.

2.21.2.-EFECTOS DEL POLVO DEPOSITADAS SOBRE LAS HOJAS DE LAS PLANTAS

El polvo siempre está presente en el aire, pero cuando ocurre erosión eólica, la concentración de las partículas de suelo en el aire aumenta significativamente. Las plantas atrapan y retiene las partículas transportadas por el viento, sin embargo, se dispone de escasa información sobre los efectos del polvo que cubre las hojas como resultado de la acción erosiva del viento.

Existen antecedentes de que la tasa de intercambio de CO₂ se reduce por el polvo depositado sobre las hojas de las plantas. Las plantas absorben la energía de la luz solar en su sistema a través de las hojas. Las plantas utilizan la luz, junto con una sustancia química llamada clorofila, para cambiar el dióxido de carbono, agua, nutrientes en el suelo y otros materiales en el alimento de las plantas requieren para sobrevivir y crecer.

El polvo y la suciedad en las hojas bloquean la luz del sol, por lo que el proceso de fotosíntesis es menos eficiente. A largo plazo, la acumulación de suciedad y polvo en el follaje del vegetal compromete el crecimiento y las funciones vitales de la planta.

2.21.3.-IMPACTO DEL CALCIO EN LAS PLANTAS

En cultivos de hortalizas, los requerimientos de Calcio son tan elevados como los de Nitrógeno, Fósforo o Potasio. Esta generalización es válida tanto para hortalizas de fruta como para aquellas en las que se cosechan otros órganos. En el contexto actual, donde la productividad y la calidad de los cultivos son claves para la rentabilidad de la empresa hortícola, es fundamental conocer la dinámica del Calcio en el suelo y en la planta. **(Mateos Miguel. Estabilización de suelos con cloruro cálcico, 1981)**

El Calcio está asociado con la firmeza de frutos, en abundancia de Calcio se obtienen frutos más firmes. Con una adecuada nutrición el Calcio mejora la tolerancia de las plantas a situaciones de estrés por calor, heladas, viento.

En términos productivos, un déficit de Calcio ocasiona una reducción del rendimiento. En menor medida, la deficiencia de Calcio afecta otras propiedades asociadas con la calidad y por ende el valor de los productos hortícolas.

El Calcio mejora la tolerancia a distintas enfermedades ya sea por efecto directo, a través de la resistencia de los tejidos, o la inhibición de la poligalacturonasa. También hay un efecto indirecto, a través de un mejoramiento de las condiciones edáficas.

2.22.-pH DEL SUELO

Al decir pH, o "reacción del suelo", nos estamos refiriendo a su carácter de ácido, neutro o alcalino, que afecta directamente a los procesos físicos y biológicos de las plantas. **(Mateos Miguel. Estabilización de suelos con cloruro cálcico, 1981)**

El **pH del suelo** es importante porque los vegetales sólo pueden absorber a los minerales disueltos, y la variación del pH modifica el grado de solubilidad de los minerales. Por ejemplo, el aluminio y manganeso son más solubles en el agua edáfica a un pH bajo y al ser absorbidos por las raíces son tóxicos a ciertas concentraciones.

El rango óptimo del pH del suelo para el crecimiento de la mayor parte de los vegetales es 6.0 a 7.0 porque la mayor parte de las sustancias nutritivas de las plantas están disponibles en este intervalo. **(Pérez y Urrea. Coagulación y floculación, 2006)**

Cuadro Nº 2.4.-Clasificación de suelos según pH

RANGO DE PH	TIPO DE SUELO
< 4.62	Muy fuertemente ácido
4.7 a 5.2	Fuertemente ácido
5.3 a 5.8	Ácido
5.9 a 6.7	Débilmente ácido
6.8 a 7.2	Neutro
7.3 a 7.6	Débilmente alcalino
7.7 a 7.9	Alcalino
8 a 8.5	Fuertemente alcalino
8.6 >	Muy fuertemente alcalino

Fuente: Prácticas de Edafología, Universidad Autónoma de Chapingo

2.23.-PROCESO DE APLICACIÓN DEL QUIM KD 40

Para la aplicación de este producto se requieren los mismos equipos empleados en la construcción de toda carretera, estos son:(Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Evaluación de la aplicabilidad de estabilizadores de suelos, 2005)

- Motoniveladora
 - Camión cisterna
 - Rodillo compactador
- a) **Escarificación.** Remover la superficie a una determinada profundidad, no será menor al mínimo constructivo de 10 cm.
- b) **Humedecimiento.** Rociar con agua y Cloruro de Calcio (QUIM KD 40) en el terreno hasta llegar a la humedad y dosificación especificada.
- c) **Nivelación.** Se nivela la superficie con pasadas de motoniveladora a fin de homogenizar y mezclar el suelo.
- d) **Compactación.** A continuación se procede a la compactación con un rodillo liso vibratorio para uniformizar la superficie y formar la carpeta.

Antes de la apertura el tránsito, se debe dejar actuar al producto por 2 horas.

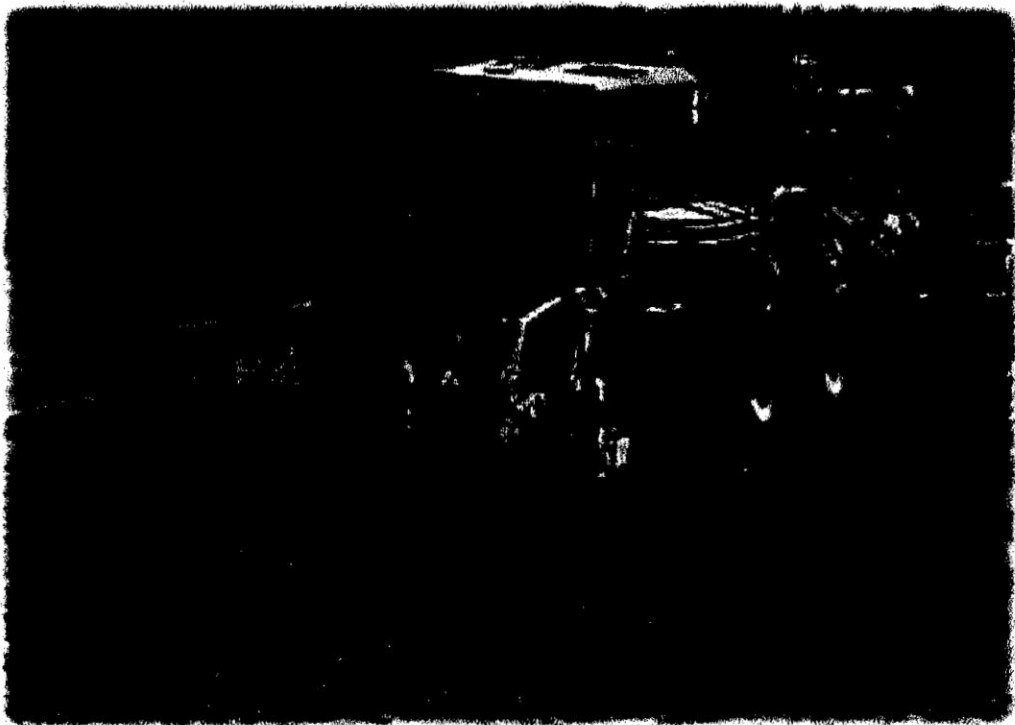


Foto N° 2.5.- Escarificado de la superficie 10 a 15cm.

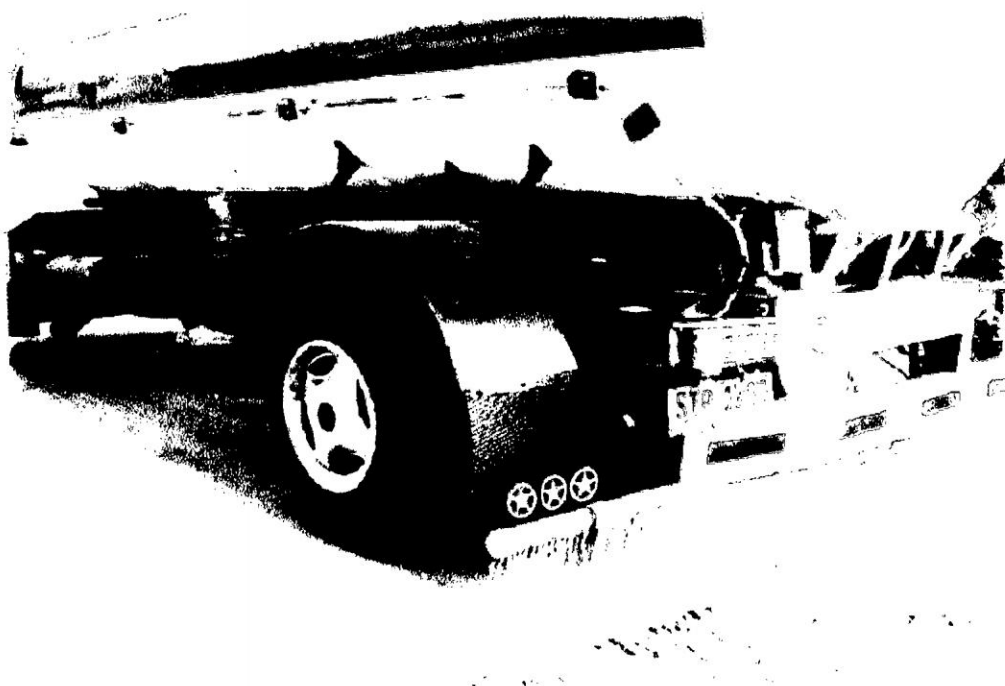


Foto N° 2.6.- Riego del producto QUIM KD 40.



Foto N° 2.7.- Nivelación de la superficie.



Foto N° 2.8.- Compactación de la capa de afirmado

CAPÍTULO III

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

3.1.-ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO

NORMA ASTM D 422 (MTC E 107-2000)

3.1.1.-OBJETIVOS:

El objetivo de éste ensayo es obtener la distribución por tamaños de partículas presentes en una muestra de suelo.

3.1.2.-APARATOS:

- Balanza con sensibilidad de 0.1g.
- Tamices de malla cuadrada según Norma ASTM (75mm; 50mm; 38.1mm; 25,4mm; 19mm; 9,5mm; 4,76mm; 2,0mm; 0,840mm; 0,425mm; 0,250mm; 0,250mm; 0,106mm y 0,075mm.
- Estufa (T=110 ±5°C)
- Bandejas, cepillos y brochas.

3.1.3.-TAMAÑO DE MUESTRA:

La cantidad de muestra depende del tipo de muestra que se va ensayar:

- Suelo de grano fino : 100 a 200 g
- Suelo arenoso : 200 a 500 g
- Suelo gravoso : 1 a 3 kg

3.1.4.-PROCEDIMIENTO DE ENSAYO:

- Seleccionar la muestra por cuarteo hasta llegar a la cantidad deseada.
- Secar la muestra en una estufa.
- Pesar la muestra después de enfriada con una balanza de precisión y registrar el peso.
- Colocar la muestra en un recipiente apropiado, cubriéndola con agua y se deja en remojo hasta que todos los terrones se ablanden.
- Lavar a continuación la muestra sobre el tamiz de 0,074 mm (Nº 200) con abundante agua, evitando frotarla contra el tamiz y teniendo cuidado de que no se pierda ninguna partícula de las retenidas en él.
- Recoger lo retenido en un recipiente, se seca en el horno a una temperatura de $110\pm 5^{\circ}\text{C}$ y se pesa.
- Tamizar en seco, moviendo los tamices de un lado a otro y recorriendo circunferencias de forma que la muestra se mantenga en movimiento sobre la malla por un tiempo de 10 minutos, hasta que no haya pasantes de la malla superior a la inferior.
- Desmontar las mallas y pesar cada fracción retenida en cada malla, en una balanza de sensibilidad de 0.1g. La suma de los pesos de todas fracciones y el peso inicial de la muestra no debe diferir en más de 1%.

3.1.5.-CÁLCULOS:

- Se calcula el % retenido en cada malla usando la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Retenido} = \frac{\text{peso retenido en tamiz}}{\text{Peso seco total}} * 100$$

3.1.6.-OBSERVACIONES:

Los resultados se presentan:

- En forma tabulada.
- En forma gráfica.

3.2.-DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE SUELOS

ASTM D 4318 (MTC E 110 – 2000)

3.2.1.-OBJETIVOS:

El contenido de agua, en porcentaje requerido para cerrar una distancia de 12.7 mm a lo largo del fondo de la ranura a los 25 golpes se define con *límite líquido*.

El valor calculado debe aproximarse al centésimo.

3.2.2.-APARATOS:

- Copa de Casagrande
- Acanalador
- Balanza de aproximación 0.01g
- Espátula, taras
- Tamiz N°40
- Pizeta para agua.
- Estufa, temperatura controlada ($T=110\pm 5^{\circ}\text{C}$)
- Recipientes para mezclado.

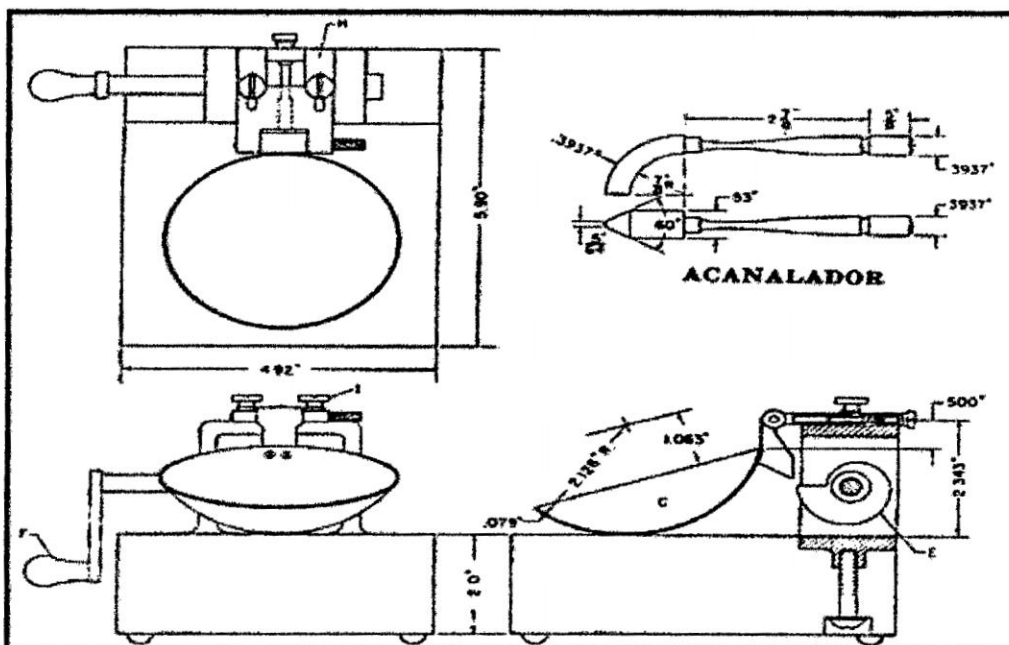


Figura N°3.1.-Copa de Casagrande.

3.2.3.- PROCEDIMIENTO:

- Se prepara la muestra de suelo entre 150 a 200g que pase el tamiz 0,425mm (Nº40).
- Colóquese la muestra de suelo en una vasija de porcelana con 15 a 20 mL de agua destilada, mezclándola y amasándola con una espátula. Realizar más adiciones de agua con incrementos de 1 a 3 mL. Mezcle completamente cada incremento de agua.
- Algunos suelos son lentos en absorber agua, por lo cual es posible que se adicione los incrementos de agua tan rápidamente que se obtenga un límite líquido falso. Esto puede evitarse mezclando más y dejando reposar la muestra por una hora aproximadamente.
- Con la ayuda de una espátula se coloca una pequeña cantidad de masa húmeda en la parte central de copa y se nivela la superficie.
- Luego se pasa el acanalador por el centro de la copa para cortar en dos la pasta de suelo.
- La ranura debe apreciarse claramente y que se separe completamente la masa del suelo en dos partes.
- Poner en movimiento la cazuela con la ayuda de la manivela y suministrar los golpes que sean necesarios para cerrar la ranura de 12.7 mm (1/2").
- Cuando se cierre la ranura en 12.7mm, registrar la cantidad de golpes y tomar una muestra de la parte central para la determinación del contenido de humedad.
- Este proceso se repite con 3 muestras para lograr 4 puntos a diferentes contenidos de humedad. Los siguientes rangos de golpes son recomendados:
 - 30 a 40 golpes
 - 25 a 30 golpes
 - 20 a 25 golpes
 - 15 a 20 golpes
- Se calcula el contenido de humedad de la muestra secando en una estufa así:

$$\% \text{ humedad} = \frac{(W_{mh} - W_{ms})}{W_{ms}} \times 100$$

Donde:

W_{mh} : Peso de muestra húmeda (g)

W_{ms} : Peso de muestra seca (g)

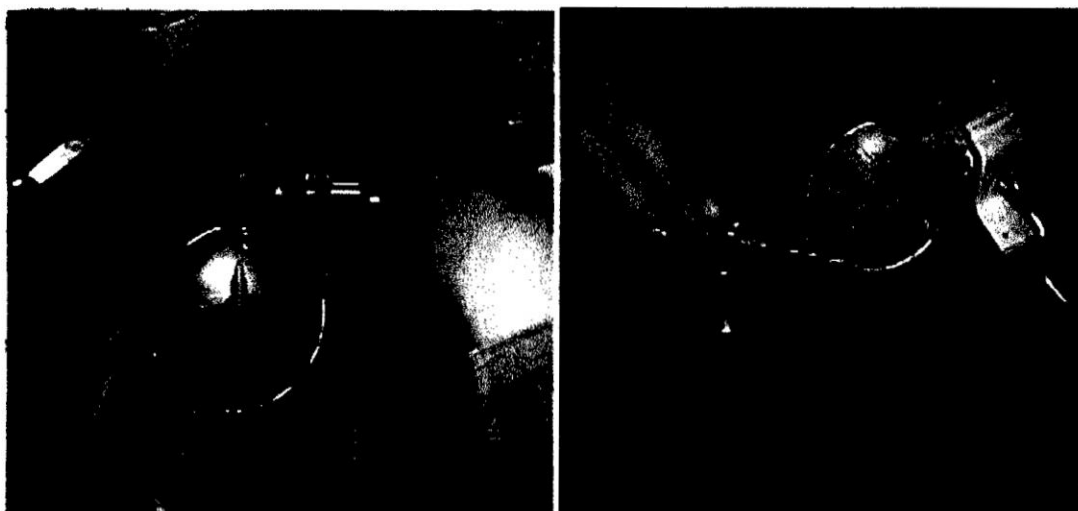


Foto N°3.1.-Ensayo de límite líquido.



Muestra de suelo antes del ensayo



Muestra de suelo después del ensayo

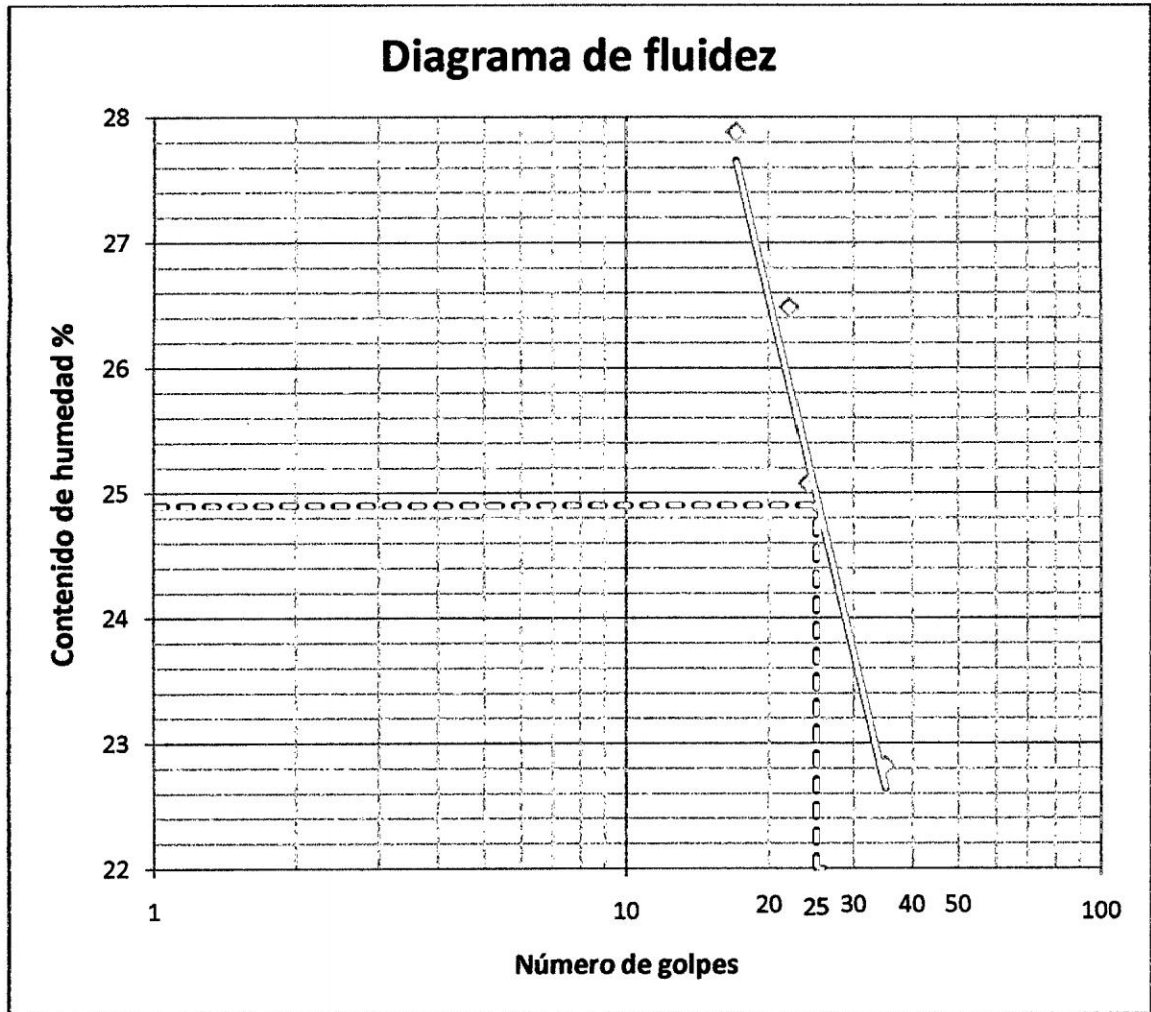
Figura N°3.2.-Cortes transversales del ensayo de límite líquido.

Cuadro N°3.1.-Relación entre el límite líquido y el grado de hinchamiento

Límite líquido	Grado de expansión
0 – 20	No hay hinchamiento
20 – 35	Bajo hinchamiento
35 – 50	Hinchamiento medio
50 – 70	Hinchamiento alto
70 – 90	Hinchamiento muy alto
90 - más	Hinchamiento extra alto

Fuente: Según Dakshanamurthy y Raman (1973)

Gráfico N° 3.1.- Curva de fluidez (límite plástico).



3.3.-DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO

ASTM D 4318 (MTC E 111 – 2000)

3.3.1.-DEFINICIÓN:

El **límite plástico** se define como el contenido de agua, en porcentaje, con el cual el suelo, al ser enrollada en rollitos de 3.2 mm (1/8") de diámetro, se desmorona. El límite plástico es el límite inferior de la etapa plástica del suelo. La prueba es simple es simple y se lleva a cabo enrollando repetidamente a mano sobre una placa de vidrio una masa de suelo de una forma elipsoidal.

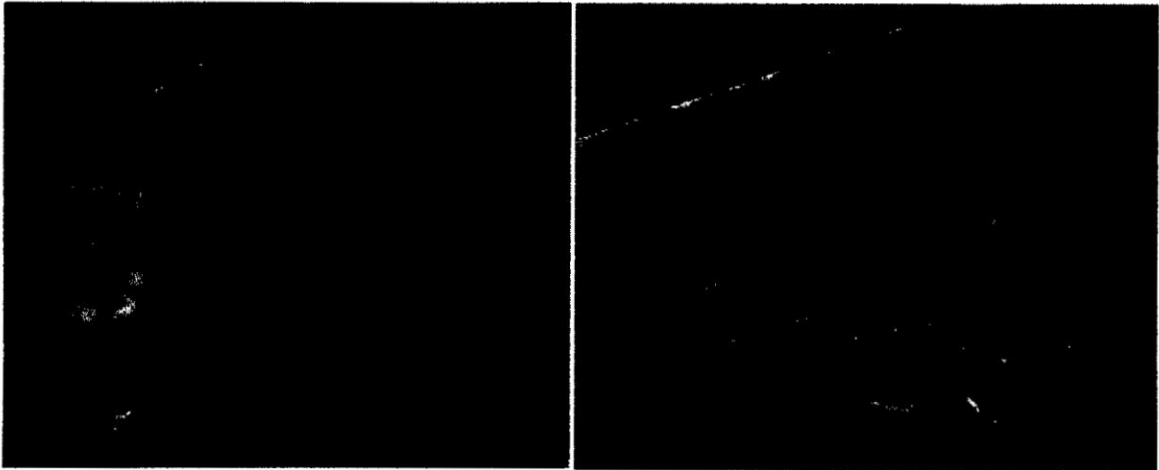


Foto N°3.2.-Ensayo de límite plástico.

3.3.2.-EQUIPOS:

- Balanza de sensibilidad de 0.01g.
- Placa de vidrio esmerilada de 30x30cm y espesor de 1cm.
- Estufa, temperatura controlada ($T=110\pm 5^{\circ}\text{C}$)
- Espátula de acero inoxidable.
- Cápsula de porcelana.
- Taras enumeradas.
- Pizeta para agua destilada.
- Malla N°40.

3.3.3.-PROCEDIMIENTO:

- Se trabaja con el material usado en el Límite Líquido (pasante malla N°40) y se toma unos 20g.
- Se moldea la muestra en forma de elipsoide y se rueda con los dedos de la mano sobre una superficie lisa, con la presión necesaria para formar cilindros.
- Si antes de llegar el cilindro a un diámetro de unos 3.2 mm (1/8") no se ha desmoronado se vuelve hacer un elipsoide y repetir el proceso, cuantas veces sea necesario hasta que se desmorone con ese diámetro aproximadamente.
- Una porción (rollito) así obtenida se coloca en un recipiente de vidrio o metal con peso conocido se pesa para determinar el contenido de humedad.

- Seguidamente se vuelve a repetir la operación tomando otra porción de suelo.
- El límite plástico es el promedio de ambas determinaciones.
- Se determinan los contenidos de humedad mediante secado en estufa y usando la siguiente ecuación:

$$\% \text{ humedad} = \frac{(W_{mh} - W_{ms})}{W_{ms}} \times 100$$

Donde:

W_{mh} : Peso de muestra húmeda (g)

W_{ms} : Peso de muestra seca (g)

Cuadro N°3.2.-Relación entre el potencial de hinchamiento y el límite plástico:

Índice plástico	Potencial de hinchamiento
0 – 15	Bajo
10 – 35	Medio
20 – 55	Alto
35 - más	Muy alto

Fuente: Según Seed, Woodward y Luddgren (1962)

3.4.-CÁLCULO DE ÍNDICE DE PLASTICIDAD (IP)

Se puede definir el Índice de plasticidad de un suelo a la diferencia entre el Límite Líquido y su Límite Plástico:

$$IP = LL - LP$$

Donde:

LL : Límite líquido.

LP : Límite plástico.

El LL y LP son números enteros.

Cuando el Límite Líquido o el Límite Plástico no se pueden determinar, el Índice de Plasticidad se informará con la abreviatura NP (no plástico).

Asimismo, cuando el Límite Plástico resulte igual o mayor que el Límite Líquido, el Índice de Plasticidad se informará con la abreviatura NP (no plástico).

3.5.-PROCTOR MODIFICADO

Norma ASTM D 1557. (MTC E 115 - 2000)

El ensayo de compactación Proctor es uno de los más importantes procedimientos de estudio y control de calidad de la compactación de un terreno. A través de él es posible determinar la compactación máxima de un terreno en relación con su grado de humedad.

El ensayo consiste en compactar una porción de suelo en un cilindro con volumen conocido, haciéndose variar la humedad para obtener el punto de compactación máxima en el cual se obtiene la humedad óptima de compactación.

La energía de compactación viene dada por la ecuación:

$$Y = \frac{n \cdot N \cdot P \cdot H}{V}$$

Donde:

Y = Energía a aplicar en la muestra de suelo;

n= Número de capas a ser compactadas en el cilindro de moldeado;

N = Número de golpes aplicados por capa;

P = Peso del pisón;

H = Altura de caída del pisón; y

V = Volumen del cilindro.

El desarrollo de rodillos pesados y su uso en la compactación en el campo, la prueba de Proctor Estándar fue modificado para representar mejor las condiciones de campo. Para llevar a cabo la prueba de Proctor modificada se usa el mismo molde, como en el caso de la Prueba de Proctor estándar, sin embargo, el suelo es compactado en cinco capas por un pisón que pesa 44,5N. La caída del pisón es de 45,72cm. El número de golpes de martillo por capa es de 25 como en el caso de la prueba de Proctor Estándar.

1.-Este ensayo abarca los procedimientos de compactación usados en laboratorio, para determinar la relación entre el contenido de agua y peso unitario seco de suelos (curva de compactación).

- 2.-Este método solo se aplica a suelos que tienen 30% ó menos en peso a sus partículas retenidas en el tamiz de 3/4" (19mm).
- 3.-Se proporciona 3 métodos alternativos. El método usado debe ser indicado en las especificaciones del material ensayado. Si el método no está especificado, la elección se basará en la gradación del material.

Cuadro N° 3.3.-Detalles de método Proctor modificado.

ASTM D 1557 Proctor Modificado

Ec = Energía de Compactación	= 56,250 Lb.ft/ft³.
W = Peso del martillo	= 10 lb
h = Altura de caída del martillo	= 18 pulgadas
N = Número de golpes por capas	= depende del molde
n = Número de capas	= 5
V = volumen del molde cm³	= depende del método de prueba

Suelo y Molde a Utilizar

Método A	Método B	Método C
Pasa la malla No. 4.	Pasa la malla 3/8"	Pasa la malla 3/4".
Molde 4 Pulg.diam.	Molde 4 pulg. Diam.	Molde 6 " pulg. diam
V = 1/30 pie ³	V = 1/30 pie ³	V = 1/13.3 pie ³
N = 25 golpes/capa	N = 25 golpes/capa	N = 56 golpes/capa

Fuente: Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, Braja M. Das (2007)

La energía de compactación por volumen unitario E_c , usada para la prueba **Proctor Modificado** es:

$$E_c = \frac{\left(\frac{N^{\circ} \text{ golpes}}{\text{por capa}} \right) \times \left(\frac{N^{\circ}}{\text{capas}} \right) \times \left(\frac{\text{Peso}}{\text{del pisón}} \right) \times \left(\frac{\text{Altura de}}{\text{caída del pisón}} \right)}{\text{Volumen de molde}}$$

$$E_c = \frac{(25) \times (5) \times (44.5N) \times (0.4572m)}{943.3 \times 10^{-6} m^3}$$

$$E_c = 2696 \text{ kN} - m/m^3$$

Debido a que se incrementa el esfuerzo de compactación, la Prueba de Proctor Modificada resulta un incremento del peso específico seco máximo del suelo. El

incremento del peso específico seco máximo es acompañado por un decremento del contenido de agua óptimo.

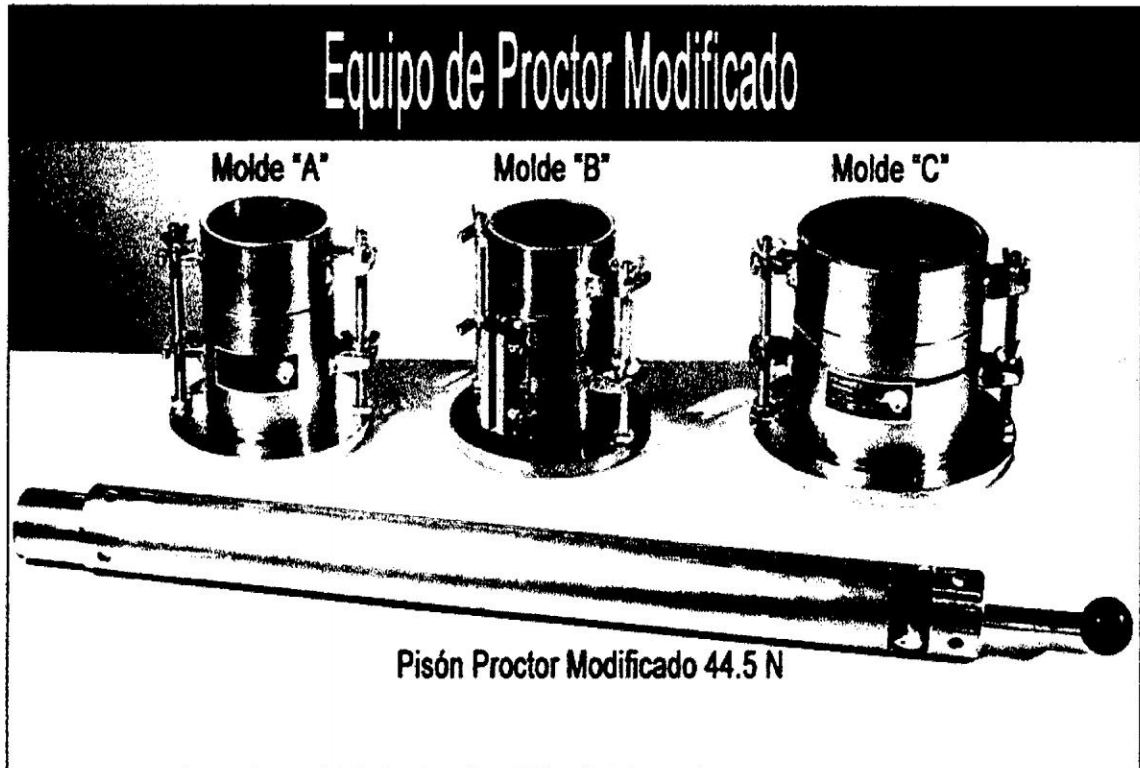


Foto N° 3.3.- Equipos de compactación Proctormodificado.

3.5.1.-IMPORTANCIA Y SU USO:

El suelo utilizado como relleno en ingeniería (terraplenes, rellenos de cimentación, bases para caminos) se compacta a un estado denso para obtener propiedades satisfactorias de ingeniería tales como: resistencia al esfuerzo de corte, compresibilidad o permeabilidad. También los suelos de cimentaciones son a menudo compactados para mejorar sus propiedades de ingeniería. Los ensayos de compactación en laboratorio proporcionan las bases para determinar el porcentaje de compactación y contenido de agua que se necesitan para obtener las propiedades de ingeniería requeridas, y para el control de la construcción para asegurar la obtención de la compactación requerida y los contenidos de agua.

3.5.2.-PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL PROCTOR MODIFICADO, MÉTODO "C"

A.-MATERIALES Y EQUIPOS:

- Molde cilíndrico de 6 pulgadas de diámetro.
- Pisón o martillo de 10 lb
- Extractor de muestras (opcional)
- Balanza
- Horno de secado (110°C)
- Regla metálica de 10 pulg
- Tamices o mallas (3/4")
- Probeta graduada de 500cm³
- Herramientas de mezcla (bandejas, taras, espátulas, cucharas, etc.)

B.-PROCEDIMIENTO

- No vuelva a usar el suelo que ha sido compactado previamente en laboratorio.
- Secar al aire libre una muestra representativa.
- Preparar 4 ó 5 muestras de 6kg (método "C") cada una.
- Agregar agua y mezclar uniformemente. Cada punto de prueba debe tener un incremento de agua constante.
- Colocar la primera capa en el molde y aplicarle 56 golpes (Método "C"). Los golpes deben aplicarse en todo el área, girando el pisón adecuadamente.
- De igual forma completar las 5 capas. La última capa debe quedar en el collarín, de tal forma que luego pueda enrasarse.
- Enrasar el molde con una regla metálica, quitando previamente el collarín.
- Retirar la base y registrar el peso suelo + molde.
- Luego de pesado, extraer el suelo y tomar una muestra para el contenido de humedad, como mínimo 500g del material granular tomada de la parte central del molde.
- Llevar las muestras a la estufa para determinar la humedad.

- Repetir el procedimiento para un mínimo de 4 puntos compactados a diferentes contenidos de humedad, dos de los cuales quedan en el lado seco de la curva y los otros dos en el lado húmedo de la curva.
- Una vez determinados los contenidos de humedad de cada muestra, hallar la densidad seca de cada punto:

$$\gamma_d = \frac{\gamma_m}{1 + \omega}$$

Donde:

γ_d : Densidad seca de la muestra (kg/m^3) = Peso de suelo húmedo/volumen

γ_m : Densidad húmeda de la muestra (kg/m^3)

ω : Contenido de humedad.



Foto N°3.4.-Tamizado de muestra con malla 3/4"

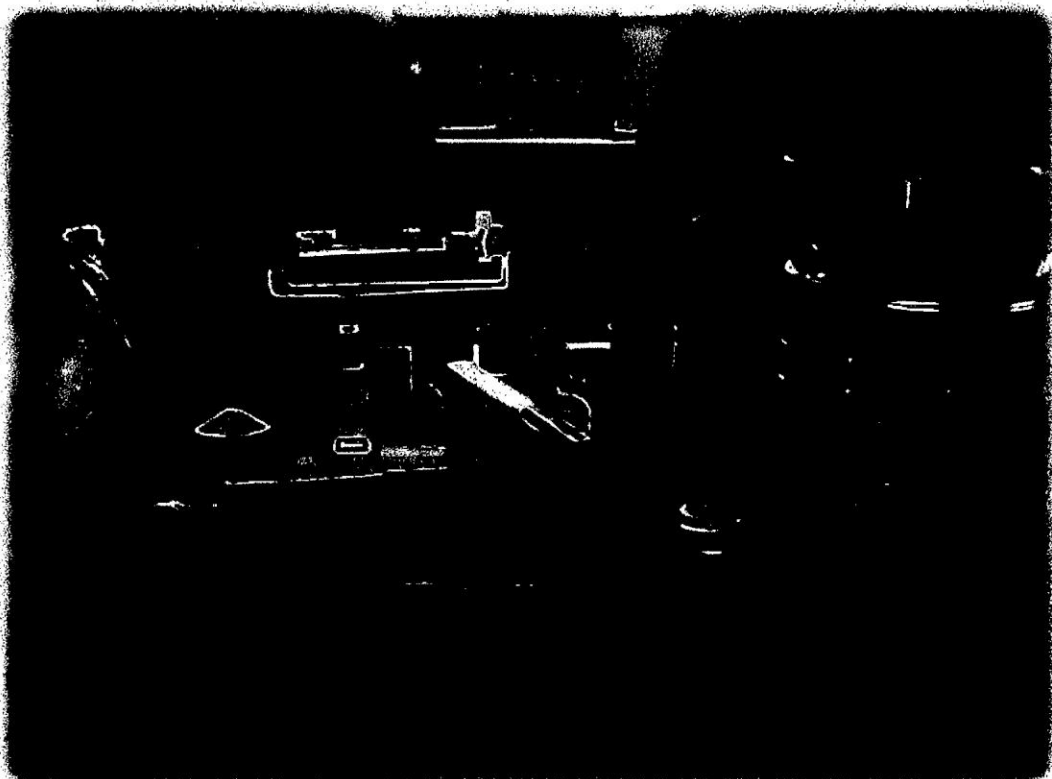


Foto N°3.5.-Se pesa la muestra para cada punto unos 5 a 6 kg.



Foto N°3.6.-Se adiciona agua de manera creciente para cada punto de prueba.

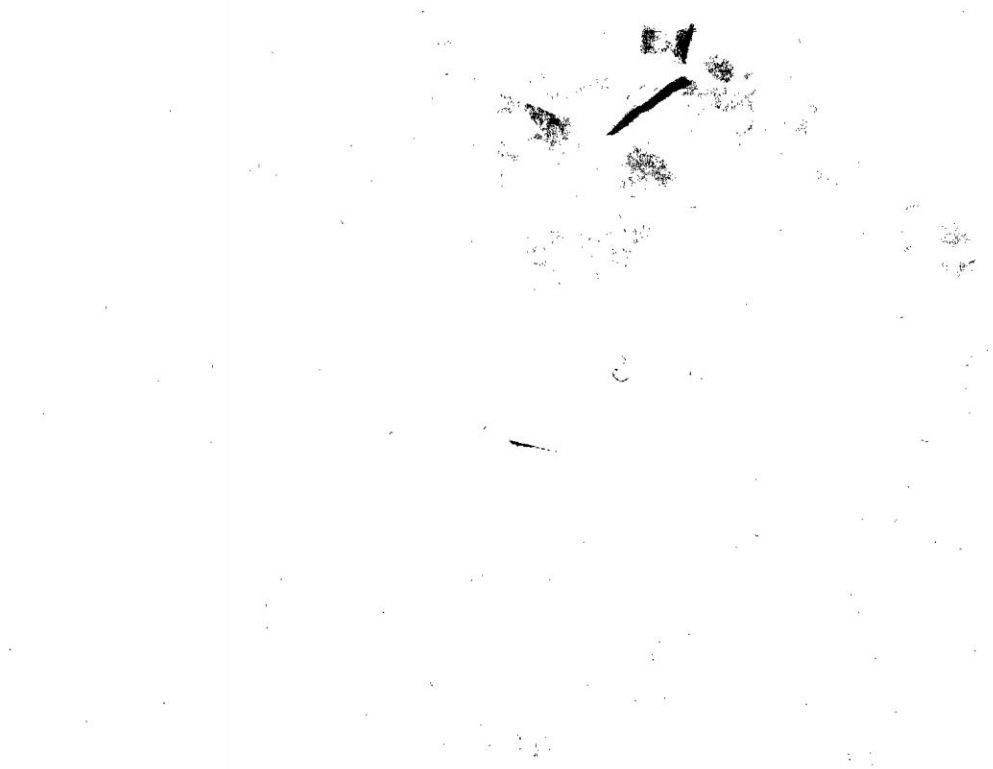


Foto N° 3.7.-Se homogeniza la humedad removiendo el suelo.



Foto N° 3.8.-Se coloca la primera capa y se da 56 golpes.

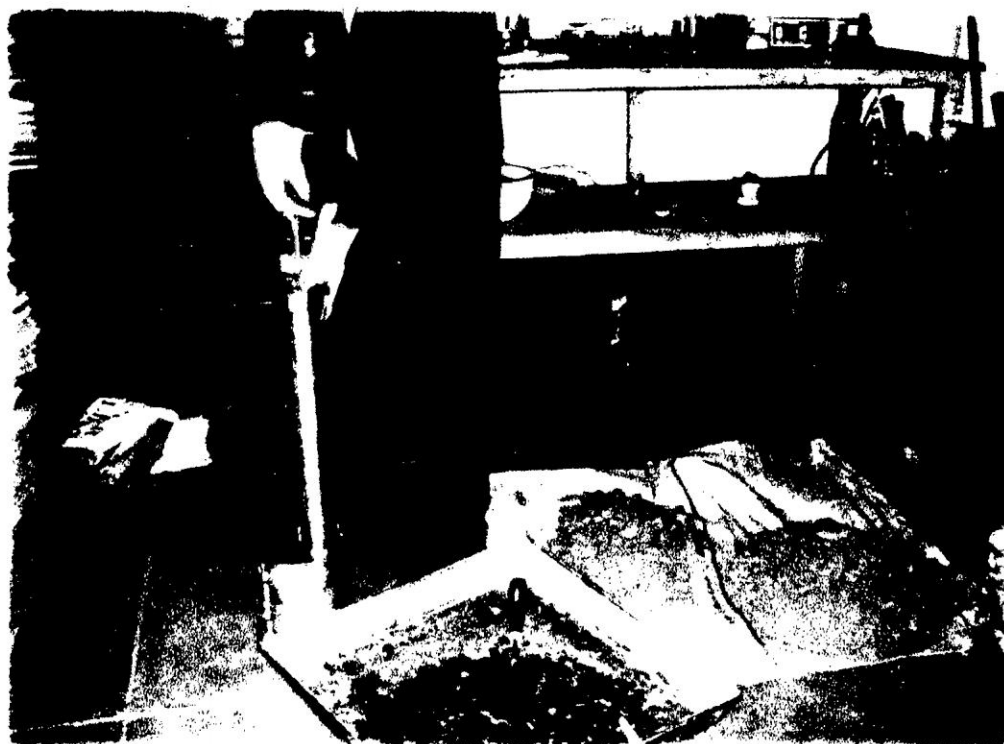


Foto N° 3.9.-Completar las 5 capas, la última llegando hasta el collarín.



Foto N° 3.10.-Desaflojar y sacar el collarín.

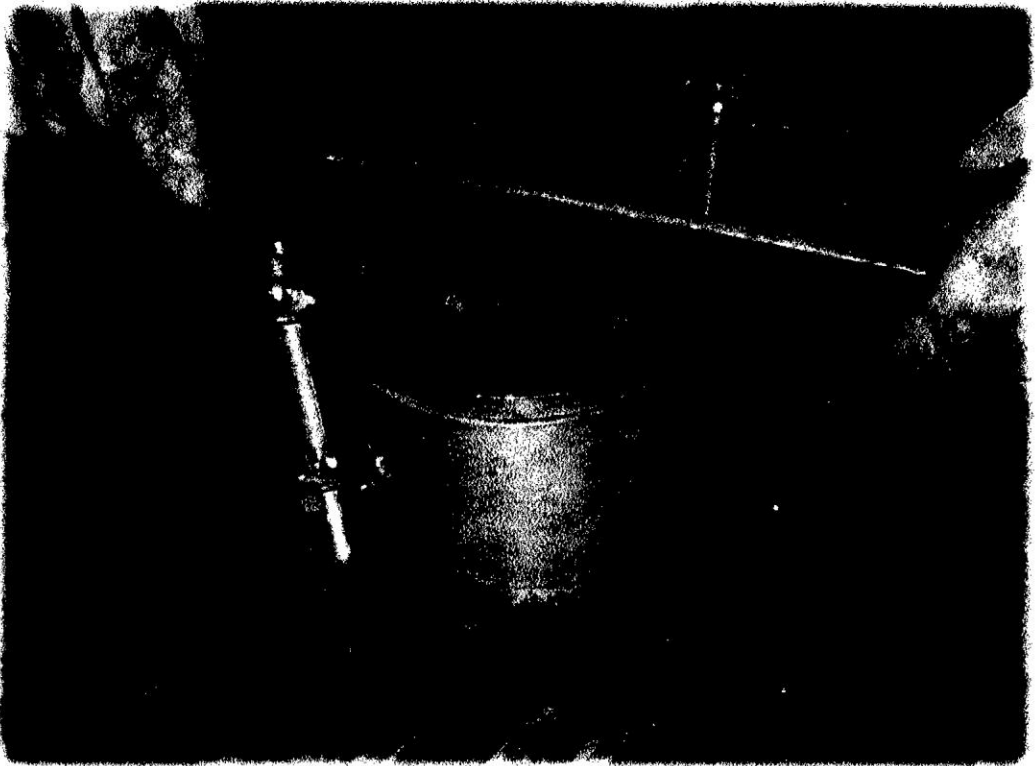


Foto N° 3.11.-Enrasar la muestra a la altura del molde.



Foto N° 3.12.-Pesar el suelo húmedo + molde.



Foto N°3.13.-Extraer el suelo del molde, tomar 2 muestras para contenido de humedad.



Foto N° 3.14.-La muestra húmeda extraída colocar en recipientes con tapa y pesar.



Foto N° 3.15.-La muestra pesada colocar en el horno para secado.



Foto N°3.16.-Se pesa la muestra ya seca y se realizan los cálculos.

3.6.-C.B.R. (CALIFORNIA BEARING RATIO)

Norma ASTM D 1883. (MTC E 132 - 2000)

Describe el procedimiento de ensayo para la determinación de un índice de resistencia de los suelos denominado valor de la relación de soporte, que es muy conocido, como CBR (California Bearing Ratio). EL ensayo se realiza normalmente sobre suelo preparado en el laboratorio en condiciones determinadas de humedad y densidad.

Este índice se utiliza para evaluar la capacidad de soporte de los suelos de subrasante y de capas de bases, sub-base y de afirmado.

Este modo operativo hace referencia a los ensayos para determinación de las relaciones de peso unitario – humedad, usando un equipo modificado.

3.6.1.-DEFINICIÓN:

Este ensayo fue desarrollado por la División de Carreteras de California en 1929. Se emplea para el diseño de pavimentos y para evaluar la resistencia al corte de materiales que conforman las capas de un pavimento.

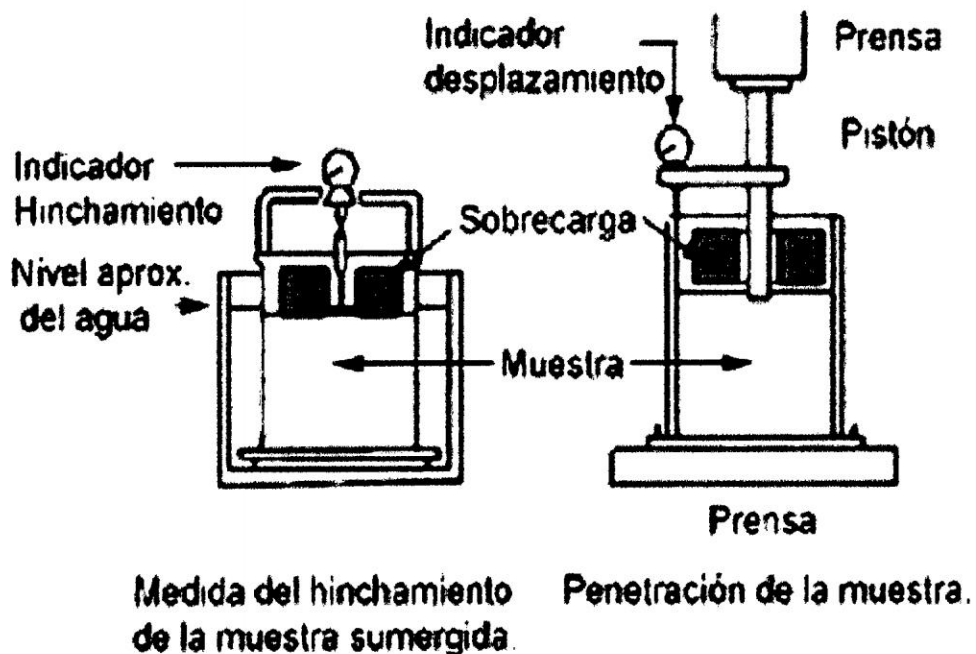


Figura Nº 3.3.- Ensayo Proctor

El CBR está definido como el esfuerzo requerido para que un pistón normalizado penetre en un suelo a profundidad determinada, comparado con el esfuerzo requerido para que el pistón penetre hasta esa misma profundidad en una muestra patrón consistente en piedra chancada.

$$CBR = \frac{(Carga\ unitaria\ del\ ensayo)}{(Carga\ unitaria\ patrón)} \times 100$$

Se llama valor de la relación de soporte (índice resistente CBR), al tanto por ciento de la presión ejercida por el pistón sobre el suelo, para una penetración determinada, en relación con la presión correspondiente a la misma penetración en una muestra patrón. Las características de la muestra patrón son las siguientes:

Cuadro N° 3.4.- Penetración en muestra patrón

PENETRACIÓN	PRESIÓN
pulg	lb/pulg ²
0.1"	1000
0.2"	2000

Fuente.- Manual de Ensayo de Materiales - MTC

Para la Compactación:

- Molde metálico de diámetro = 6" (152.4mm), altura de 7" a 8" y un collarín de 2".
- Disco espaciador de acero diámetro 5 ^{15/16}" (150.8mm) y altura 2.5" (falso fondo)
- Pisón Peso 10 lb y altura de caída 18".
- Trípode y extensómetro con aprox. 0.001".
- Pesas de plomo anular de 5 lb (2.27kg) c/u (2 pesas) de 5 ^{15/16}" de diámetro.

Para la prueba de penetración:

- Pistón sección circular área= 3 pulg² (19.35cm²) o de diámetro 1.954" (49.63mm).
- Aparato para aplicar la carga: Prensa hidráulica con anillo de carga. V = 0.05 pulg/min.
- Equipo misceláneo: Balanza, horno, tamices, papel filtro, tanques para inmersión de muestra a saturar, cronómetro, extensómetros, etc.

Equipo para prueba CBR

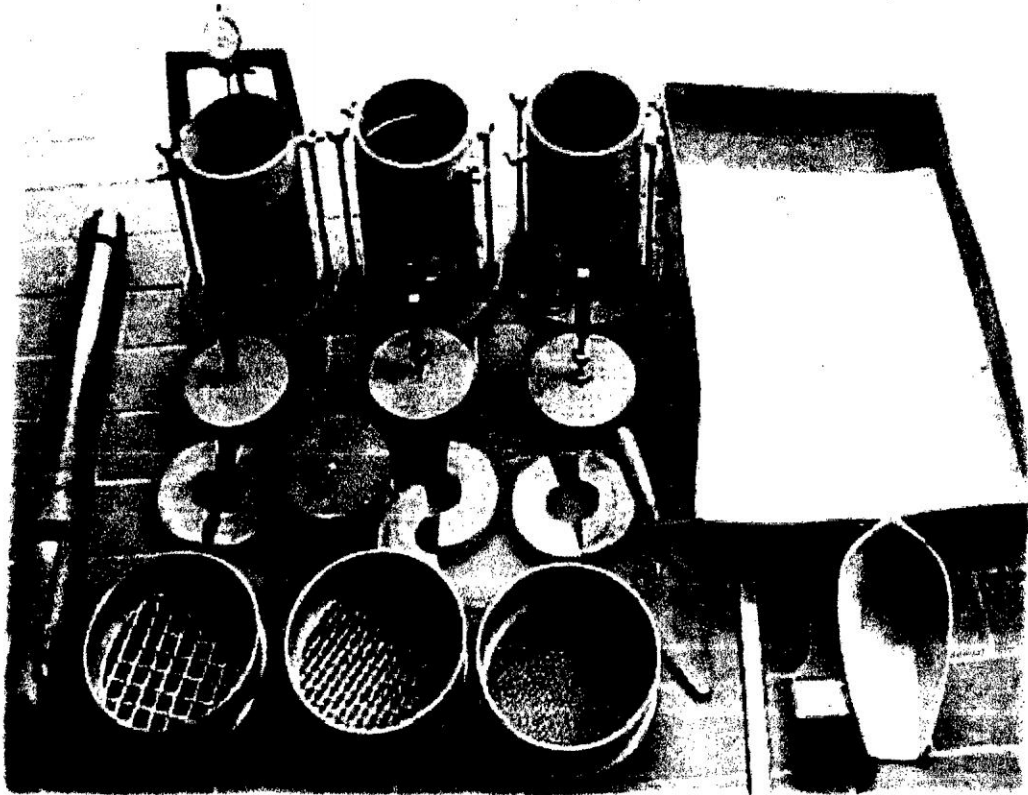


Foto N°3.17.-Materiales y equipos para prueba C.B.R.

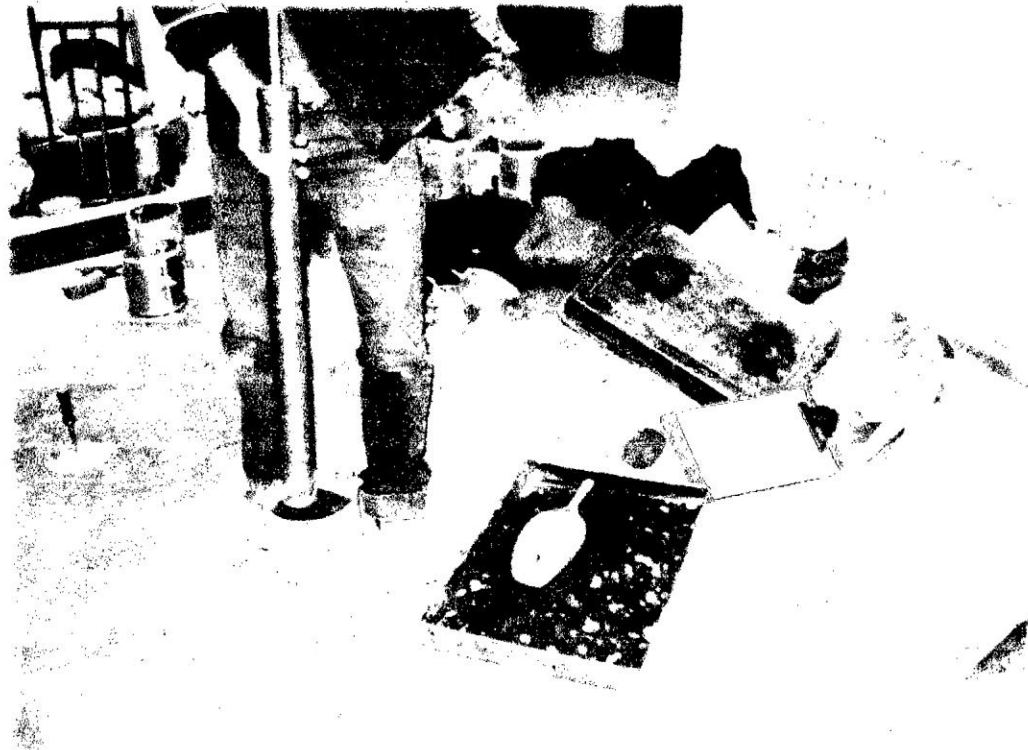


Foto N°3.18.-La muestra humedecida y con CaCl₂ se compacta en 5 capas.



Foto N°3.19.-A las muestras compactadas se aplica carga y les alista para sumergido.



Foto N°3.20.-Sumergido de muestras por 4 días.

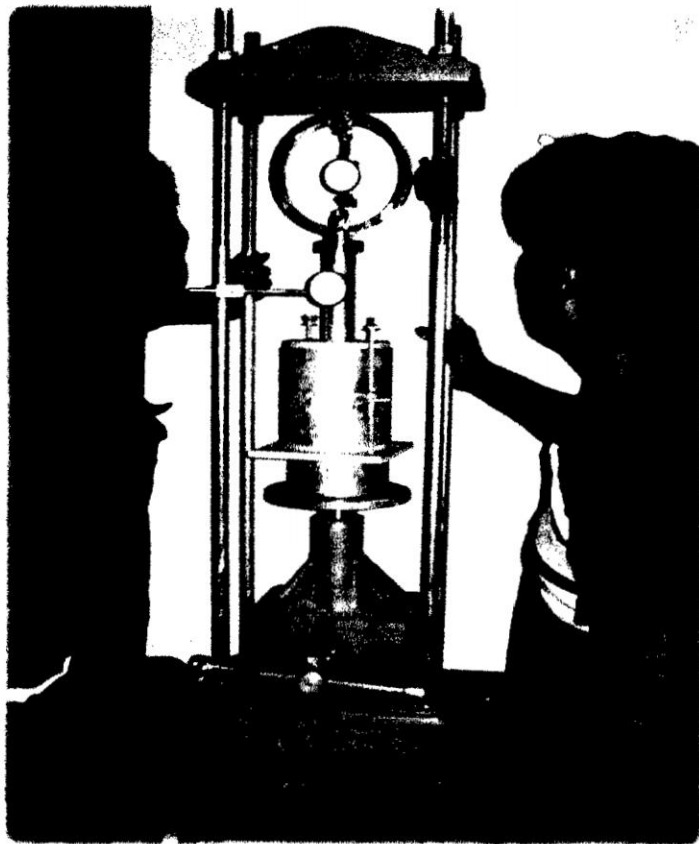


Foto N°3.21.-Luego de sumergido de aplica carga con el equipo C.B.R.

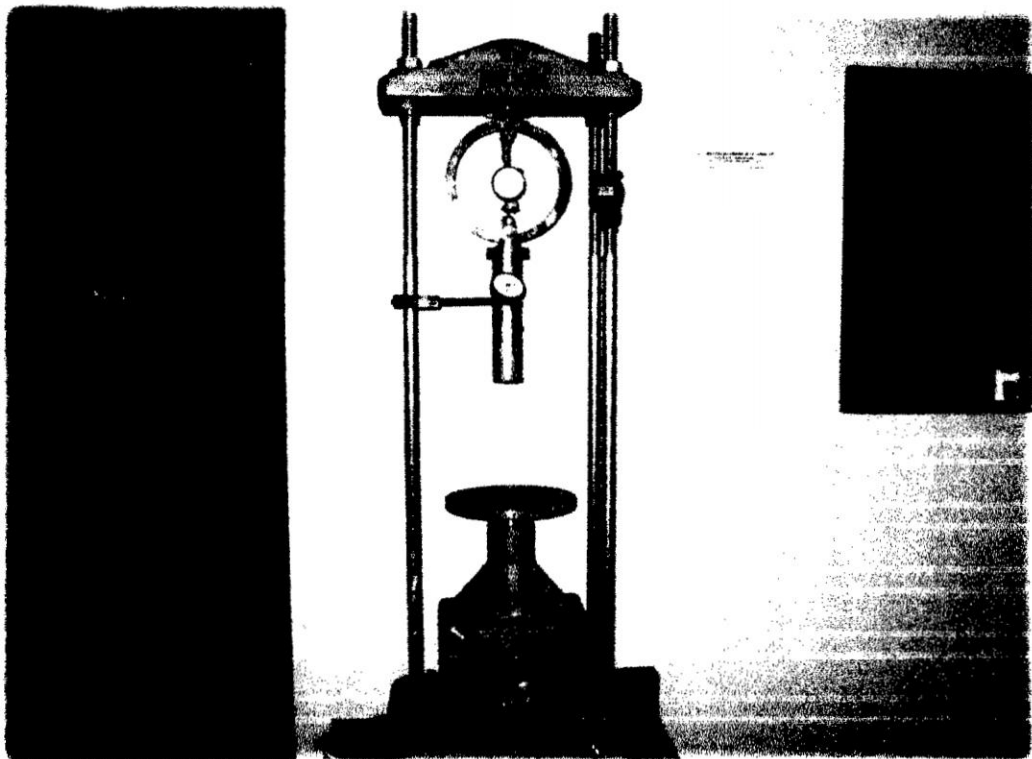


Foto N°3.22.-Se muestra al equipo C.B.R.

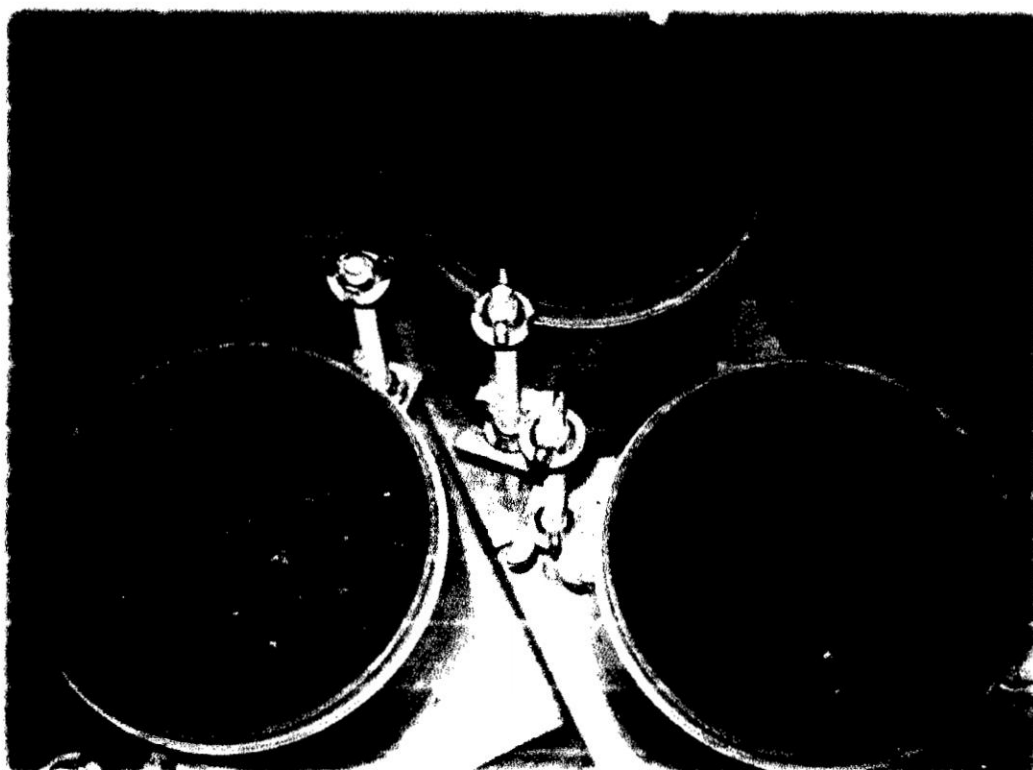


Foto N°3.23.-Muestras luego de ser sometidas a carga (penetración).

3.6.2.-PROCEDIMIENTO:

- Se prepara la muestra necesaria. Previamente se debe haber efectuado el ensayo proctor estándar o modificado.
- Se calcula una cantidad suficiente para moldear tres muestras, unos 5 a 6 kg por molde (se usará 3 moldes).
- Se pesan los moldes (sin base, ni collar).
- Se coloca el molde con su base, collarín y el disco espaciador (como falso fondo), y sobre éste un disco de papel filtro grueso del mismo diámetro.
- Una vez preparado los moldes se compactan los especímenes en su interior. Los moldes se compactan con el óptimo contenido de humedad obtenido con el ensayo proctor modificado.
- Se compacta cada molde a diferente energía de compactación.
- La energía de compactación se controla con el N° de golpes y serán de 56, 25 y 10 golpes por capa respectivamente (cada una en 5 capas).

- Luego de compactado, se retira el collarín, se enrasa y se retira de la placa de base.
- Se pesa el molde y el espécimen en una balanza de precisión.
- Se gira el molde de modo que la parte superior quede abajo, se retira el disco espaciador y quedo un espacio libre sobre la cual se coloca otro papel filtro y se montará un plato con vástago graduable. Luego sobre el plato se colocarán 2 pesas de plomo (anular y ranurada), que tengan en total una masa de 4.54kg.
- Se fija de nuevo a la placa de base. Luego la muestra está preparada para la etapa de saturación, para el cual se monta un trípode con un extensómetro y se registra la lectura inicial.
- Se sumerge el molde en un recipiente con agua y se deja saturar durante 4 días (96 h)
- Después de cuatro días, se saca el molde, se deja drenar durante 15 minutos en posición normal, aproximadamente. todos los días y tomar nota la lectura de la expansión.

$$\%Expansión = \left(\frac{\text{Cambio de longitud durante remojo}}{127 \text{ mm}} \right) \times 100$$

Valores recomendables para:

-Sub-bases deben tener expansiones menores a 2%.

-Bases deben tener expansiones menores a 1%.

Además a mayor expansión el CBR será menor y viceversa.

- Se quitan las pesas (sobrecargas), la placa perforada y el papel filtro. Se pesa nuevamente.
- Se colocan nuevamente las pesas de sobrecarga y se prepara para la etapa de penetración.
- Se coloca el molde sobre el soporte de carga de la prensa y se ajusta de manera que el pistón quede centrado con la muestra.
- Se coloca en cero el indicador de presión del anillo de carga y el dial de deformación.

- Se aplica la carga por medio de un gato hidráulico de la prensa del CBR a una velocidad de penetración del pistón en el suelo es de 0,05 pulg/min, aplicadas a 0,025"; 0,050"; 0,075"; 0,100"; 0,300"; 0,400" y 0,500" de penetración del pistón. Según el cuadro:

Cuadro Nº 3.5.- Penetración controlada con el tiempo

Tiempo (min y seg)	Penetración (pulgadas)
00'30"	0.025
01'00"	0.050
01'30"	0.075
02'00"	0.100
06'00"	0.300
08'00"	0.400
10'00"	0.500

Fuente.- Manual de Ensayo de Materiales – MTC

- La velocidad se controla por tiempo con un cronómetro.
- Luego de terminada la prueba, se retira las sobrecargas, se recupera el suelo ensayado y se toma muestra para determinar la humedad final.
- Se traza una curva de deformaciones (resistencia a la penetración vs. Profundidad de penetración).

El CBR se calcula para 0,1 y 0,2 pulgadas de penetración con las presiones correspondientes. Para lo que se da ejemplos de un ensayo.

Gráfico N° 3.2.- Esfuerzo vs. Penetración

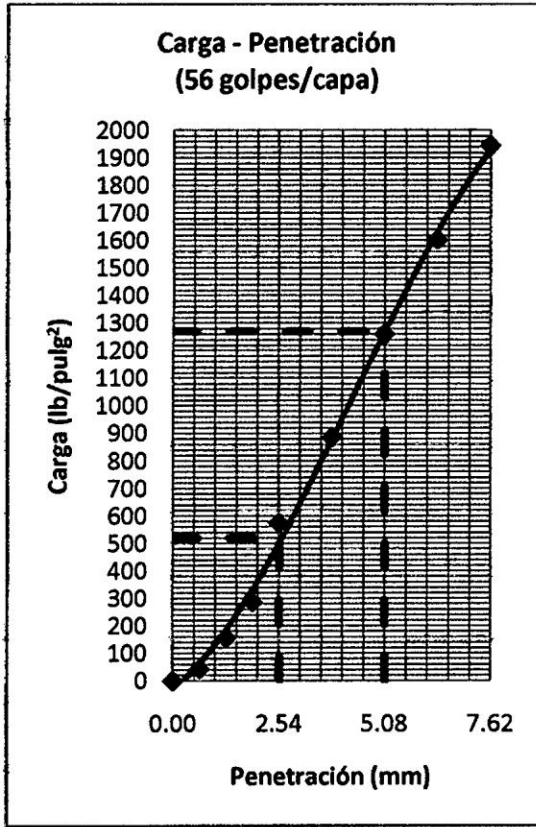


Gráfico N° 3.3.- Esfuerzo vs. Penetración

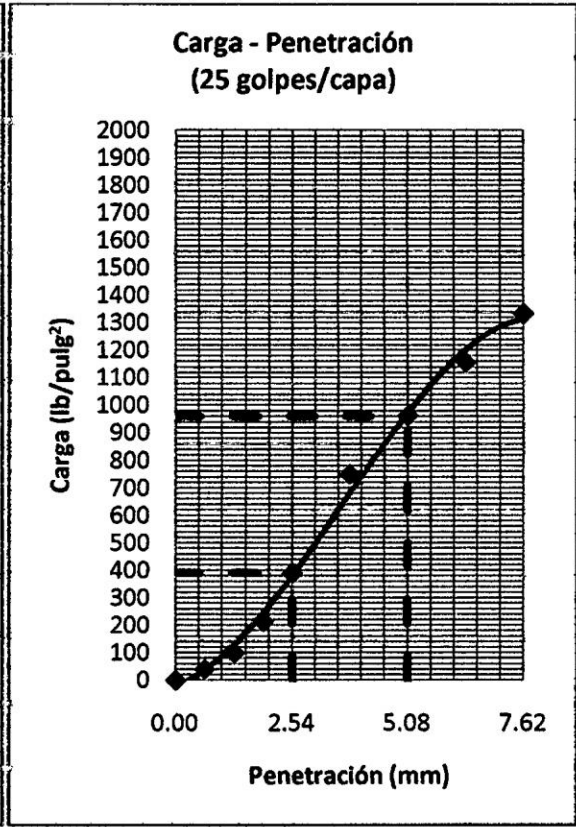
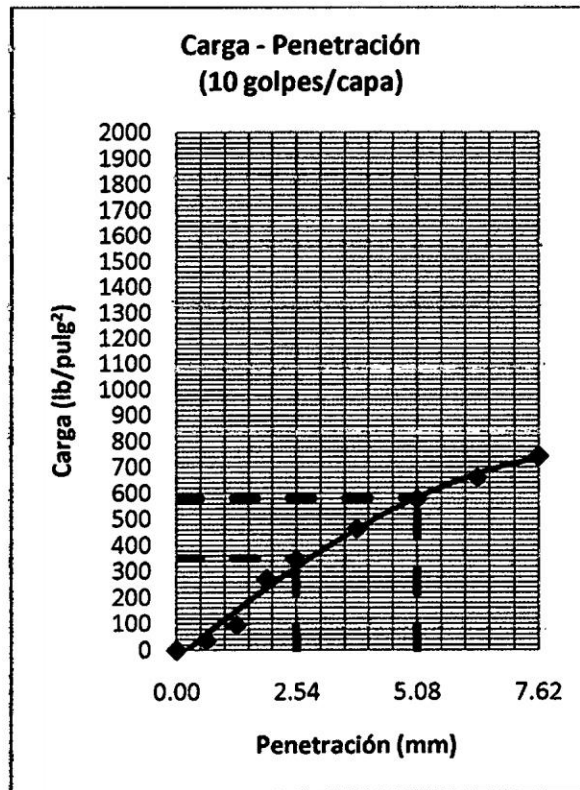


Gráfico N° 3.4.- Esfuerzo vs. Penetración



3.7.-ENSAYO DE ABRASIÓN POR MEDIO DE LA MÁQUINA LOS ÁNGELES ASTM C 131 (MTC E 207-2000)

Los agregados deben ser capaces de resistir al desgaste y degradación durante la producción, colocación y compactación en obras viales, y sobre todo, durante la vida de servicio del pavimento.

El ensayo mide la degradación de los agregados que resultan de la combinación de varias acciones como abrasión, impacto y fricción de las esferas dentro de la máquina Los Ángeles. El número de esferas varía según la gradación del material a ser ensayado.

Este método describe el procedimiento para determinar el porcentaje de desgaste de los agregados de tamaños menores a 37.5 mm (1 ½") y agregados gruesos de tamaños mayores de 19 mm (¾"), por medio de la máquina los Ángeles.

3.7.1.-EQUIPOS:

- Máquina de desgaste Los Ángeles.
- Tamices: 3", 2 ½", 2", 1 ½", 1", ¾", ½", ¼", Nº4, Nº8 y (Nº12 para desgaste).
- Esferas de acero, de diámetro entre 46.38 y 47.63 mm y un peso comprendido entre 390 y 445 g. La carga abrasiva (esferas de acero) dependerá de la granulometría del ensayo, A, B, C o D.
- Balanza de aproximación de 1g.
- Estufa, temperatura uniforme de 110±5°C.

3.7.2.-PREPARACIÓN DE LA MUESTRA:

La muestra consistirá en agregado limpio por lavado y secado en horno a una temperatura constante comprendida entre 105 y 110°C, la granulometría o granulometrías elegidas serán representativas tal y como va a ser utilizado en obra. En la cuadro Nº 3.6, se muestra la cantidad de material a emplear, número de esferas, número de revoluciones y tiempo de rotación para cada uno de ellos. La muestra antes de ser ensayada deberá ser pesada con una aproximación de 1g.

Cuadro N°3.6.-Peso de agregado y número de esferas, para agregados gruesos hasta 1 ½" (ASTM C-131)

METODO		A	B	C	D
DIÁMETRO		CANTIDAD DE MATERIAL A EMPLEAR (gr)			
Pasa el tamiz	Retenido en tamiz				
1 ½"	1"	1 250±25			
1"	¾"	1 250±25			
¾"	½"	1 250±10	2 500±10		
½"	3/8"	1 250±10	2 500±10		
3/8"	¼"			2 500±10	
¼"	N°4			2 500±10	
N°4	N°8				5 000±10
PESO TOTAL		5 000±10	5 000±10	5 000±10	5 000±10
N° de esferas		12	11	8	6
N° de revoluciones		500	500	500	500
Tiempo de rotación (minutos)		15	15	15	15

Fuente.- Manual de Ensayo de Materiales - MTC

3.7.3.-PROCEDIMIENTO:

- Para realizar este ensayo necesitamos 5 kg de muestra con granulometrías conocida, lavada y seca.
- Una vez que tenemos la cantidad de muestra adecuada, se colocan en la máquina la muestra y las esferas, seguidamente se hace girar el cilindro a una velocidad de 30 a 33 RPM hasta llegar a 500 vueltas (16 minutos aproximadamente).
- Una vez cumplidas el número de vueltas prescrito, se descarga el material del cilindro y se procede a la separación de la muestra ensayada, con un tamiz N°12 (1.70mm), el material retenido en el tamiz N°12 se lava sobre este tamiz y se deja secar a una temperatura de 110±5°C y se vuelve a pesar. El material pasante la malla N°12 es el desgaste.

3.7.4.-CÁLCULOS:

El resultado del ensayo es la diferencia entre el peso original y el peso final de la muestra, expresado en porcentaje del peso original. El desgaste se calcula así:

$$\% \text{ desgaste} = \frac{(\text{Peso inicial} - \text{Peso final})}{\text{Peso inicial}} \times 100$$

Las muestras iniciales y finales son lavados y secos.

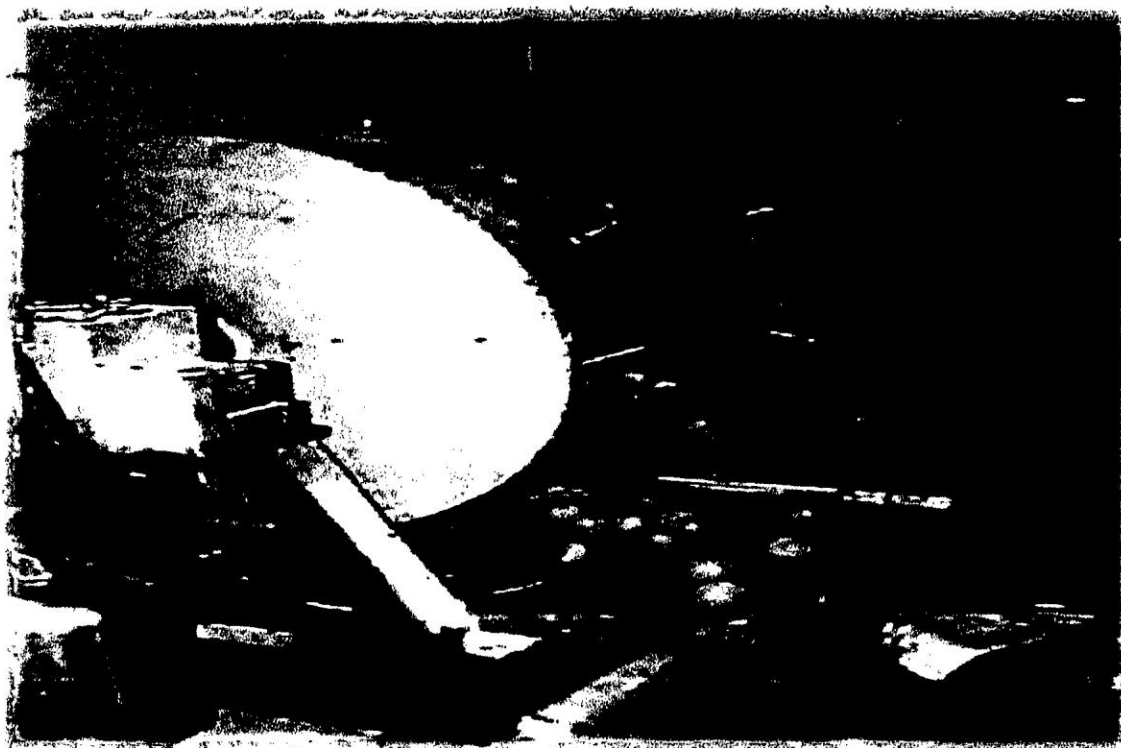


Foto N°3.24.-Máquina Los Ángeles.

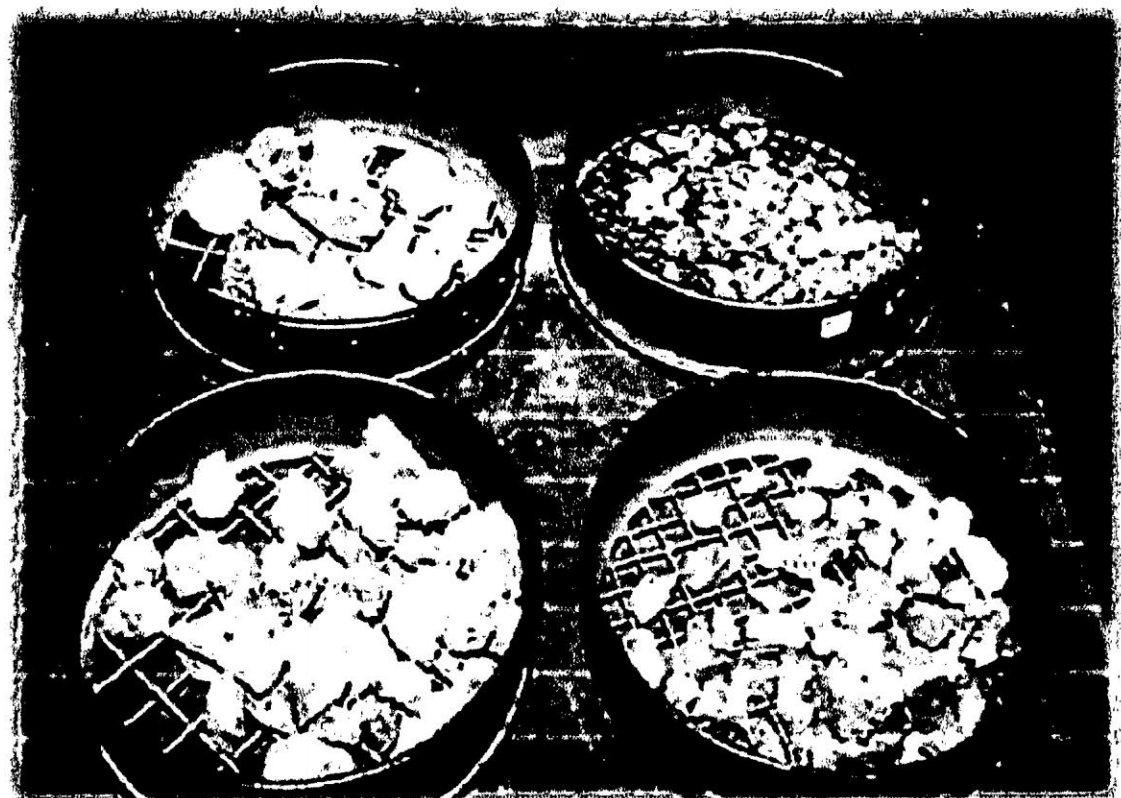


Foto N°3.25.-Pesar los materiales retenidos en las cantidades del método al que corresponden.



Foto N°3.26.-Se introduce la muestra en la máquina Los Ángeles.



Foto N°3.27.-Se introducen las esferas de acero en la máquina Los Ángeles.

3.8.-MEDICIÓN DEL pH DE SUELOS

ASTM D 4972 (MTC E 129-2000)

El pH del suelo generalmente considerado adecuado en la agricultura si se encuentra entre 6 y 7. En algunos suelos, incluso con un pH natural de 8, pueden obtenerse buenos rendimientos agropecuarios. Los pH altos son indicadores de la presencia de sales solubles.

El pH del suelo es importante porque los vegetales sólo pueden absorber a los minerales disueltos, y la variación del pH modifica el grado de solubilidad de los minerales. En el caso del Ca^{2+} el pH que favorece la absorción de nutrientes de éste catión se da entre 7 a 8.5.

En un suelo con pH ácido, los iones H^+ reemplazan a los cationes Ca^{2+} , Mg^{2+} y K^+ , los cuales son posteriormente lavados del suelo, disminuyendo la riqueza de nutrientes disponibles.

En un suelo con pH neutro o básico los iones de Ca, Na y K reemplazan a los de H.

Es importante para este estudio que el pH no sea ácido, de esta manera evitar que el Ca^{2+} sea lavado.

3.8.1.-OBJETIVO:

Determinar el pH (potencial de hidrógeno) del suelo.

3.8.2.-EQUIPOS:

- Medidor multiparámetro HANNA modelo HI 9828.
- Balanza de precisión 0.1g.
- Vaso de precipitados de 200mL.
- Pizeta.
- Luna de reloj.

3.8.3.-PROCEDIMIENTO:

- Pesar una muestra de suelo de 10g, preferentemente recién extraída.
- Colocar el suelo en el vaso de precipitados y agregar 20mL de agua destilada.
- Agitar durante un minuto.
- Con la sonda colocada dentro de la solución, dejando unos minutos hasta que se establezca el equilibrio y proceder a tomar la lectura.
- Después de unos minutos repítase la medición, los valores obtenidos no deberán diferir en más de 0.2 unidades de pH entre ellos.



Foto N° 3.28.-Medición del pH, conductividad y salinidad del suelo con multiparámetro HANNA modelo HI 9828

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.-DETALLES DE LA MUESTRA Y EL TRAMO DE CARRETERA

Las muestras y la ubicación del proyecto de indican en la figura N° 4.1

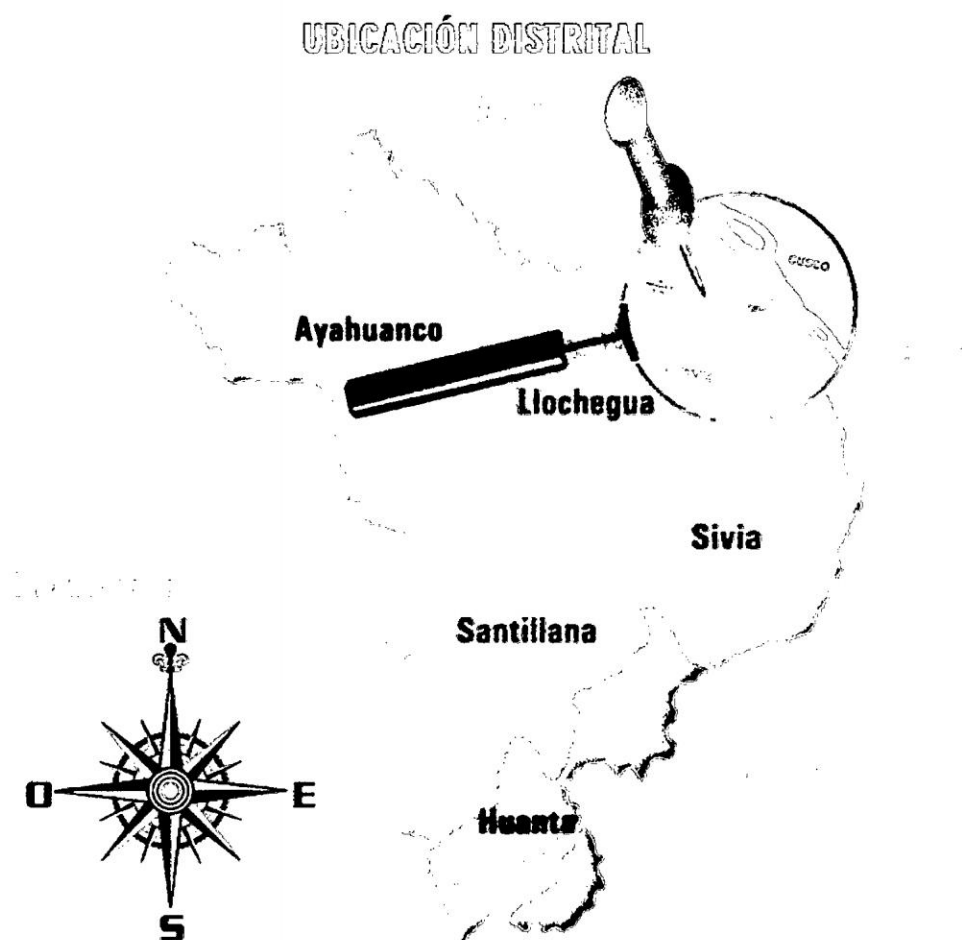


Figura N° 4.1.- Ubicación de la carretera Llochegua – Periavente Alta

Para esta investigación, se han tomado 2 muestras, de 2 canteras ubicadas en el mismo tramo de la carretera en mención, los mismos que se están empleando actualmente para su rehabilitación (5,75 km) y mantenimiento de esta vía, cuyas características y ubicación son los siguientes:

Suelos 1:

- Material : Granular de afirmado
- Cantidad : 350 kg
- Progresiva : 1+100

Suelo 2

- Material : Granular de afirmado
- Cantidad : 350 kg
- Progresiva : 3+500

La longitud de la carretera a estudiarse es de 5.75 km, iniciándose en el Distrito de Llochegua y terminando en el Centro Poblado de Periavente Alta. La sección de la vía es de 4.50m y cuenta con un afirmado de 10 cm de espesor y cunetas laterales.

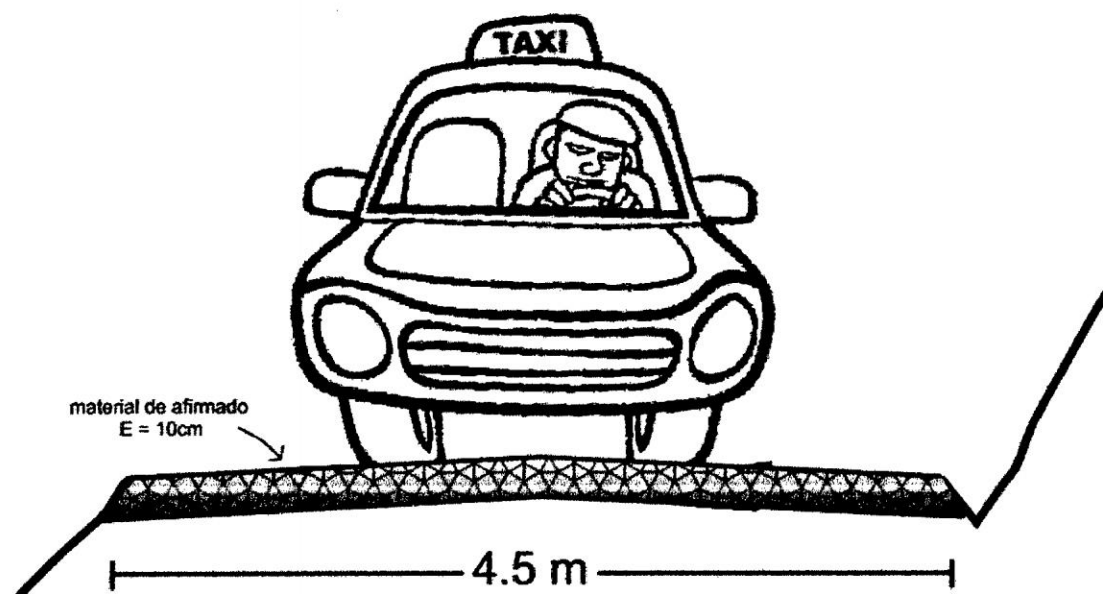


Figura N° 4.2.-Sección de la carretera Llochegua – Periavente Alta

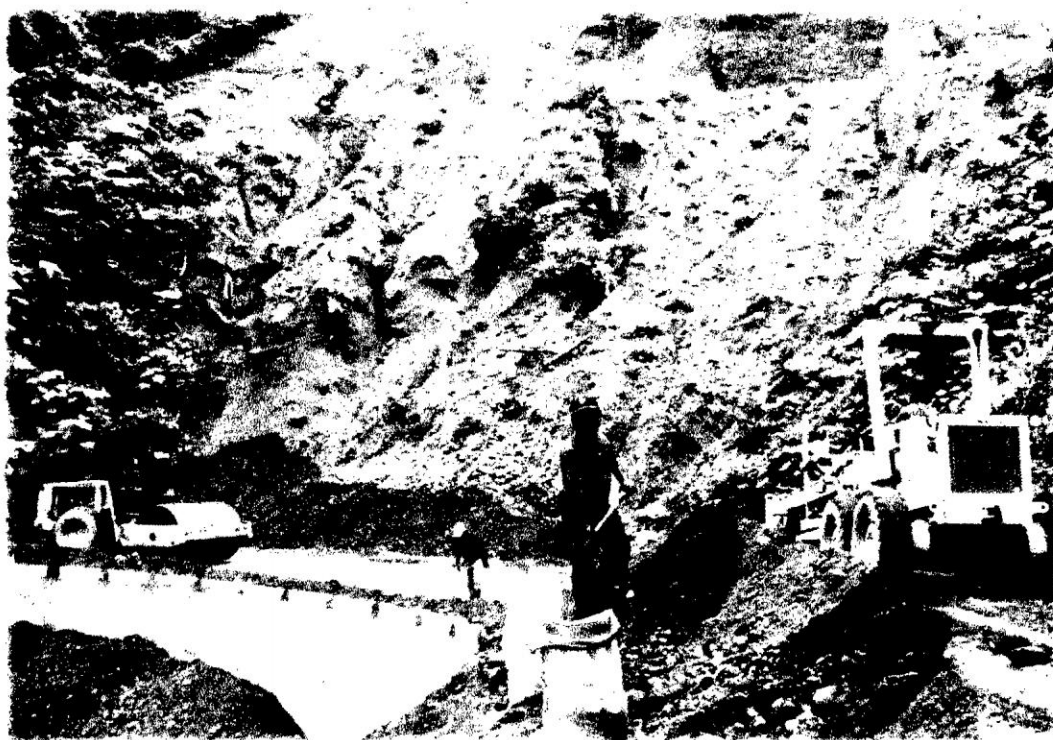


Foto Nº 4.1.-Toma de muestras de material de afirmado.



Foto Nº 4.2.-Secado de muestras de material de afirmado.



Foto N° 4.3.-Mezcla de hormigón con material natural.



Foto N° 4.4.-Carretera recién terminada en el poblado de Periavente Alta.



Foto N° 4.5.-Dificultades para en tránsito cerca al poblado de Periavente Alta.



Foto N° 4.6.-Carretera recién rehabilitada ya presenta ahuellamientos.



Foto N° 4.7.-Carretera recién rehabilitada ya presenta ahuellamientos.

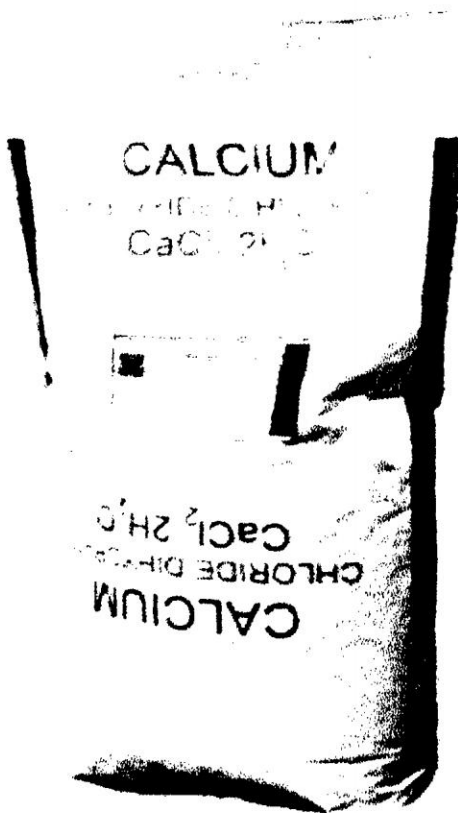


Foto N°4.8.-Cloruro de calcio en bolsa de 25kg.

Se han ensayado los materiales de las canteras 1 y 2, tanto como suelo natural y con adición de porcentajes variados de **cloruro de calcio di hidratado ($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)** proveído por LOGISTICA QUIMICA. Este producto es un sólido en cristales de color blanco, con **pureza del 97 al 103%**, con presentación de bolsas de 25 kg.

Se ha observado que al mezclar con agua produce una reacción exotérmica, atrae agua del medio ambiente y es ligeramente corrosiva.

4.2.-RESULTADOS DE LABORATORIO ENSAYO DE GRANULOMETRÍA

Cuadro N°4.1.- Análisis granulométrico suelo N°01

TESIS EVALUACIÓN DEL EMPLEO DE CLORURO DE CALCIO EN LA ESTABILIZACIÓN DE CARRETERAS NO PAVIMENTADAS, EN EL TRAMO LLOCHEGUA - PERIAVENTE ALTA, DISTRITO LLOCHEGUA, HUANTA - AYACUCHO

DESCRIPCIÓN	: Material granular de cantera	% GRAVA	47.40
MATERIAL	: Cantera prog. Km 1+100	% ARENA	36.25
FECHA	: Noviembre de 2012	% FINOS	16.35

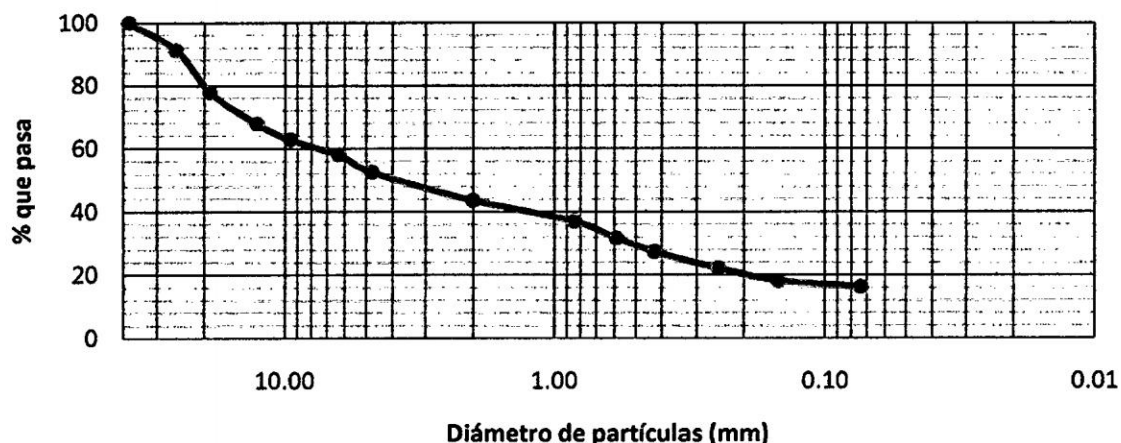
**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS
ASTM D 4318 (MTC E 107-2000)**

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
3"	76.200	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.300	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	38.100	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.400	234.27	8.86	8.86	91.14
3/4"	19.050	349.02	13.20	22.06	77.94
1/2"	12.700	265.78	10.05	32.11	67.89
3/8"	9.525	135.18	5.11	37.23	62.77
1/4"	6.350	124.16	4.70	41.92	58.08
Nº 4	4.760	144.73	5.47	47.40	52.60
Nº 10	2.000	236.70	8.95	56.35	43.65
Nº 20	0.840	174.76	6.61	62.96	37.04
Nº 30	0.590	138.85	5.25	68.21	31.79
Nº 40	0.426	112.70	4.26	72.47	27.53
Nº 60	0.250	139.39	5.27	77.74	22.26
Nº 100	0.149	103.05	3.90	81.64	18.36
Nº 200	0.074	53.08	2.01	83.65	16.35
PLATILLO	0.000	432.33	16.35	100.00	0.00

Peso muestra secada en horno 2644.0 g

Peso de muestra lavada y secada en horno 2215.0 g

Análisis granulométrico (suelo 1)



Cuadro N°4.2.- Análisis granulométrico suelo N°02

**TESIS EVALUACIÓN DEL EMPLEO DE CLORURO DE CALCIO EN LA ESTABILIZACIÓN DE CARRETERAS NO PAVIMENTADAS,
EN EL TRAMO LLOCHEGUA - PERIAVENTE ALTA, DISTRITO LLOCHEGUA, HUANTA - AYACUCHO**

DESCRIPCIÓN	: Material granular de cantera	% GRAVA	45.88
ATERIAL	: Cantera prog. Km 3+500	% ARENA	32.79
CHA	: Noviembre de 2012	% FINOS	21.33

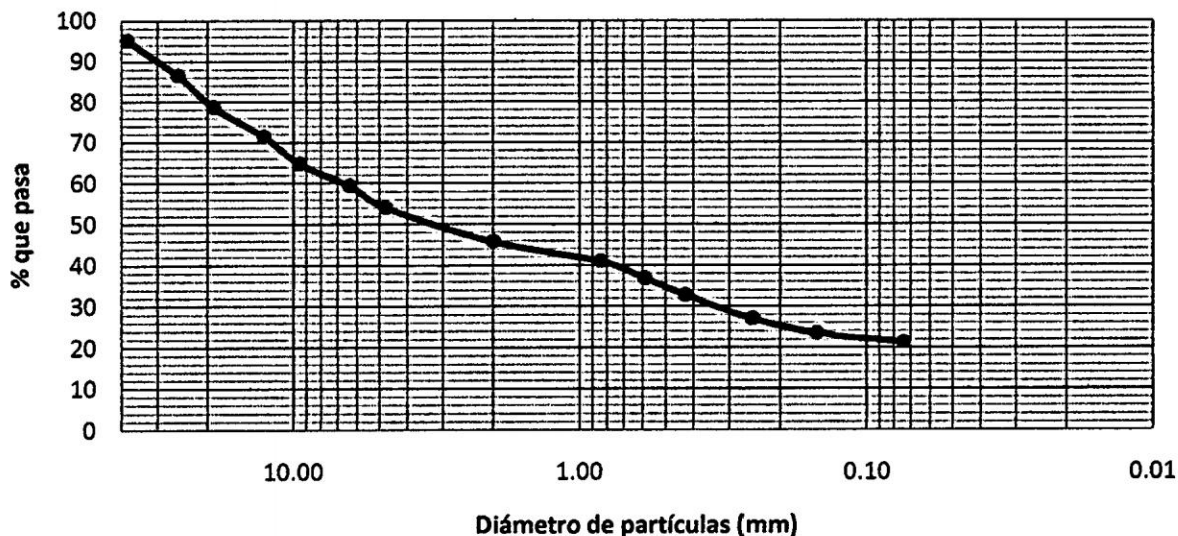
**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS
ASTM D 422 (MTC E 107-2000)**

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
3"	76.200	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.300	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	38.100	137.93	4.80	4.80	95.20
1"	25.400	248.62	8.64	13.44	86.56
3/4"	19.050	225.61	7.84	21.29	78.71
1/2"	12.700	208.39	7.25	28.53	71.47
3/8"	9.525	190.28	6.62	35.15	64.85
1/4"	6.350	156.27	5.43	40.58	59.42
Nº 4	4.760	152.50	5.30	45.88	54.12
Nº 10	2.000	238.81	8.30	54.19	45.81
Nº 20	0.840	136.49	4.75	58.93	41.07
Nº 30	0.590	119.59	4.16	63.09	36.91
Nº 40	0.426	116.74	4.06	67.15	32.85
Nº 60	0.250	167.75	5.83	72.98	27.02
Nº 100	0.149	98.84	3.44	76.42	23.58
Nº 200	0.074	64.73	2.25	78.67	21.33
PLATILLO	0.000	613.31	21.33	100.00	0.00

Peso muestra secada en horno 2876.0 g

Peso de muestra lavada y secada en horno 2268.0 g

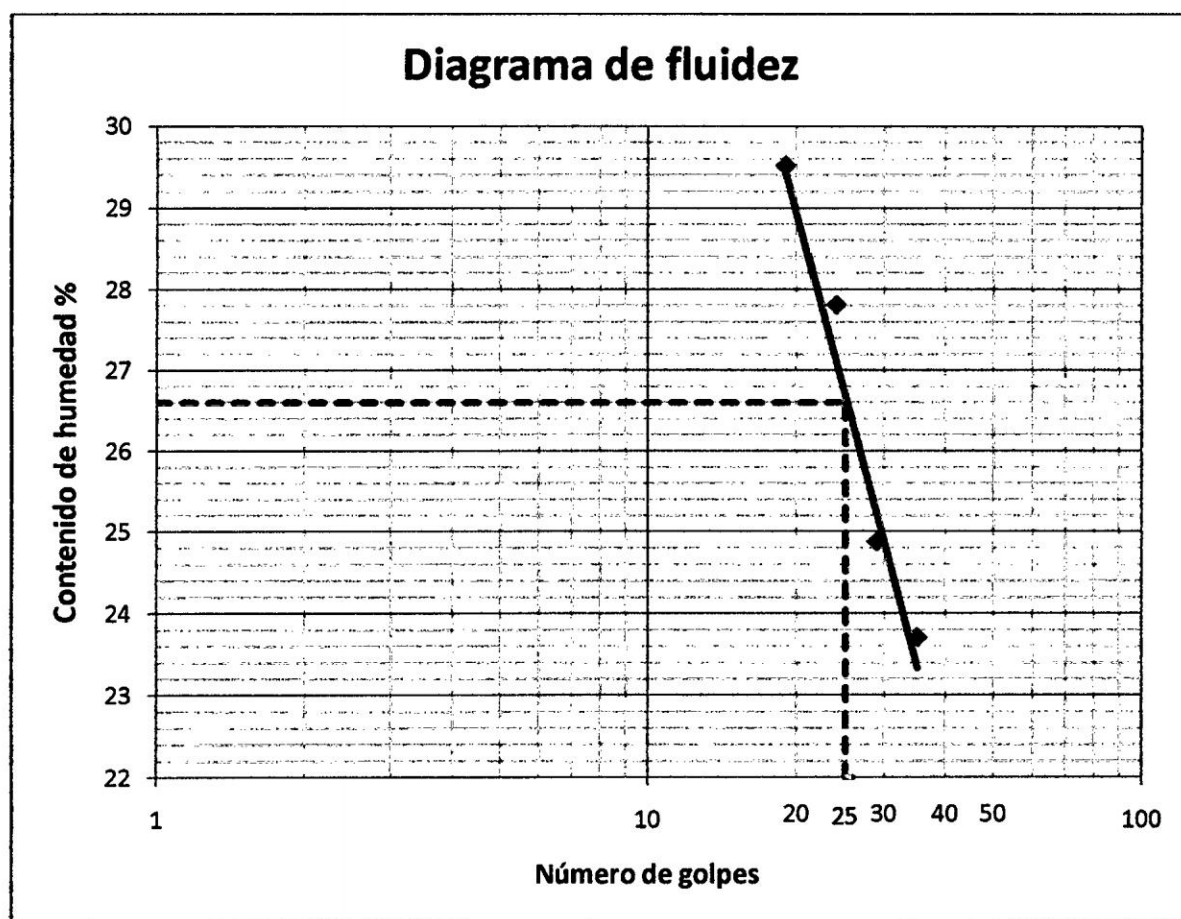
Análisis granulométrico (suelo 2)



4.3.-RESULTADOS DE LÍMITE LÍQUIDO, PLÁSTICO E INDICE DE PLASTICIDAD

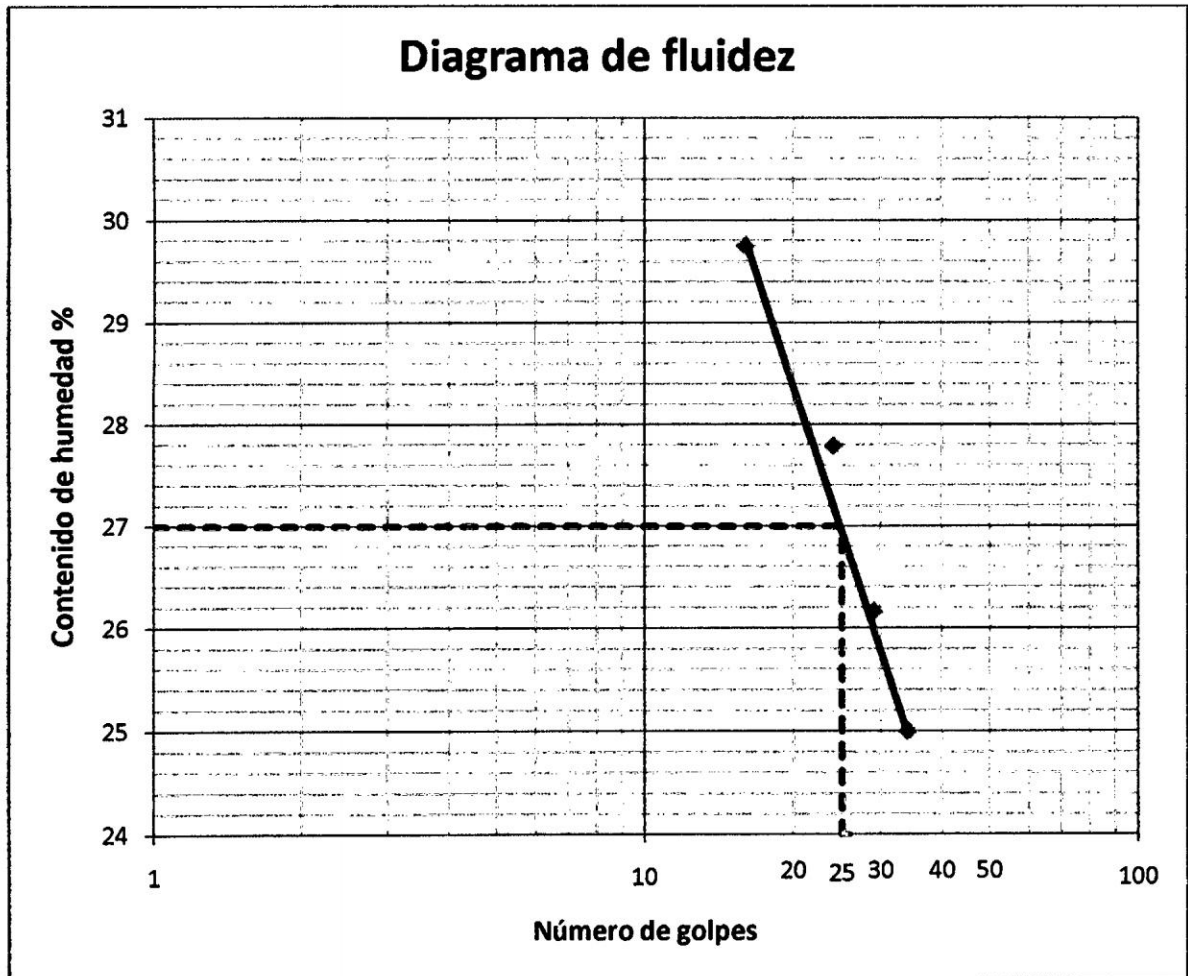
Cuadro N°4.3.- Límite líquido suelo N°01 sin cloruro de calcio

TESIS EVALUACIÓN DEL EMPLEO DE CLORURO DE CALCIO EN LA ESTABILIZACIÓN DE CARRETERAS NO PAVIMENTADAS, EN EL TRAMO LLOCHEGUA - PERIAVENTE ALTA, DISTRITO LLOCHEGUA, HUANTA - AYACUCHO							
DESCRIPCIÓN	: Material granular de cantera 0,0% CaCl ₂					LL	26.60
MATERIAL	: Cantera prog. Km 1+100					LP	20.36
FECHA	: Noviembre de 2012					IP	6.24
LÍMITE LÍQUIDO DE SUELOS ASTM D 422 (MTC E 110-2000)							
	LÍMITE PLÁSTICO		LÍMITE LÍQUIDO				
Frasco N°	6	9	19	14	1	16	
N° golpes			19	24	29	35	
Peso frasco + suelo húmedo (g)	10.28	11.13	96.03	70.68	68.92	78.90	
Peso frasco + suelo seco (g)	10.12	10.87	83.91	64.30	63.72	72.10	
Peso de agua	0.16	0.26	12.12	6.38	5.20	6.80	
Peso de frasco	9.31	9.63	42.85	41.36	42.82	43.42	
Peso suelo seco	0.81	1.24	41.06	22.94	20.90	28.68	
Contenido de humedad (%)	19.75	20.97	29.52	27.81	24.88	23.71	



Cuadro N°4.4.- Límite líquido suelo N°01 con 0,5% de cloruro de calcio

TESIS EVALUACIÓN DEL EMPLEO DE CLORURO DE CALCIO EN LA ESTABILIZACIÓN DE CARRETERAS NO PAVIMENTADAS, EN EL TRAMO LLOCHEGUA - PERIAVENTE ALTA, DISTRITO LLOCHEGUA, HUANTA - AYACUCHO							
DESCRIPCIÓN	: Material granular de cantera 0,5% CaCl ₂					LL	27.00
MATERIAL	: Cantera prog. Km 1+100					LP	21.32
FECHA	: Noviembre de 2012					IP	5.68
LÍMITE LÍQUIDO DE SUELOS ASTM D 422 (MTC E 110-2000)							
	LÍMITE PLÁSTICO		LÍMITE LÍQUIDO				
	4	6	1	3	6	9	
Frasco N°			16	24	29	34	
N° golpes							
Peso frasco + suelo húmedo (g)	10.13	9.67	78.23	82.42	76.13	80.40	
Peso frasco + suelo seco (g)	10.01	9.61	70.11	73.75	69.17	72.88	
Peso de agua	0.12	0.06	8.12	8.67	6.96	7.52	
Peso de frasco	9.48	9.31	42.82	42.55	42.57	42.80	
Peso suelo seco	0.53	0.30	27.29	31.20	26.60	30.08	
Contenido de humedad (%)	22.64	20.00	29.75	27.79	26.17	25.00	



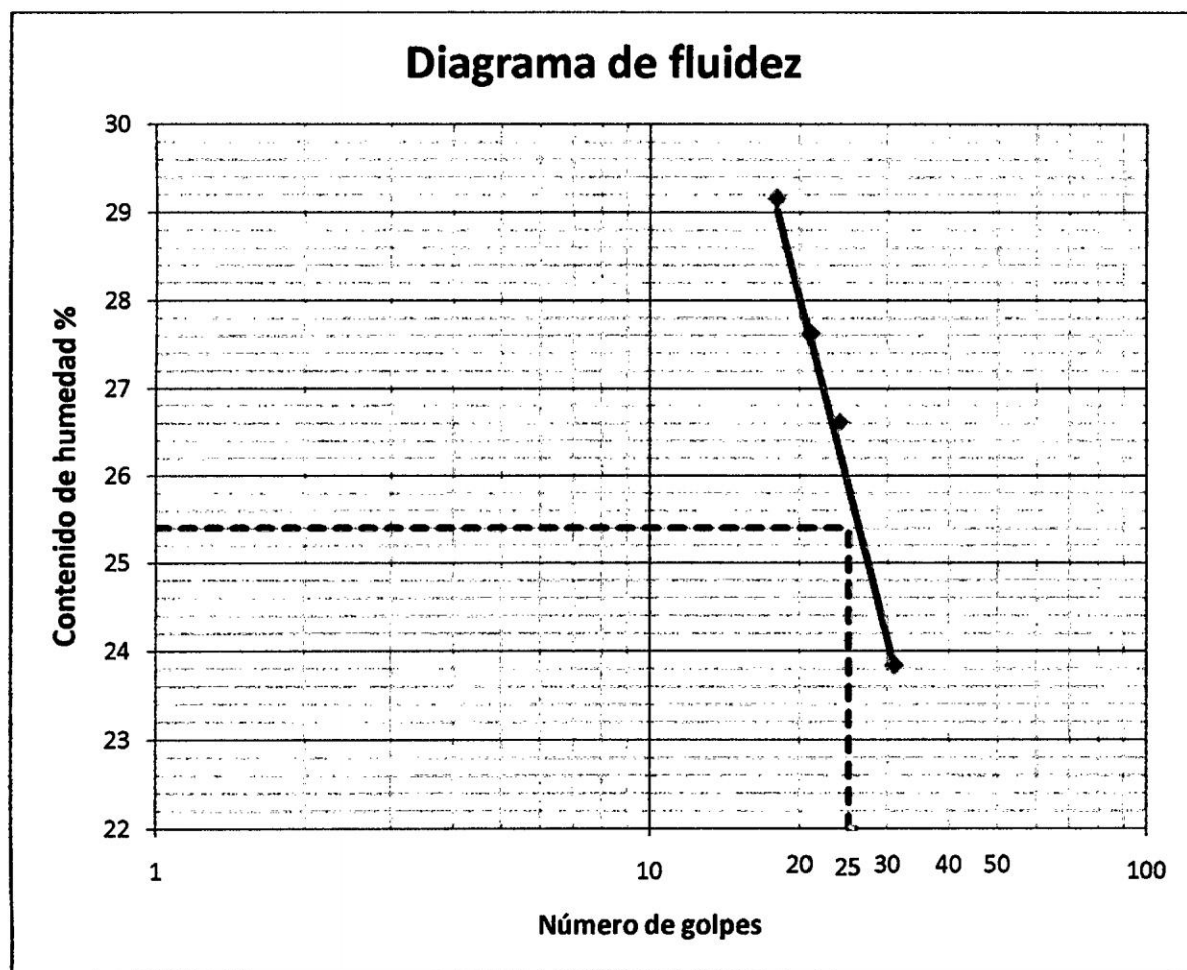
Cuadro N°4.5.- Límite líquido suelo N°01 con 1,0% de cloruro de calcio

**ANÁLISIS DE LA EVALUACIÓN DEL EMPLEO DE CLORURO DE CALCIO EN LA ESTABILIZACIÓN DE CARRETERAS NO PAVIMENTADAS,
EN EL TRAMO LLOCHEGUA - PERIAVENTE ALTA, DISTRITO LLOCHEGUA, HUANTA - AYACUCHO**

DESCRIPCIÓN	: Material granular de cantera 1,0% CaCl ₂	LL	25.55
MATERIAL	: Cantera Km 1+100	LP	20.71
FECHA	: Noviembre de 2012	IP	4.84

**LÍMITE LÍQUIDO DE SUELOS
ASTM D 422 (MTC E 110-2000)**

Prueba	LÍMITE PLÁSTICO		LÍMITE LÍQUIDO			
	8	9	13	15	16	18
Número de golpes			18	21	24	31
Peso frasco + suelo húmedo (g)	10.38	10.23	83.14	78.21	82.19	78.52
Peso frasco + suelo seco (g)	10.35	10.13	74.38	70.53	74.04	71.60
Peso de agua	0.03	0.10	8.76	7.68	8.15	6.92
Peso de frasco	10.21	9.63	44.34	42.73	43.42	42.57
Peso suelo seco	0.14	0.50	30.04	27.80	30.62	29.03
Contenido de humedad (%)	21.43	20.00	29.16	27.63	26.62	23.84



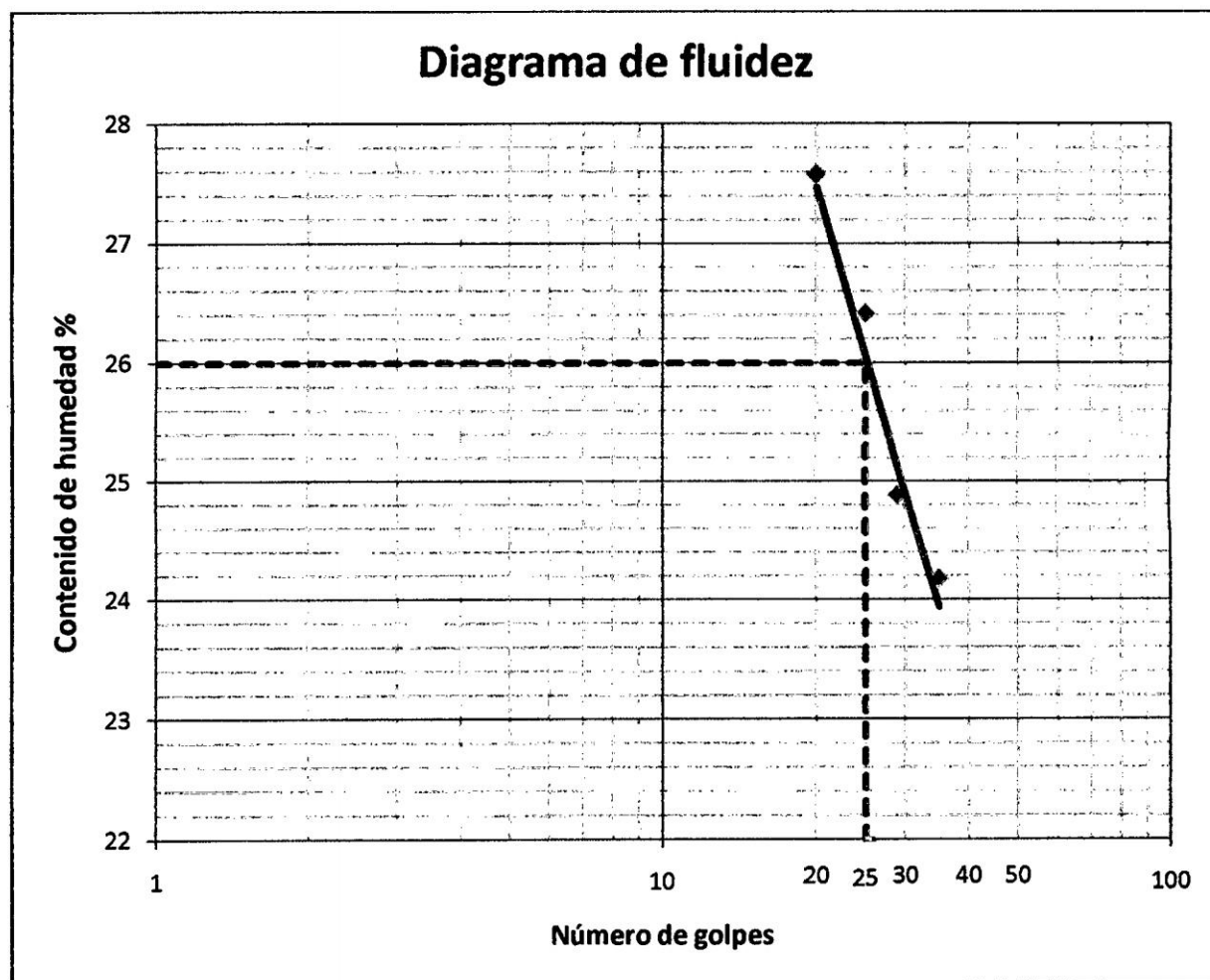
Cuadro N°4.6.- Límite líquido suelo N°01 con 1,5% de cloruro de calcio

**ANÁLISIS DE LA EFECTIVIDAD DEL EMPLEO DE CLORURO DE CALCIO EN LA ESTABILIZACIÓN DE CARRETERAS NO PAVIMENTADAS,
EN EL TRAMO LLOCHEGUA - PERIAVENTE ALTA, DISTRITO LLOCHEGUA, HUANTA - AYACUCHO**

DESCRIPCIÓN	: Material granular de cantera 1,5% CaCl ₂	LL	26.00
ATERIAL	: Cantera Km 1+100	LP	20.91
CHA	: Noviembre de 2012	IP	5.09

**LÍMITE LÍQUIDO DE SUELOS
ASTM D 422 (MTC E 110-2000)**

Muestra N°	LÍMITE PLÁSTICO		LÍMITE LÍQUIDO			
	11	13	13	15	16	19
Número de golpes			20	25	29	35
so frasco + suelo húmedo (g)	11.27	10.89	75.61	78.05	84.22	80.91
so frasco + suelo seco (g)	10.97	10.63	68.85	70.67	76.09	73.50
so de agua	0.30	0.26	6.76	7.38	8.13	7.41
so de frasco	9.52	9.40	44.34	42.73	43.42	42.85
so suelo seco	1.45	1.23	24.51	27.94	32.67	30.65
Contenido de humedad (%)	20.69	21.14	27.58	26.41	24.89	24.18



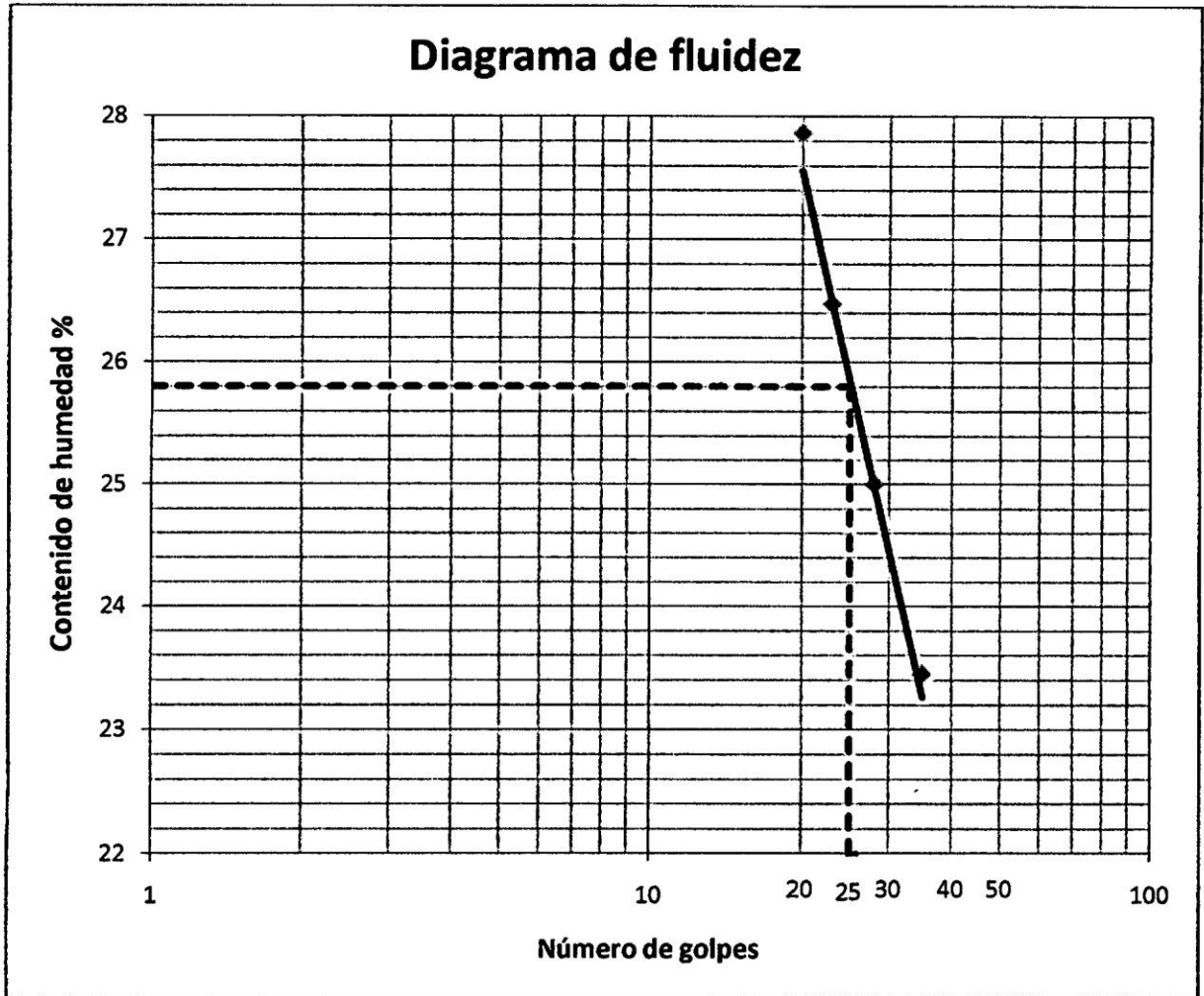
Cuadro N°4.7.- Límite líquido suelo N°01 con 2,0% de cloruro de calcio

ESIS EVALUACIÓN DEL EMPLEO DE CLORURO DE CALCIO EN LA ESTABILIZACIÓN DE CARRETERAS NO PAVIMENTADAS, EN EL TRAMO LLOCHEGUA - PERIAVENTE ALTA, DISTRITO LLOCHEGUA, HUANTA - AYACUCHO

DESCRIPCIÓN	: Material granular de cantera 2,0% CaCl ₂	LL	25.80
MATERIAL	: Cantera Km 1+100	LP	21.08
FECHA	: Noviembre de 2012	IP	4.72

**LÍMITE LÍQUIDO DE SUELOS
ASTM D 422 (MTC E 110-2000)**

Método	LÍMITE PLÁSTICO			LÍMITE LÍQUIDO		
	6	8	9	13	15	16
golpes			20	23	28	35
so frasco + suelo húmedo (g)	10.74	10.96	83.07	82.02	78.17	75.95
so frasco + suelo seco (g)	10.49	10.83	74.24	73.81	71.10	69.64
so de agua	0.25	0.13	8.83	8.21	7.07	6.31
so de frasco	9.31	10.21	42.55	42.80	42.82	42.73
so suelo seco	1.18	0.62	31.69	31.01	28.28	26.91
Contenido de humedad (%)	21.19	20.97	27.86	26.48	25.00	23.45



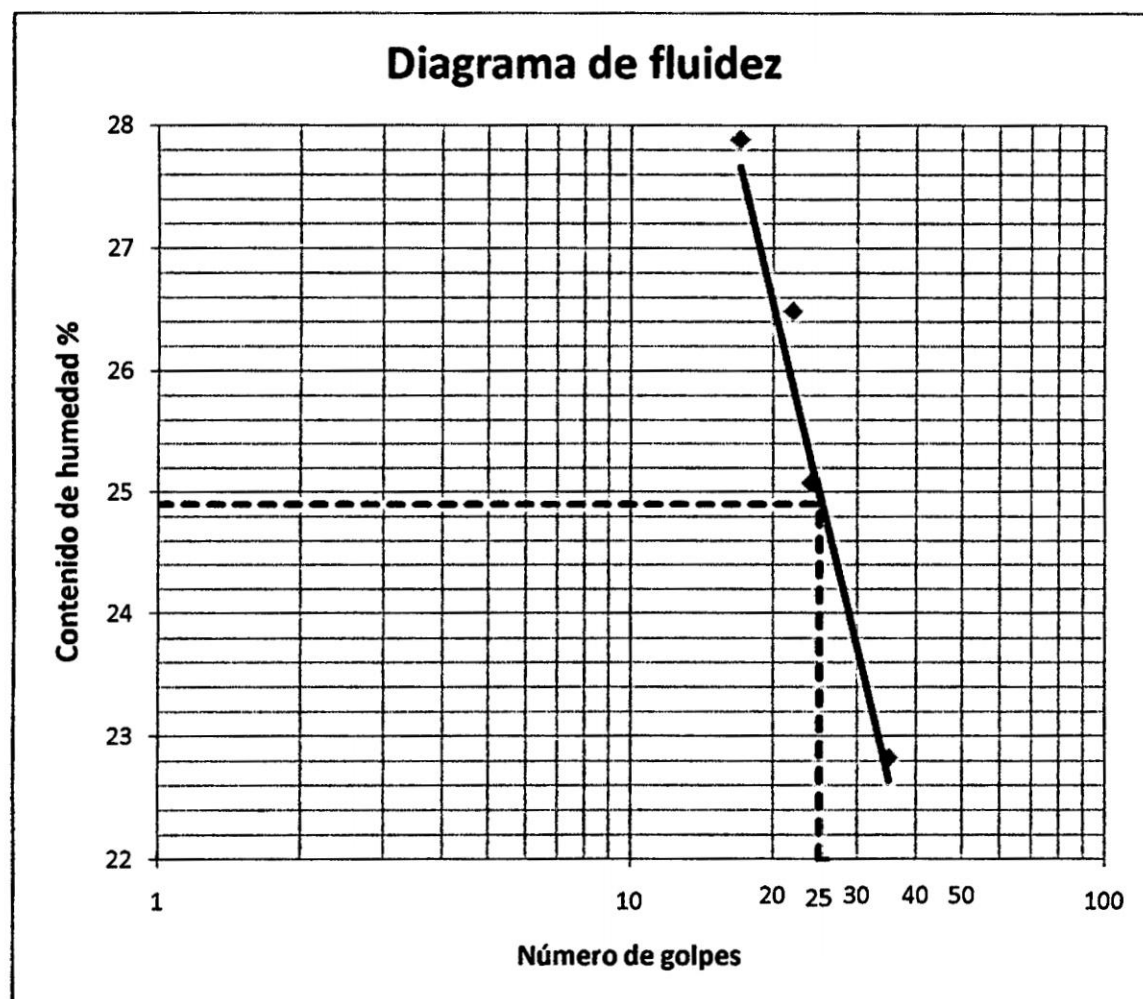
Cuadro N°4.8.- Límite líquido suelo N°01 con 2,5% de cloruro de calcio

**ANÁLISIS DE EVALUACIÓN DEL EMPLEO DE CLORURO DE CALCIO EN LA ESTABILIZACIÓN DE CARRETERAS NO PAVIMENTADAS,
EN EL TRAMO LLOCHEGUA - PERIAVENTE ALTA, DISTRITO LLOCHEGUA, HUANTA - AYACUCHO**

DESCRIPCIÓN	: Material granular de cantera 2,5% CaCl ₂	LL	24.90
MATERIAL	: Cantera Km 1+100	LP	20.70
FECHA	: Noviembre de 2012	IP	4.20

**LÍMITE LÍQUIDO DE SUELOS
ASTM D 422 (MTC E 110-2000)**

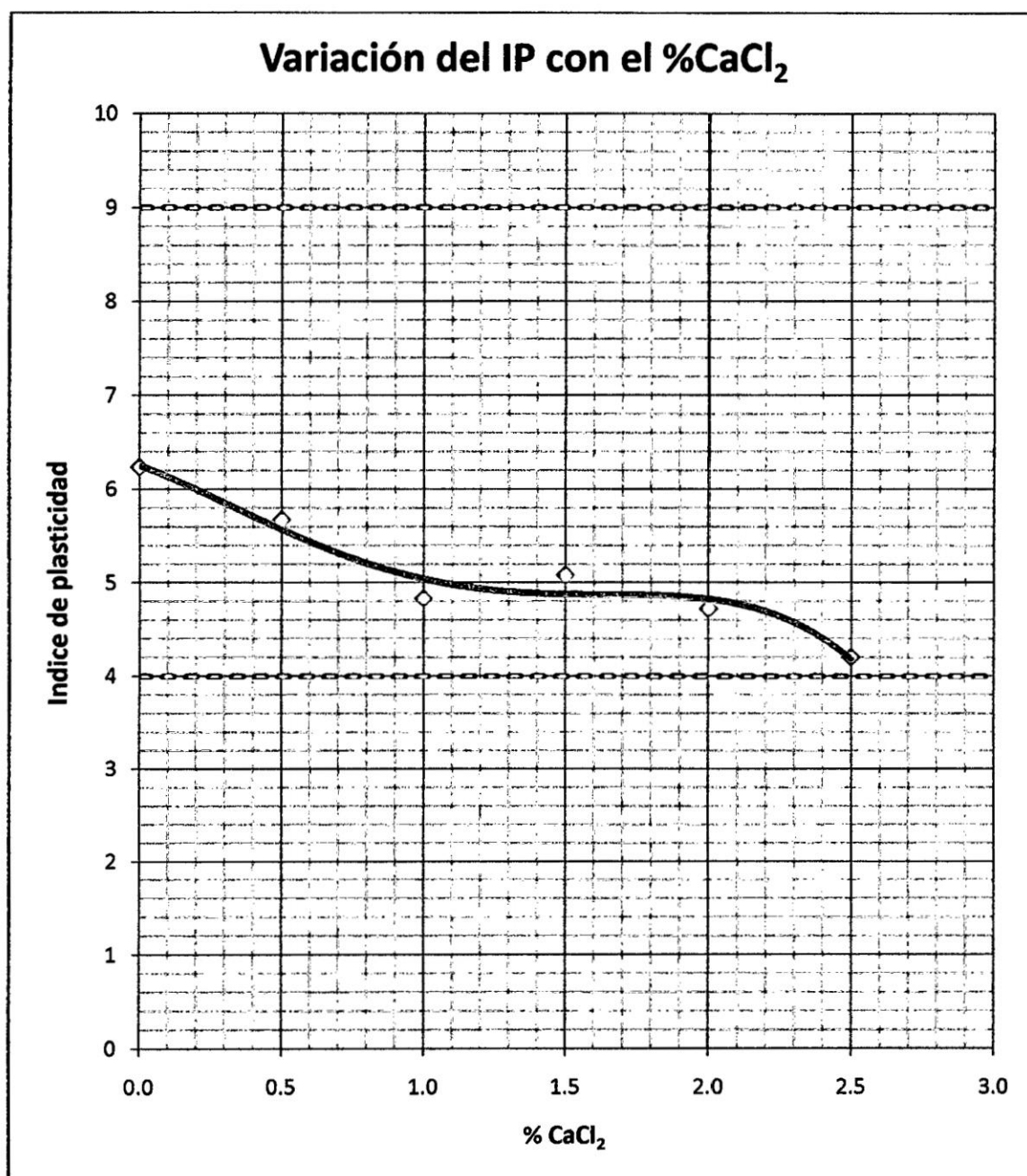
Método	LÍMITE PLÁSTICO		LÍMITE LÍQUIDO			
	4	9	3	6	18	19
Número de golpes			17	22	24	35
Moisture content of wet soil (%)	10.80	10.46	80.25	79.15	75.69	83.27
Moisture content of dry soil (g)	10.57	10.32	72.03	71.49	69.05	75.76
Water added	0.23	0.14	8.22	7.66	6.64	7.51
Moisture of soil	9.48	9.63	42.55	42.57	42.57	42.85
Moisture of dry soil	1.09	0.69	29.48	28.92	26.48	32.91
Moisture content (%)	21.10	20.29	27.88	26.49	25.08	22.82



Cuadro N°4.9.- Variación del límite líquido suelo N°01 al adicionar cloruro de calcio

TESIS EVALUACIÓN DEL EMPLEO DE CLORURO DE CALCIO EN LA ESTABILIZACIÓN DE CARRETERAS NO PAVIMENTADAS,
EN EL TRAMO LLOCHEGUA - PERIAVENTE ALTA, DISTRITO LLOCHEGUA, HUANTA - AYACUCHO

% Cloruro de Calcio	0.00	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50
Indice plástico	6.24	5.68	4.84	5.09	4.72	4.20



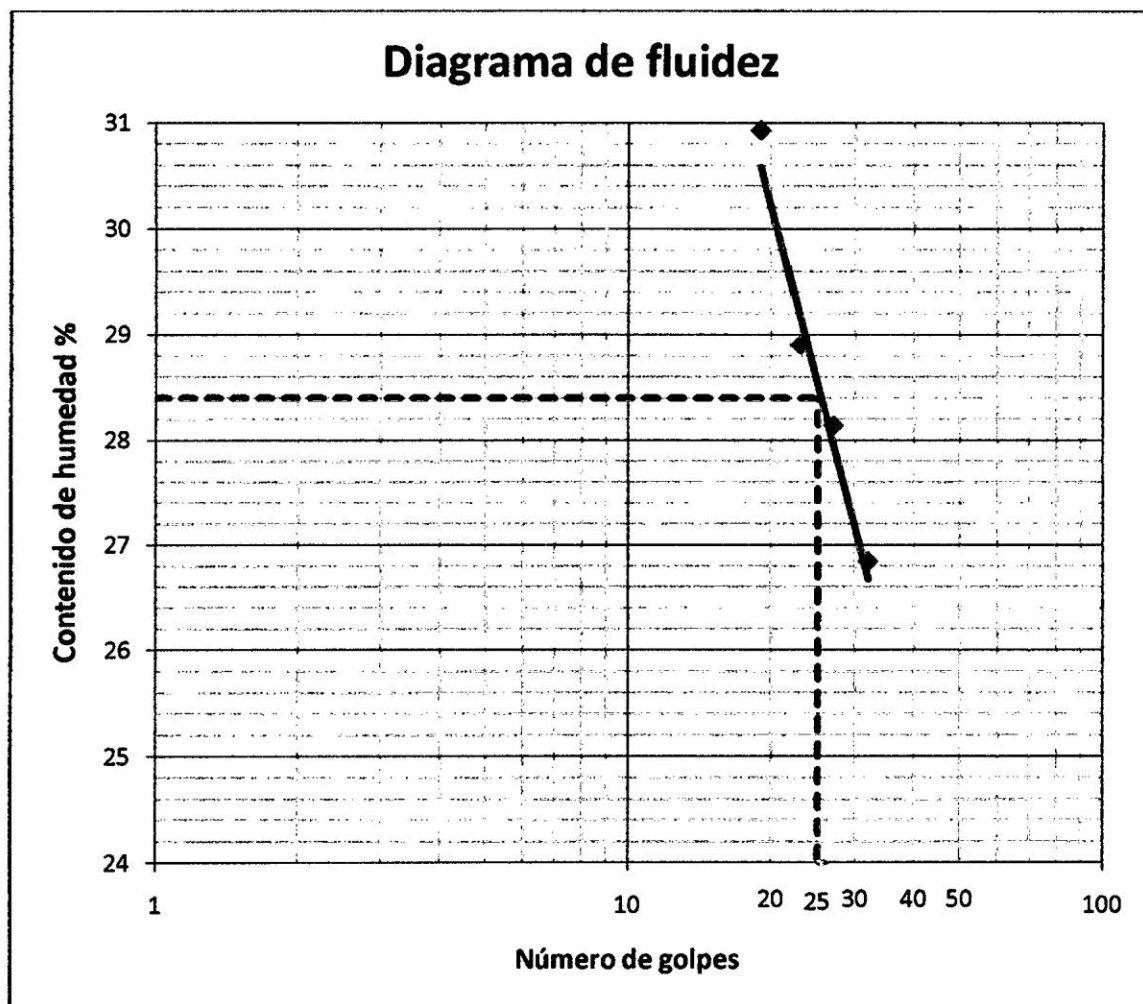
Cuadro N°4.10.- Límite líquido de suelo N°02 sin cloruro de calcio

**ANÁLISIS DE EVALUACIÓN DEL EMPLEO DE CLORURO DE CALCIO EN LA ESTABILIZACIÓN DE CARRETERAS NO PAVIMENTADAS,
EN EL TRAMO LLOCHEGUA - PERIAVENTE ALTA, DISTRITO LLOCHEGUA, HUANTA - AYACUCHO**

DESCRIPCIÓN	: Material granular de cantera 0,0% CaCl ₂	LL	28.40
MATERIAL	: Cantera Km 3+500	LP	18.51
FECHA	: Noviembre de 2012	IP	9.89

**LÍMITE LÍQUIDO DE SUELOS
ASTM D 422 (MTC E 110-2000)**

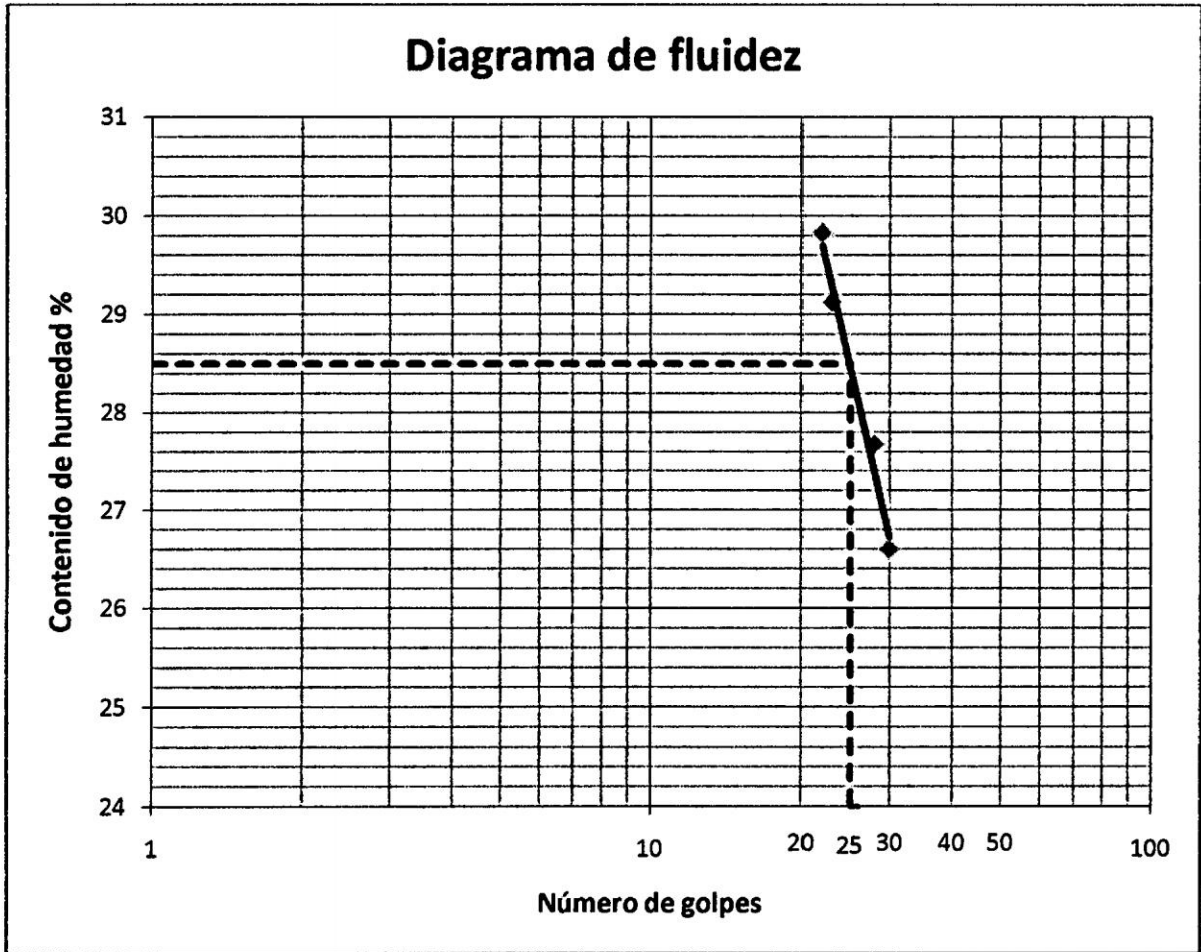
Frascos N°	LÍMITE PLÁSTICO		LÍMITE LÍQUIDO			
	9	8	16	3	9	19
N° golpes			19	23	27	32
peso frasco + suelo húmedo (g)	10.45	11.25	57.22	64.18	57.28	66.57
peso frasco + suelo seco (g)	10.32	11.09	53.96	59.33	54.10	61.55
peso de agua	0.13	0.16	3.26	4.85	3.18	5.02
peso de frasco	9.63	10.21	43.42	42.55	42.80	42.85
peso suelo seco	0.69	0.88	10.54	16.78	11.30	18.70
contenido de humedad (%)	18.84	18.18	30.93	28.90	28.14	26.84



Cuadro N°4.11.- Límite líquido de suelo N°02 con 0,5% de cloruro de calcio

TESIS EVALUACIÓN DEL EMPLEO DE CLORURO DE CALCIO EN LA ESTABILIZACIÓN DE CARRETERAS NO PAVIMENTADAS, EN EL TRAMO LLOCHEGUA - PERIAVENTE ALTA, DISTRITO LLOCHEGUA, HUANTA - AYACUCHO			
<i>DESCRIPCIÓN</i>	: Material granular de cantera 0,5% CaCl ₂	LL	28.50
<i>MATERIAL</i>	: Cantera Km 3+500	LP	21.72
<i>FECHA</i>	: Noviembre de 2012	IP	6.78

LÍMITE LÍQUIDO DE SUELOS ASTM D 422 (MTC E 110-2000)						
	LÍMITE PLÁSTICO		LÍMITE LÍQUIDO			
Frasco N°	9	13	9	3	6	1
Nº golpes			22	23	28	30
Peso frasco + suelo húmedo (g)	10.42	9.88	70.23	71.06	72.05	69.38
Peso frasco + suelo seco (g)	10.27	9.80	63.94	64.63	65.66	63.80
Peso de agua	0.15	0.08	6.29	6.43	6.39	5.58
Peso de frasco	9.63	9.40	42.85	42.55	42.57	42.82
Peso suelo seco	0.64	0.40	21.09	22.08	23.09	20.98
Contenido de humedad (%)	23.44	20.00	29.82	29.12	27.67	26.60



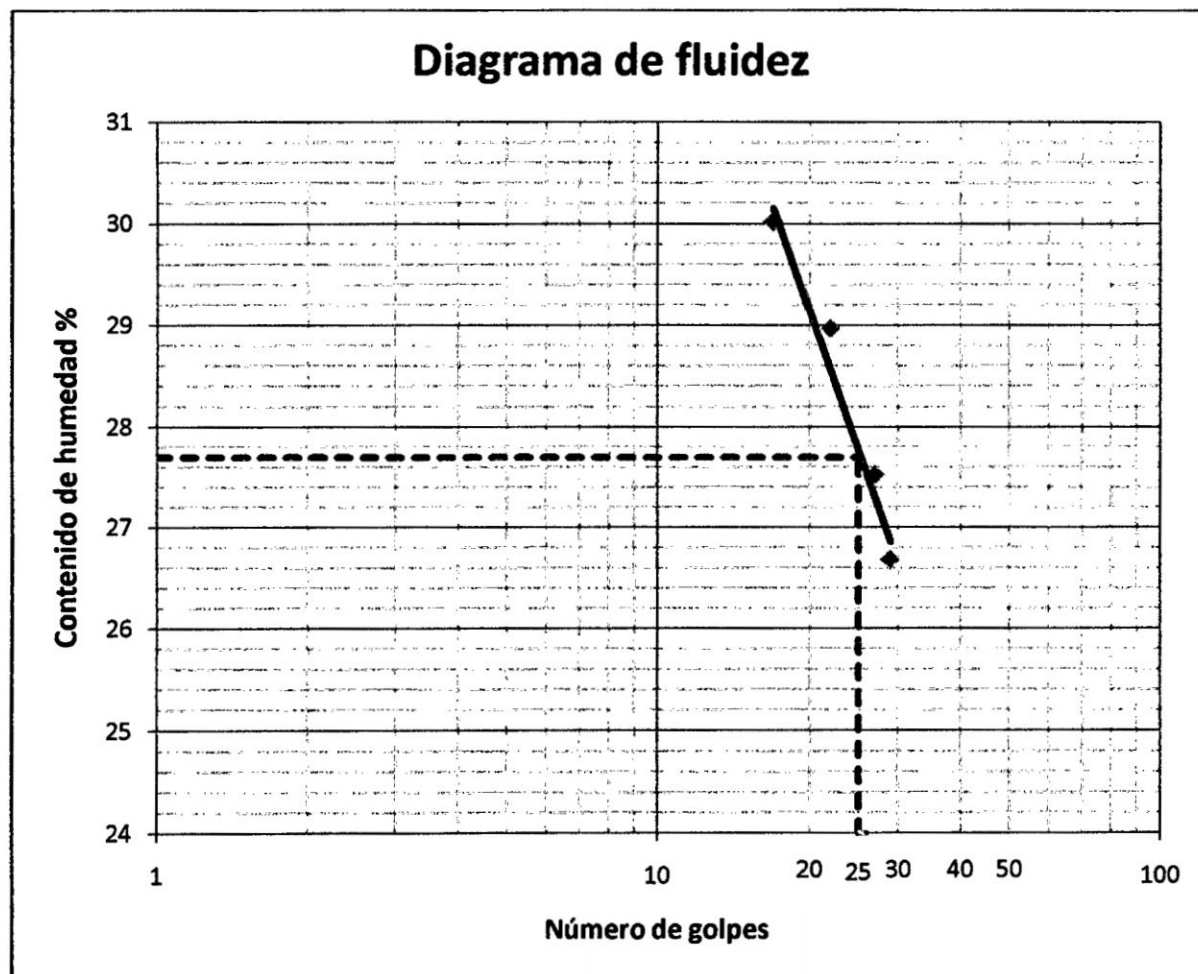
Cuadro N°4.12.- Límite líquido de suelo N°02 con 1,0% de cloruro de calcio

**ANÁLISIS DE EVALUACIÓN DEL EMPLEO DE CLORURO DE CALCIO EN LA ESTABILIZACIÓN DE CARRETERAS NO PAVIMENTADAS,
EN EL TRAMO LLOCHEGUA - PERIAVENTE ALTA, DISTRITO LLOCHEGUA, HUANTA - AYACUCHO**

DESCRIPCIÓN	: Material granular de cantera 1,0% CaCl ₂	LL	27.70
MATERIAL	: Cantera Km 3+500	LP	21.18
FECHA	: Noviembre de 2012	IP	6.52

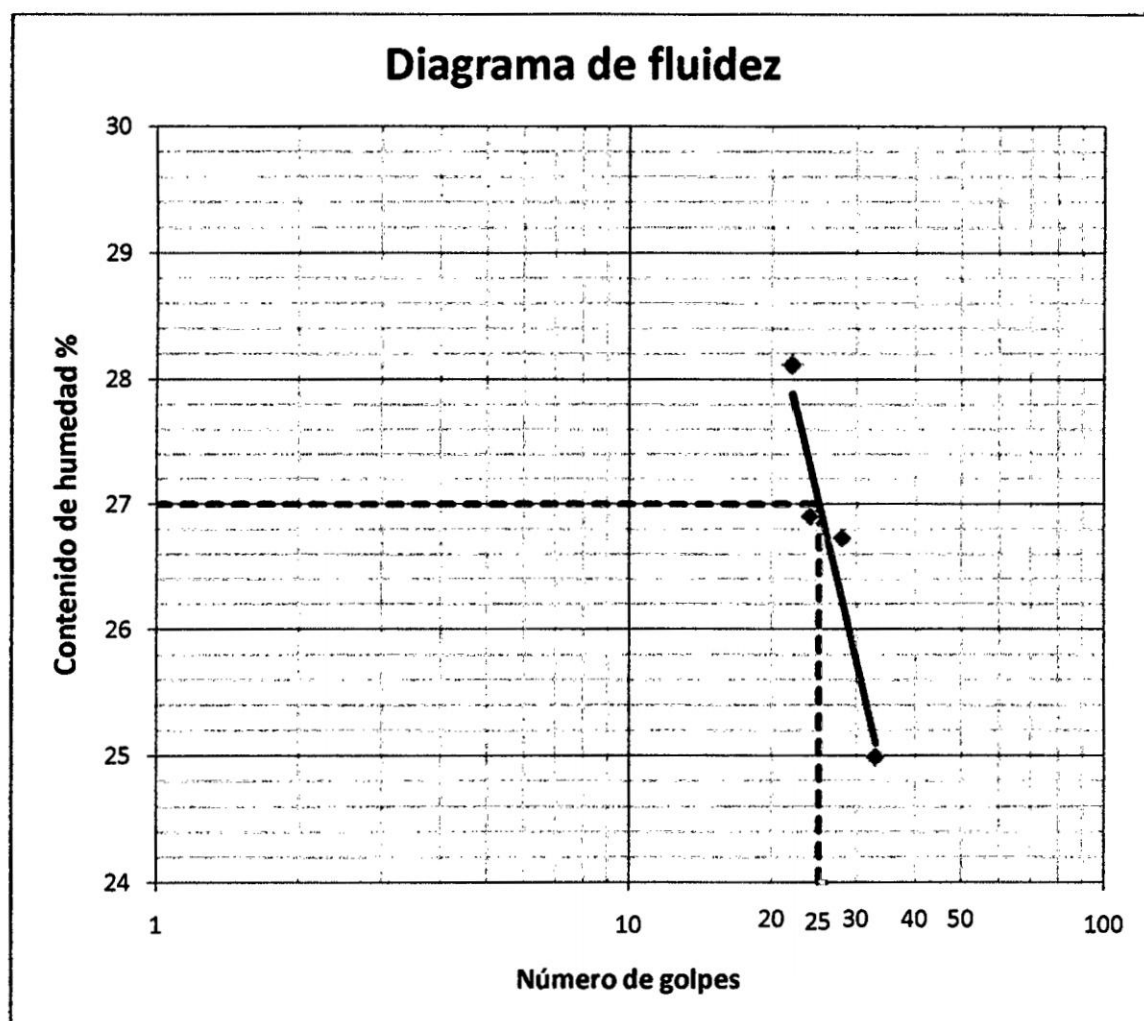
**LÍMITE LÍQUIDO DE SUELOS
ASTM D 422 (MTC E 110-2000)**

Prueba N°	LÍMITE PLÁSTICO		LÍMITE LÍQUIDO			
	4	6	15	18	16	13
N° golpes			17	22	27	29
Peso frasco + suelo húmedo (g)	10.22	10.23	75.60	76.27	68.33	76.25
Peso frasco + suelo seco (g)	10.09	10.07	68.01	68.70	62.77	69.53
Peso de agua	0.13	0.16	7.59	7.57	5.56	6.72
Peso de frasco	9.48	9.31	42.73	42.57	42.57	44.34
Peso suelo seco	0.61	0.76	25.28	26.13	20.20	25.19
Contenido de humedad (%)	21.31	21.05	30.02	28.97	27.52	26.68



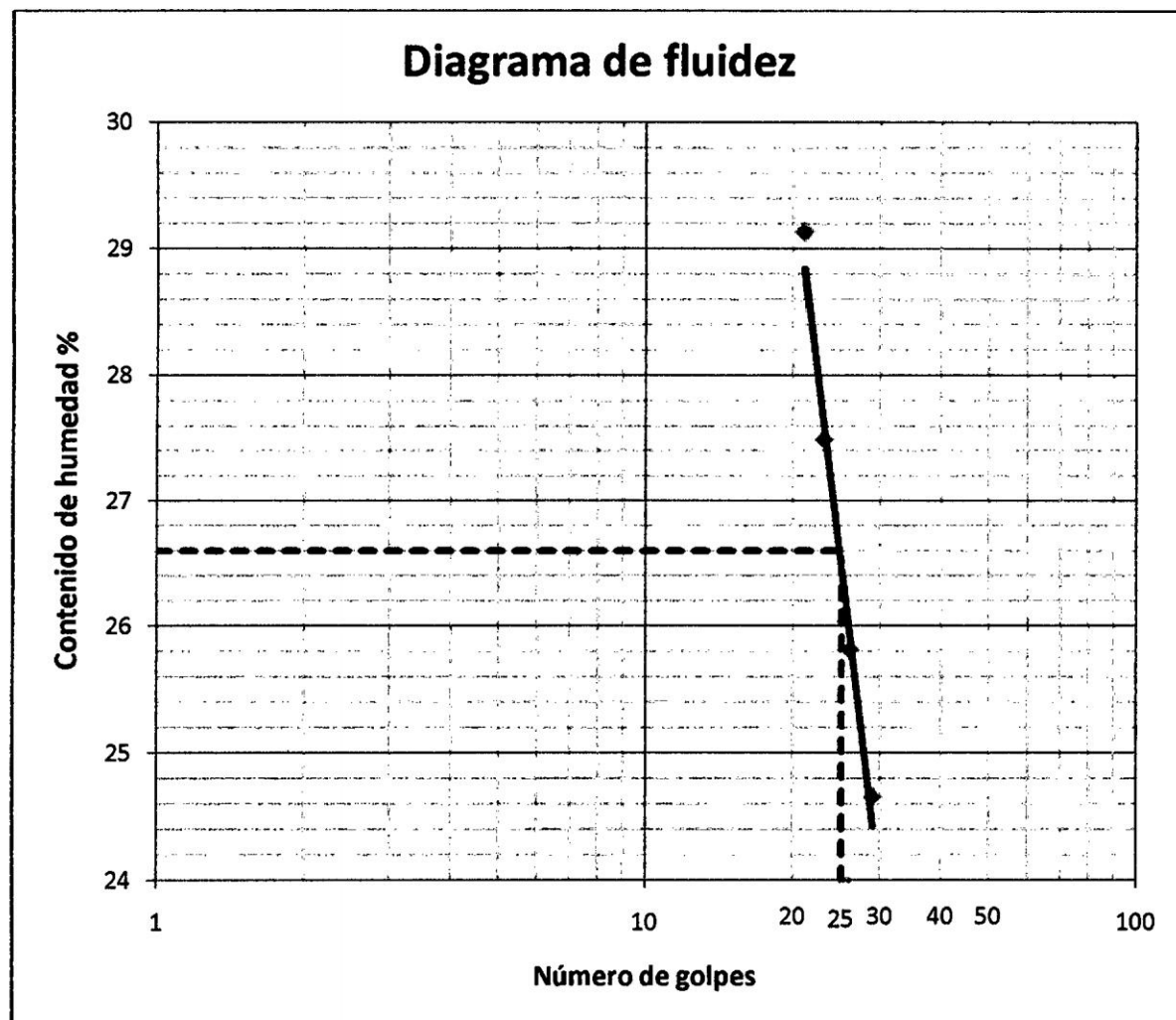
Cuadro N°4.13.- Límite líquido de suelo N°02 con 1,5% de cloruro de calcio

TESIS EVALUACIÓN DEL EMPLEO DE CLORURO DE CALCIO EN LA ESTABILIZACIÓN DE CARRETERAS NO PAVIMENTADAS, EN EL TRAMO LLOCHEGUA - PERIAVENTE ALTA, DISTRITO LLOCHEGUA, HUANTA - AYACUCHO						
DESCRIPCIÓN	: Material granular de cantera 1,5% CaCl ₂			LL	27.00	
MATERIAL	: Cantera Km 3+500			LP	22.06	
FECHA	: Noviembre de 2012			IP	4.94	
LÍMITE LÍQUIDO DE SUELOS ASTM D 422 (MTC E 110-2000)						
Frascos N°	LÍMITE PLÁSTICO			LÍMITE LÍQUIDO		
	8	11	16	6	3	9
N° golpes			22	24	28	33
Peso frasco + suelo húmedo (g)	11.07	11.16	81.38	75.45	78.35	74.51
Peso frasco + suelo seco (g)	10.79	10.88	73.05	68.48	70.80	68.17
Peso de agua	0.28	0.28	8.33	6.97	7.55	6.34
Peso de frasco	9.60	9.52	43.42	42.57	42.55	42.80
Peso suelo seco	1.19	1.36	29.63	25.91	28.25	25.37
Contenido de humedad (%)	23.53	20.59	28.11	26.90	26.73	24.99



Cuadro N°4.14.- Límite líquido de suelo N°02 con 2,0% de cloruro de calcio

ANÁLISIS DE EVALUACIÓN DEL EMPLEO DE CLORURO DE CALCIO EN LA ESTABILIZACIÓN DE CARRETERAS NO PAVIMENTADAS, EN EL TRAMO LLOCHEGUA - PERIAVENTE ALTA, DISTRITO LLOCHEGUA, HUANTA - AYACUCHO						
DESCRIPCIÓN	: Material granular de cantera 2,0% CaCl ₂				LL	26.60
MATERIAL	: Cantera Km 3+500				LP	21.97
FECHA	: Noviembre de 2012				IP	4.63
LÍMITE LÍQUIDO DE SUELOS ASTM D 422 (MTC E 110-2000)						
Frasco N°	LÍMITE PLÁSTICO		LÍMITE LÍQUIDO			
	4	8	3	9	1	15
N° golpes			21	23	26	29
Peso frasco + suelo húmedo (g)	10.90	11.35	78.19	81.25	74.99	85.05
Peso frasco + suelo seco (g)	10.65	11.14	70.15	72.96	68.39	76.68
Peso de agua	0.25	0.21	8.04	8.29	6.60	8.37
Peso de frasco	9.48	10.21	42.55	42.80	42.82	42.73
Peso suelo seco	1.17	0.93	27.60	30.16	25.57	33.95
Contenido de humedad (%)	21.37	22.58	29.13	27.49	25.81	24.65



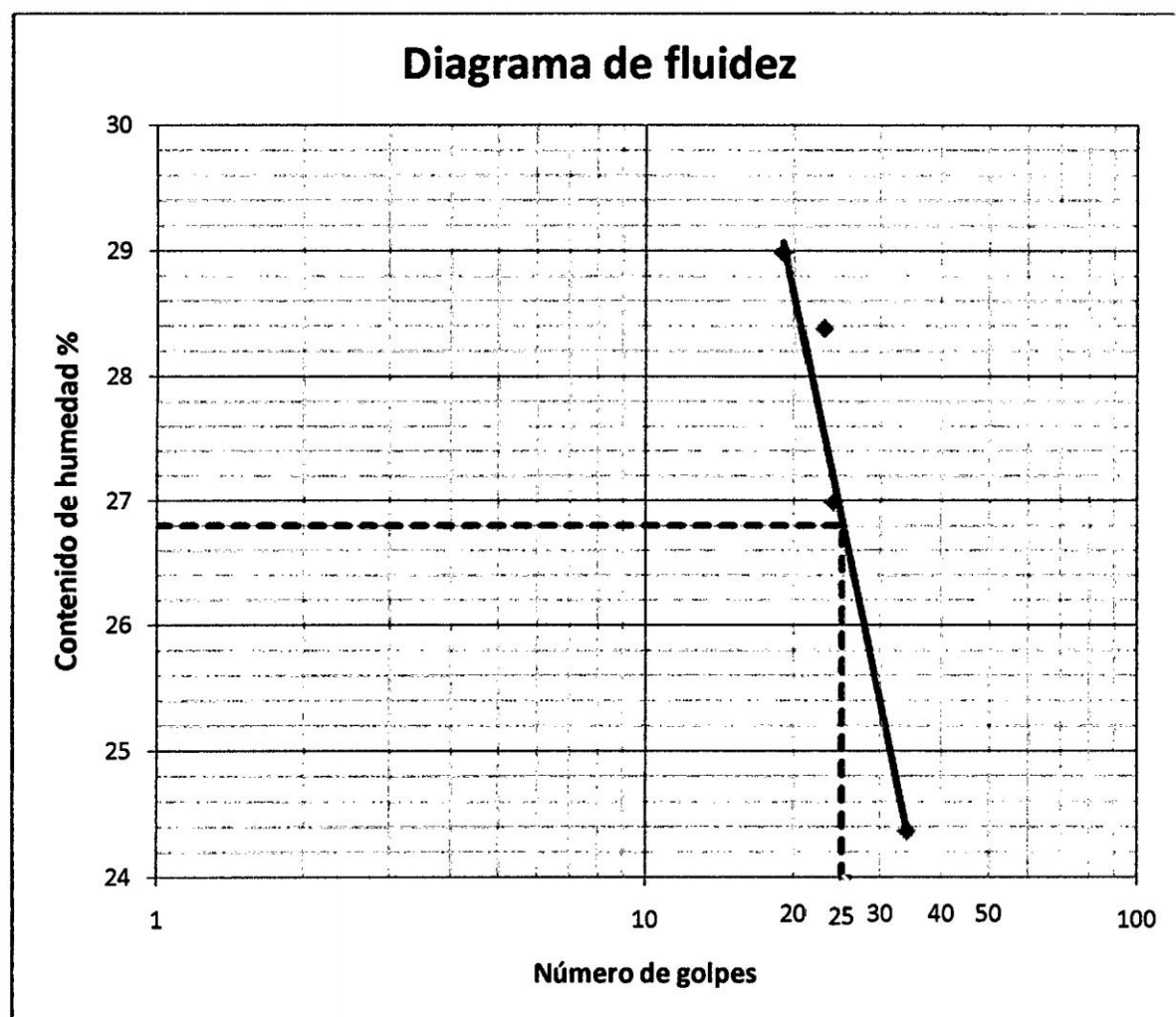
Cuadro N°4.15.- Límite líquido de suelo N°02 con 2,5% de cloruro de calcio

**ANÁLISIS DE EVALUACIÓN DEL EMPLEO DE CLORURO DE CALCIO EN LA ESTABILIZACIÓN DE CARRETERAS NO PAVIMENTADAS,
EN EL TRAMO LLOCHEGUA - PERIAVENTE ALTA, DISTRITO LLOCHEGUA, HUANTA - AYACUCHO**

DESCRIPCIÓN	: Material granular de cantera 2,5% CaCl ₂	LL	26.80
MATERIAL	: Cantera Km 3+500	LP	22.58
FECHA	: Noviembre de 2012	IP	4.22

**LÍMITE LÍQUIDO DE SUELOS
ASTM D 422 (MTC E 110-2000)**

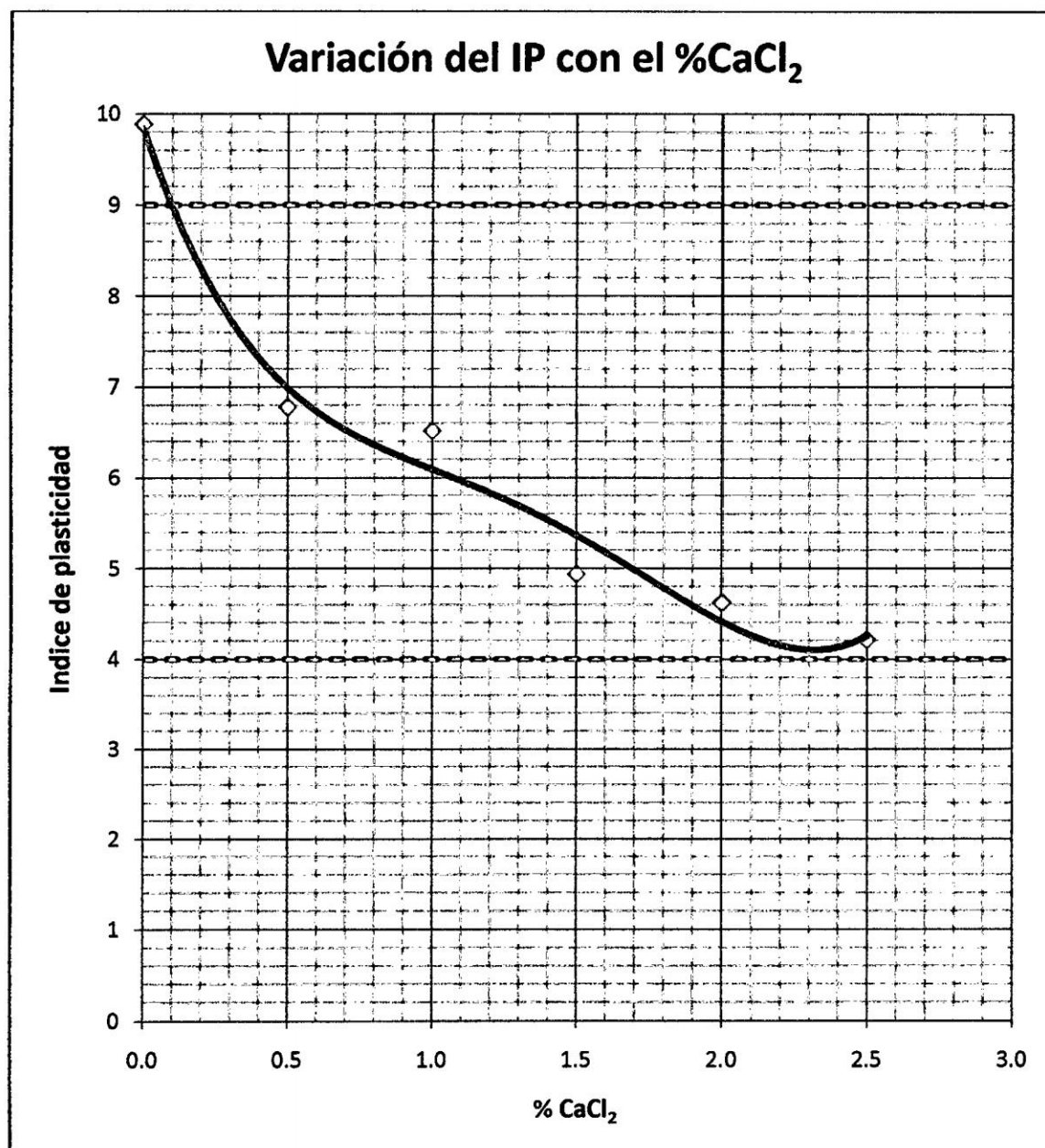
Prueba	LÍMITE PLÁSTICO		LÍMITE LÍQUIDO			
	6	11	13	16	6	19
Nº golpes			19	23	24	34
peso frasco + suelo húmedo (g)	11.08	10.97	79.18	74.81	81.06	74.90
peso frasco + suelo seco (g)	10.77	10.69	71.35	67.87	72.88	68.62
peso de agua	0.31	0.28	7.83	6.94	8.18	6.28
peso de frasco	9.31	9.52	44.34	43.42	42.57	42.85
peso suelo seco	1.46	1.17	27.01	24.45	30.31	25.77
contenido de humedad (%)	21.23	23.93	28.99	28.38	26.99	24.37



Cuadro N°4.16.- Variación del límite líquido suelo N°02 al adicionar cloruro de calcio

TESIS EVALUACIÓN DEL EMPLEO DE CLORURO DE CALCIO EN LA ESTABILIZACIÓN DE CARRETERAS NO PAVIMENTADAS,
EN EL TRAMO LLOCHEGUA - PERIAVENTE ALTA, DISTRITO LLOCHEGUA, HUANTA - AYACUCHO

% Cloruro de Calcio	0.00	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50
Indice plástico	9.89	6.78	6.52	4.94	4.63	4.22



4.4.-RESULTADOS DE LA ENSAYO PROCTOR MODIFICADO

Cuadro N°4.17.- Ensayo de Proctor modificado suelo N°01 sin cloruro de calcio

SIS EVALUACIÓN DEL EMPLEO DE CLORURO DE CALCIO EN LA ESTABILIZACIÓN DE CARRETERAS NO PAVIMENTADAS,
EN EL TRAMO LLOCHEGUA - PERIAVENTE ALTA, DISTRITO LLOCHEGUA, HUANTA - AYACUCHO

ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO NORMA ASTM D 1557 (MTC E 115-2000)

men molde 2,132.71 cm³ MUESTRA : Material de cantera sin CaCl₂
molde 2,730.00 g SEGÚN SUCS : GM - GC

OS PARA LA CURVA

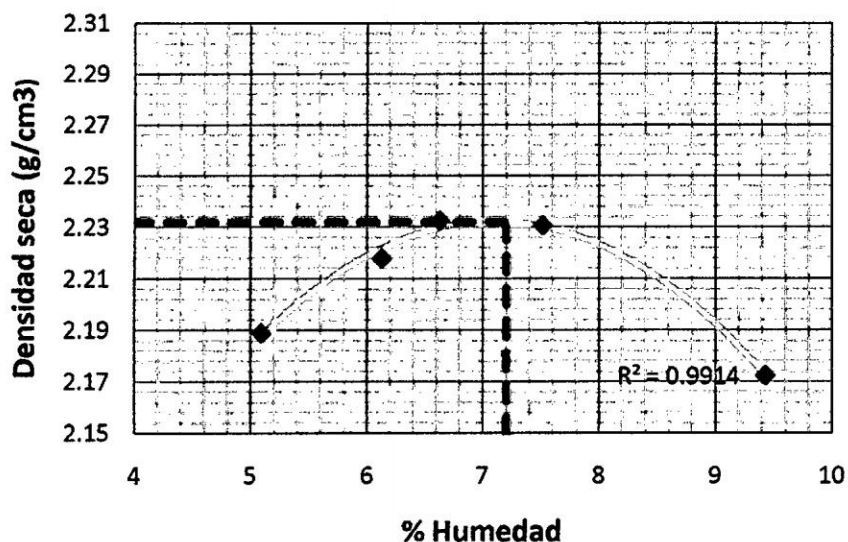
SEGÚN AASHTO : A-1-b-(0)

stra #		1	2	3	4	5
del molde + suelo húmedo	g	7636.00	7750.00	7807.00	7845.00	7800.00
del suelo húmedo	g	4906.00	5020.00	5077.00	5115.00	5070.00
edad calculada (promedio)	%	5.09	6.13	6.63	7.51	9.43
idad Húmeda	g/cm ³	2.300	2.354	2.381	2.398	2.377
idad seca	g/cm ³	2.189	2.218	2.233	2.231	2.172

TENIDOS DE HUMEDAD

stra #		1		2		3		4		5	
iente #		3	6	17	11	16	13	5	9	14	18
+ suelo húmedo	g	76.70	98.35	108.05	99.02	97.15	102.18	90.33	100.72	108.96	105.3
+ suelo seco	g	75.07	95.61	104.15	95.89	93.85	98.54	87.42	96.26	103.17	99.87
del recipiente	g	42.55	42.57	43.34	42.31	43.42	44.34	43.90	42.80	41.36	42.57
del suelo seco	g	32.52	53.04	60.81	53.58	50.43	54.20	43.52	53.46	61.81	57.30
del agua	g	1.63	2.74	3.90	3.13	3.30	3.64	2.91	4.46	5.79	5.44
enido de Humedad	%	5.01	5.17	6.41	5.84	6.54	6.72	6.69	8.34	9.37	9.49

Densidad seca - Humedad



DENSIDAD MÁXIMA SECA

$$\rho_{\text{máx}} = 2.232$$

HUMEDAD ÓPTIMA

$$h_{\text{opt}} = 7.20$$

Cuadro N°4.18.- Ensayo de Proctor modificado suelo N°01 con 0,5% cloruro de calcio

**TESIS EVALUACIÓN DEL EMPLEO DE CLORURO DE CALCIO EN LA ESTABILIZACIÓN DE CARRETERAS NO PAVIMENTADAS,
EN EL TRAMO LLOCHEGUA - PERIAVENTE ALTA, DISTRITO LLOCHEGUA, HUANTA - AYACUCHO**

**ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO NORMA ASTM D 1557
(MTC E 115-2000)**

Volumen molde **2,132.71** cm³ MUESTRA : Material cantera +0.5% CaCl₂

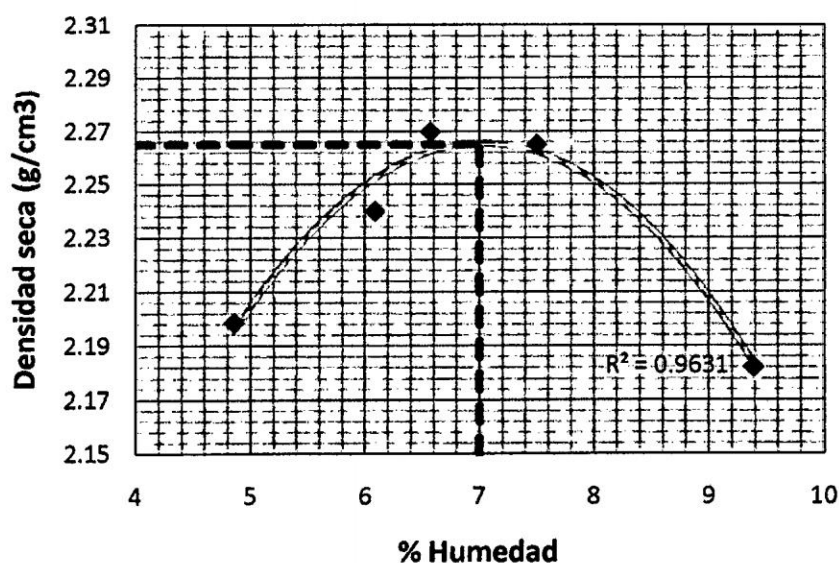
Peso molde **2,730.00** g SEGÚN SUCS : GM - GC

DATOS PARA LA CURVA SEGÚN AASHTO : A-1-b (0)

Muestra #		1	2	3	4	5
Peso del molde + suelo húmedo	g	7647.00	7798.00	7889.00	7923.00	7821.00
Peso del suelo húmedo	g	4917.00	5068.00	5159.00	5193.00	5091.00
Humedad calculada (promedio)	%	4.86	6.09	6.57	7.50	9.39
Densidad Húmeda	g/cm ³	2.306	2.376	2.419	2.435	2.387
Densidad seca	g/cm ³	2.199	2.240	2.270	2.265	2.182

CONTENIDOS DE HUMEDAD

Muestra #		1		2		3		4		5	
Recipiente #		3	5	6	9	11	13	14	16	17	18
Rec + suelo húmedo	g	103.25	95.87	96.82	104.27	103.61	98.45	101.17	99.64	100.16	103.6
Rec + suelo seco	g	101.43	92.64	93.18	101.35	99.73	95.20	97.22	95.51	95.23	98.39
Peso del recipiente	g	42.55	43.90	42.57	42.80	42.31	44.34	41.36	43.42	43.34	42.57
Peso del suelo seco	g	58.88	48.74	50.61	58.55	57.42	50.86	55.86	52.09	51.89	55.82
Peso del agua	g	1.82	3.23	3.64	2.92	3.88	3.25	3.95	4.13	4.93	5.18
Contenido de Humedad	%	3.09	6.63	7.19	4.99	6.76	6.39	7.07	7.93	9.50	9.28

Densidad seca - Humedad

DENSIDAD MÁXIMA SECA

$$P_{\text{máx}} = 2.266$$

HUMEDAD ÓPTIMA

$$h_{\text{opt}} = 7.00$$

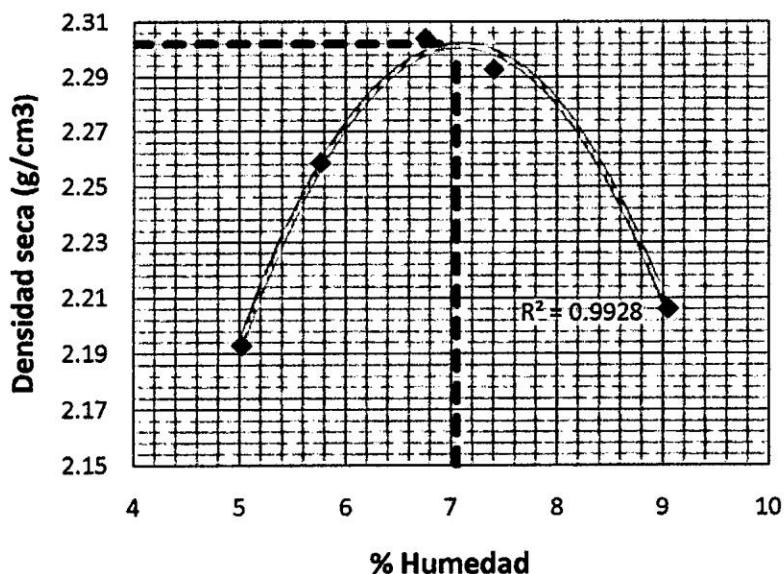
Cuadro N°4.19.- Ensayo de Proctor modificado suelo N°01 con 1,0 % cloruro de calcio

ANÁLISIS DE EVALUACIÓN DEL EMPLEO DE CLORURO DE CALCIO EN LA ESTABILIZACIÓN DE CARRETERAS NO PAVIMENTADAS,
EN EL TRAMO LLOCHEGUA - PERIAVENTE ALTA, DISTRITO LLOCHEGUA, HUANTA - AYACUCHO

**ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO NORMA ASTM D 1557
(MTC E 115-2000)**

Superficie molde	2,132.71	cm ³	MUESTRA	: Material cantera +1,0% CaCl ₂								
Volumen molde	2,730.00	g	SEGÚN SUCS	: GM - GC								
VALORES PARA LA CURVA			SEGÚN AASHTO	: A-1-b (0)								
Probeta #			1	2	3	4	5					
Peso del molde + suelo húmedo	g		7642.00	7825.00	7976.00	7982.00	7861.00					
Peso del suelo húmedo	g		4912.00	5095.00	5246.00	5252.00	5131.00					
Humedad calculada (promedio)	%		5.02	5.76	6.76	7.41	9.05					
Densidad Húmeda	g/cm ³		2.303	2.389	2.460	2.463	2.406					
Densidad seca	g/cm ³		2.193	2.259	2.304	2.293	2.206					
CONTENIDOS DE HUMEDAD												
Probeta #			1	2	3	4	5					
Recipiente #			3	5	6	9	11	13	14	16	17	18
Peso + suelo húmedo	g		95.47	103.45	108.06	101.18	90.27	99.46	92.75	102.46	94.28	99.81
Peso + suelo seco	g		93.24	100.27	104.41	98.07	87.66	95.47	89.74	97.79	90.42	94.65
Peso del recipiente	g		42.55	43.90	42.57	42.80	42.31	44.34	41.36	43.42	43.34	42.57
Peso del suelo seco	g		50.69	56.37	61.84	55.27	45.37	51.13	48.38	54.37	47.08	52.08
Peso del agua	g		2.23	3.18	3.65	3.11	2.99	3.99	3.01	4.67	3.66	5.16
Contenido de Humedad	%		4.40	5.64	5.90	5.63	6.71	7.80	6.22	8.59	8.20	9.91

Densidad seca - Humedad



DENSIDAD MÁXIMA SECA

$$\rho_{\text{máx}} = 2.304$$

HUMEDAD ÓPTIMA

$$h_{\text{opt}} = 7.05$$

Cuadro N°4.20.- Ensayo de Proctor modificado suelo N°01 con 1,5 % cloruro de calcio

ANÁLISIS DE EVALUACIÓN DEL EMPLEO DE CLORURO DE CALCIO EN LA ESTABILIZACIÓN DE CARRETERAS NO PAVIMENTADAS,
EN EL TRAMO LLOCHEGUA - PERIAVENTE ALTA, DISTRITO LLOCHEGUA, HUANTA - AYACUCHO

**ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO NORMA ASTM D 1557
(MTC E 115-2000)**

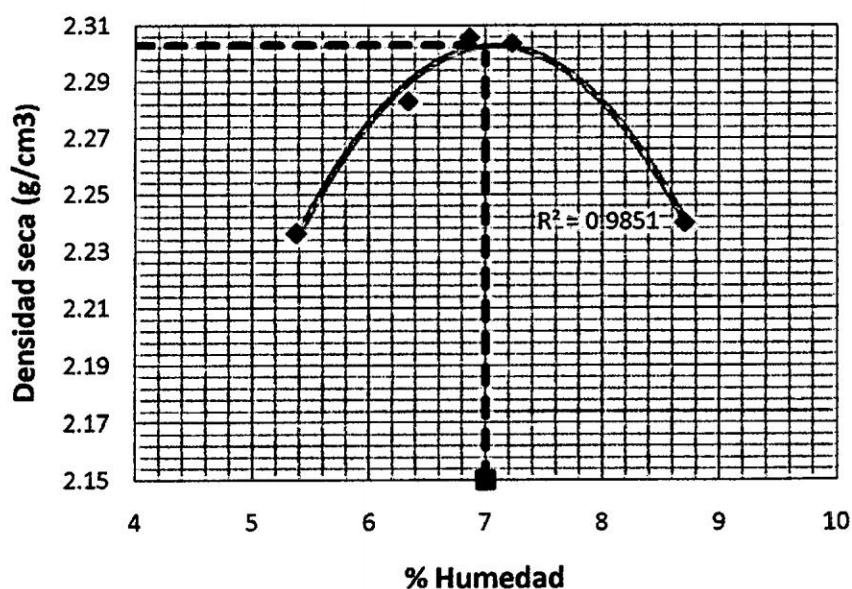
Superficie molde 2,132.71 cm³ MUESTRA : Material de cantera +1,5% CaCl₂
Volumen molde 2,730.00 g SEGÚN SUCS : GM - GC
MATERIALES PARA LA CURVA SEGÚN AASHTO : A-1-b (0)

Probeta #		1	2	3	4	5
Peso del molde + suelo	g	7756.00	7908.00	7985.00	7998.00	7923.00
Peso del suelo húmedo	g	5026.00	5178.00	5255.00	5268.00	5193.00
Humedad calculada (promedio)	%	5.38	6.34	6.87	7.23	8.71
Densidad Húmeda	g/cm ³	2.357	2.428	2.464	2.470	2.435
Densidad seca	g/cm ³	2.236	2.283	2.306	2.304	2.240

CONTENIDOS DE HUMEDAD

Probeta #		1		2		3		4		5	
Recipiente #		3	5	6	9	11	13	14	16	17	18
Peso + suelo húmedo	g	92.44	99.65	95.86	105.41	101.85	93.84	103.48	97.82	95.19	90.82
Peso + suelo seco	g	89.94	96.75	92.50	101.89	96.48	92.02	98.79	94.60	91.47	86.56
Peso del recipiente	g	42.55	43.90	42.57	42.80	42.31	44.34	41.36	43.42	43.34	42.57
Peso del suelo seco	g	47.39	52.85	49.93	59.09	54.17	47.68	57.43	51.18	48.13	43.99
Peso del agua	g	2.50	2.90	3.36	3.52	5.37	1.82	4.69	3.22	3.72	4.26
Contenido de Humedad	%	5.28	5.49	6.73	5.96	9.91	3.82	8.17	6.29	7.73	9.68

Densidad seca - Humedad



DENSIDAD MÁXIMA SECA

$\rho_{\text{máx}} = 2.305$

HUMEDAD ÓPTIMA

$h_{\text{opt}} = 7.00$

Cuadro N°4.21.- Ensayo de Proctor modificado suelo N°01 con 2,0% cloruro de calcio

**TESIS EVALUACIÓN DEL EMPLEO DE CLORURO DE CALCIO EN LA ESTABILIZACIÓN DE CARRETERAS NO PAVIMENTADAS,
EN EL TRAMO LLOCHEGUA - PERIAVENTE ALTA, DISTRITO LLOCHEGUA, HUANTA - AYACUCHO**

**ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO NORMA ASTM D 1557
(MTC E 115-2000)**

olumen molde **2,132.71** cm³ MUESTRA : Material de cantera +2,0% CaCl₂

eso molde **2,730.00** g SEGÚN SUCS : GM - GC

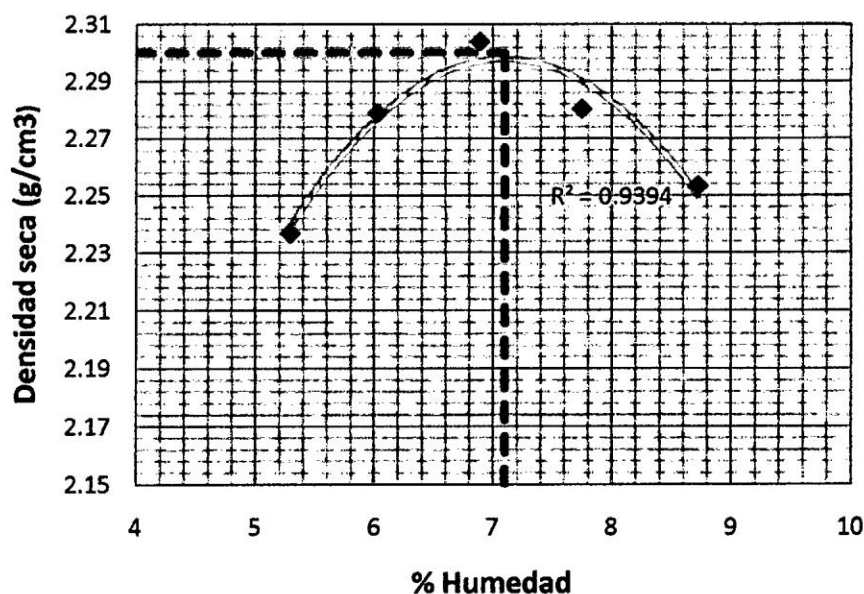
DATOS PARA LA CURVA SEGÚN AASHTO : A-1-b (0)

Muestra #		1	2	3	4	5
eso del molde + suelo húmedo	g	7753.00	7883.00	7982.00	7970.00	7955.00
eso del suelo húmedo	g	5023.00	5153.00	5252.00	5240.00	5225.00
umedad calculada (promedio)	%	5.29	6.03	6.89	7.75	8.73
ensidad Húmeda	g/cm ³	2.355	2.416	2.463	2.467	2.450
ensidad seca	g/cm ³	2.237	2.279	2.304	2.280	2.283

CONTENIDOS DE HUMEDAD

Muestra #		1		2		3		4		5	
Recipiente #		3	5	6	9	11	13	14	16	17	18
ec + suelo húmedo	g	101.48	104.23	97.13	92.47	100.53	97.52	99.08	94.26	95.44	108.42
ec + suelo seco	g	98.87	100.84	94.46	89.26	97.34	93.59	95.22	90.35	91.10	104.26
eso del recipiente	g	42.55	43.90	42.57	42.80	42.31	44.34	41.38	43.42	43.34	42.67
eso del suelo seco	g	56.32	56.94	51.89	46.46	55.03	49.25	53.86	46.93	47.76	61.69
eso del agua	g	2.61	3.39	2.67	3.21	3.19	3.93	3.86	3.91	4.34	5.16
contenido de Humedad	%	4.63	5.95	5.15	6.91	5.80	7.98	7.17	8.33	9.09	8.36

Densidad seca - Humedad



DENSIDAD MÁXIMA SECA

$\rho_{m\acute{a}x} = 2.300$

HUMEDAD ÓPTIMA

$h_{opt} = 7.10$

Cuadro N°4.22.- Ensayo de Proctor modificado suelo N°01 con 2,5% cloruro de calcio

**ANÁLISIS DE EVALUACIÓN DEL EMPLEO DE CLORURO DE CALCIO EN LA ESTABILIZACIÓN DE CARRETERAS NO PAVIMENTADAS,
EN EL TRAMO LLOCHEGUA - PERIAVENTE ALTA, DISTRITO LLOCHEGUA, HUANTA - AYACUCHO**

**ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO NORMA ASTM D 1557
(MTC E 115-2000)**

Volúmen molde 2,132.71 cm³ MUESTRA : Material cantera +2,5% CaCl₂

Peso molde 2,730.00 g SEGÚN SUCS : GM - GC

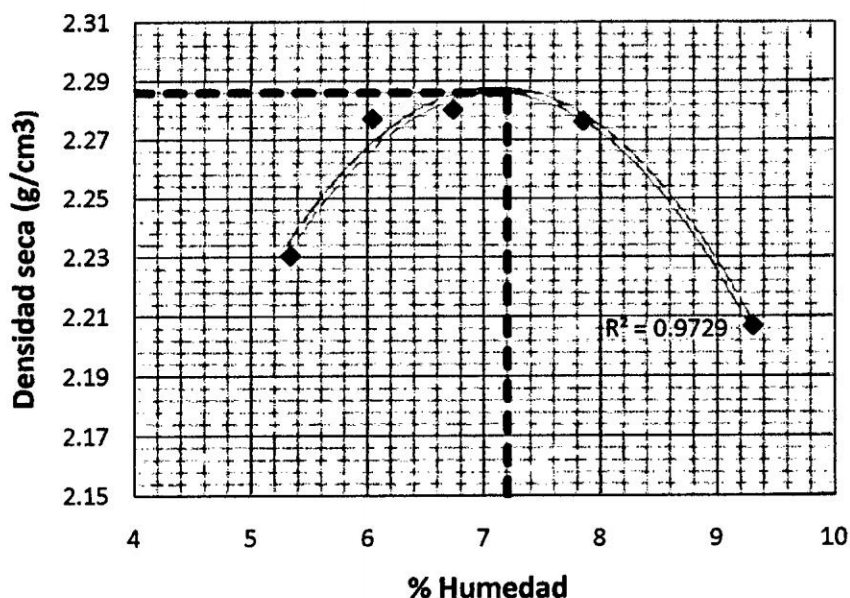
TOS PARA LA CURVA SEGÚN AASHTO : A-1-b (0)

Muestra #		1	2	3	4	5
Peso del molde + suelo húmedo	g	7741.00	7880.00	7921.00	7966.00	7875.00
Peso del suelo húmedo	g	5011.00	5150.00	5191.00	5236.00	5145.00
Humedad calculada (promedio)	%	5.34	6.04	6.74	7.86	9.31
Densidad Húmeda	g/cm ³	2.350	2.415	2.434	2.455	2.412
Densidad seca	g/cm ³	2.230	2.277	2.280	2.276	2.207

CONTENIDOS DE HUMEDAD

Muestra #		1		2		3		4		5	
Recipiente #		3	5	6	9	11	13	14	16	17	18
Peso + suelo húmedo	g	94.58	102.84	105.27	100.52	94.67	98.16	98.46	91.17	104.49	96.25
Peso + suelo seco	g	91.98	99.81	101.97	96.98	91.27	94.86	94.56	87.46	98.52	91.47
Peso del recipiente	g	42.55	43.90	42.57	42.80	42.31	44.34	41.36	43.42	43.34	42.57
Peso del suelo seco	g	49.43	55.91	59.40	54.18	48.96	50.52	53.22	44.04	56.18	48.90
Peso del agua	g	2.60	3.03	3.30	3.54	3.40	3.30	3.88	3.71	4.97	4.78
Contenido de Humedad	%	5.26	5.42	5.56	6.53	6.94	6.53	7.29	8.42	8.95	9.78

Densidad seca - Humedad



DENSIDAD MÁXIMA SECA

$$\rho_{\text{máx}} = 2.286$$

HUMEDAD ÓPTIMA

$$h_{\text{opt}} = 7.20$$

Cuadro N°4.23.- Variación de la densidad máxima seca suelo N°01 al adicionar CaCl₂

SIS EVALUACIÓN DEL EMPLEO DE CLORURO DE CALCIO EN LA ESTABILIZACIÓN DE CARRETERAS NO PAVIMENTADAS, EN EL TRAMO LLOCHEGUA - PERIAVENTE ALTA, DISTRITO LLOCHEGUA, HUANTA - AYACUCHO

ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO NORMA ASTM D 1557 (MTC E 115-2000)

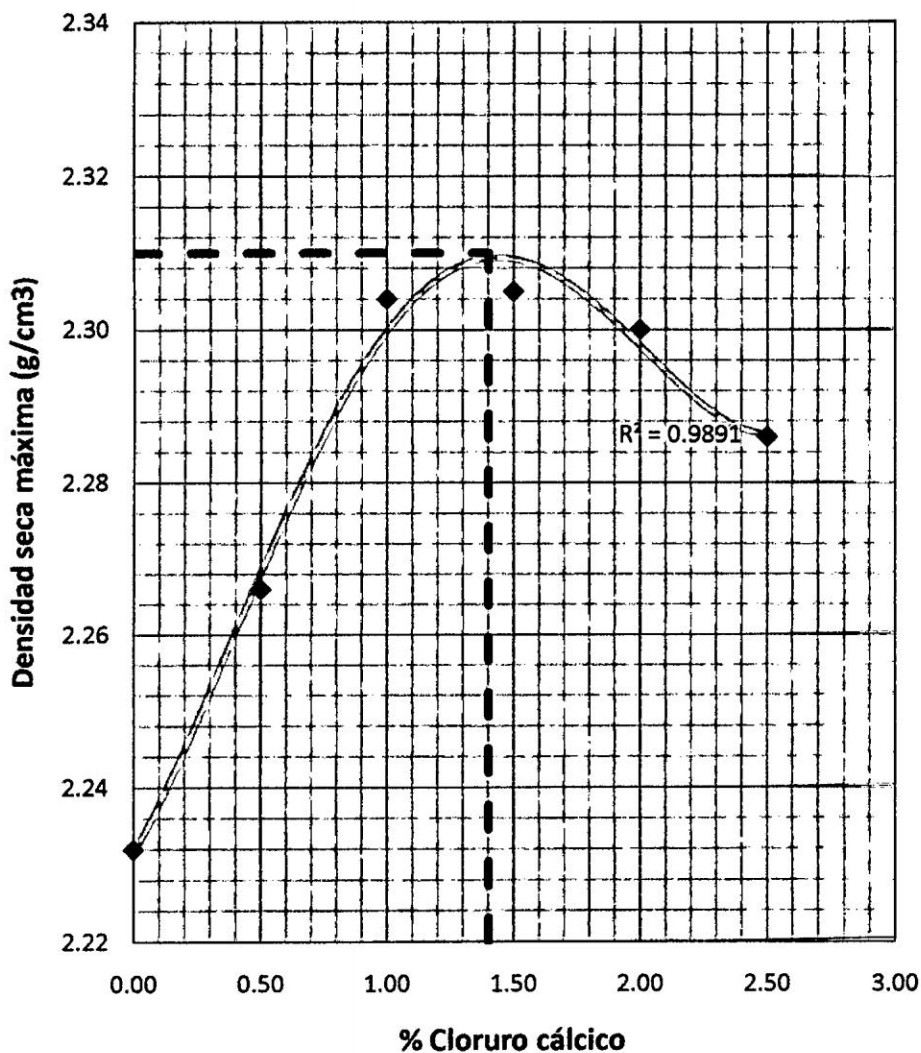
MUESTRA : Material de cantera + CaCl₂

SEGÚN SUCS : GM - GC

SEGÚN AASHTO : A-1-b (0)

DATOS PARA LA CURVA		1	2	3	4	5	6
sayo N°							
Cloruro de calcio		0.00	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50
Densidad máxima seca		2.232	2.266	2.304	2.305	2.300	2.288

Densidad seca máxima - % CaCl₂



DENSIDAD MÁXIMA SECA

$\rho_{m\acute{a}x}$ = 2.31

% CaCl₂ OPTIMO

CaCl_{2opt} = 1.40

Cuadro N°4.24.- Ensayo de Proctor modificado del suelo N°02 sin cloruro de calcio

ANÁLISIS DE EVALUACIÓN DEL EMPLEO DE CLORURO DE CALCIO EN LA ESTABILIZACIÓN DE CARRETERAS NO PAVIMENTADAS,
EN EL TRAMO LLOCHEGUA - PERIAVENTE ALTA, DISTRITO LLOCHEGUA, HUANTA - AYACUCHO

**ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO NORMA ASTM D 1557
(MTC E 115-2000)**

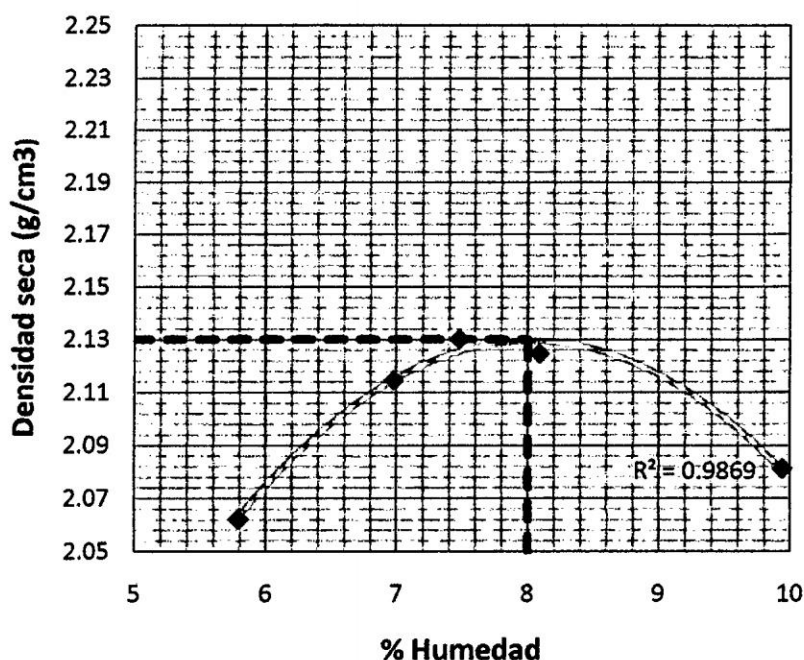
Superficie molde 2,132.71 cm³ MUESTRA : Material granular de cantera sin CaCl₂
Peso molde 2,730.00 g SEGÚN SUCS : GC
MATERIALES PARA LA CURVA SEGÚN AASHTO : A-2-4 (0)

Probeta #		1	2	3	4	5
Peso del molde + suelo húmedo	g	7383.00	7555.00	7613.00	7628.00	7610.00
Peso del suelo húmedo	g	4653.00	4825.00	4883.00	4898.00	4880.00
Humedad calculada (promedio)	%	5.79	6.98	7.48	8.09	9.94
Densidad Húmeda	g/cm ³	2.182	2.262	2.290	2.297	2.288
Densidad seca	g/cm ³	2.062	2.115	2.130	2.125	2.081

CONTENIDOS DE HUMEDAD

Probeta #		1		2		3		4		5	
Recipiente #		3	6	11	14	16	13	5	9	13	18
Peso + suelo húmedo	g	100.42	90.24	99.35	86.56	97.28	102.81	100.08	97.46	96.71	98.50
Peso + suelo seco	g	97.57	87.37	95.53	83.69	93.35	98.94	95.53	93.71	91.88	93.29
Peso del recipiente	g	42.55	42.57	42.31	41.36	43.42	44.34	43.90	42.80	41.38	42.57
Peso del suelo seco	g	55.02	44.80	53.22	42.33	49.93	54.60	51.63	50.91	50.50	50.72
Peso del agua	g	2.85	2.87	3.82	2.87	3.93	3.87	4.55	3.75	4.85	5.21
Contenido de Humedad	%	5.18	6.41	7.18	6.78	7.87	7.09	8.81	7.37	9.60	10.27

Densidad seca - Humedad



DENSIDAD MÁXIMA SECA

$$\rho_{\text{máx}} = 2.130$$

HUMEDAD ÓPTIMA

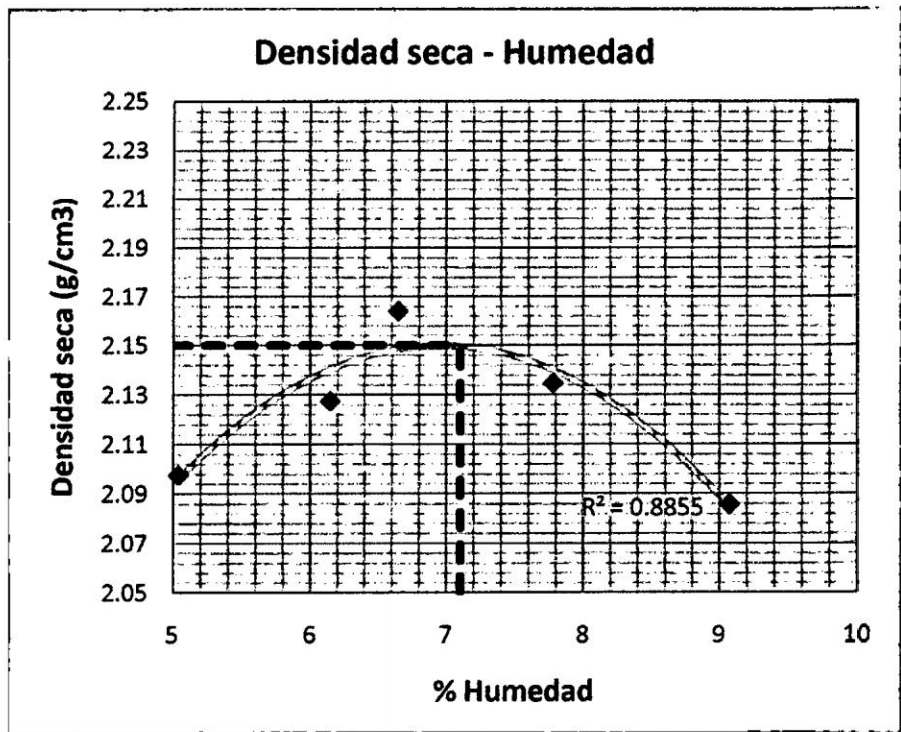
$$h_{\text{opt}} = 8.00$$

Cuadro N°4.25.- Ensayo de Proctor modificado del suelo N°02 con 0,5% cloruro de calcio

TESIS EVALUACIÓN DEL EMPLEO DE CLORURO DE CALCIO EN LA ESTABILIZACIÓN DE CARRETERAS NO PAVIMENTADAS, EN EL TRAMO LLOCHEGUA - PERIAVENTE ALTA, DISTRITO LLOCHEGUA, HUANTA - AYACUCHO

ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO NORMA ASTM D 1557 (MTC E 115-2000)

lumen molde	2,132.71	cm3	MUESTRA	: Material granular de cantera con 0,5% CaCl ₂								
so molde	2,730.00	g	SEGÚN SUCS	: GC								
DATOS PARA LA CURVA			SEGÚN AASHTO	: A-2-4 (0)								
Muestra #			1	2	3	4	5					
peso del molde + suelo húmedo	g		7429.00	7546.00	7652.00	7637.00	7582.00					
peso del suelo húmedo	g		4699.00	4816.00	4922.00	4907.00	4852.00					
humedad calculada (promedio)	%		5.04	6.15	6.64	7.76	8.07					
densidad húmeda	g/cm3		2.203	2.258	2.308	2.301	2.275					
densidad seca	g/cm3		2.098	2.127	2.164	2.135	2.088					
CONTENIDOS DE HUMEDAD												
Muestra #			1	2	3	4	5					
recipiente #			5	11	3	13	17	9	6	18	14	16
peso c + suelo húmedo	g		101.45	98.28	97.42	96.18	91.25	103.54	103.21	101.76	95.24	91.08
peso c + suelo seco	g		99.03	95.27	94.24	93.18	88.42	99.56	98.43	97.85	91.10	86.82
peso del recipiente	g		43.90	42.31	42.55	44.34	43.34	42.80	41.36	43.42	41.36	43.42
peso del suelo seco	g		55.13	52.96	51.69	48.84	45.08	56.76	57.07	54.43	49.74	43.40
peso del agua	g		2.42	3.01	3.18	3.00	2.83	3.98	4.78	3.91	4.14	4.26
contenido de Humedad	%		4.39	5.68	6.15	6.14	6.28	7.01	8.36	7.16	8.32	9.82



DENSIDAD MÁXIMA SECA
P_{máx} = 2.150

HUMEDAD ÓPTIMA
h_{opt} = 7.10

Cuadro N°4.26.- Ensayo de Proctor modificado del suelo N°02 con 1,0% cloruro de calcio

TESIS EVALUACIÓN DEL EMPLEO DE CLORURO DE CALCIO EN LA ESTABILIZACIÓN DE CARRETERAS NO PAVIMENTADAS, EN EL TRAMO LLOCHEGUA - PERIAVENTE ALTA, DISTRITO LLOCHEGUA, HUANTA - AYACUCHO

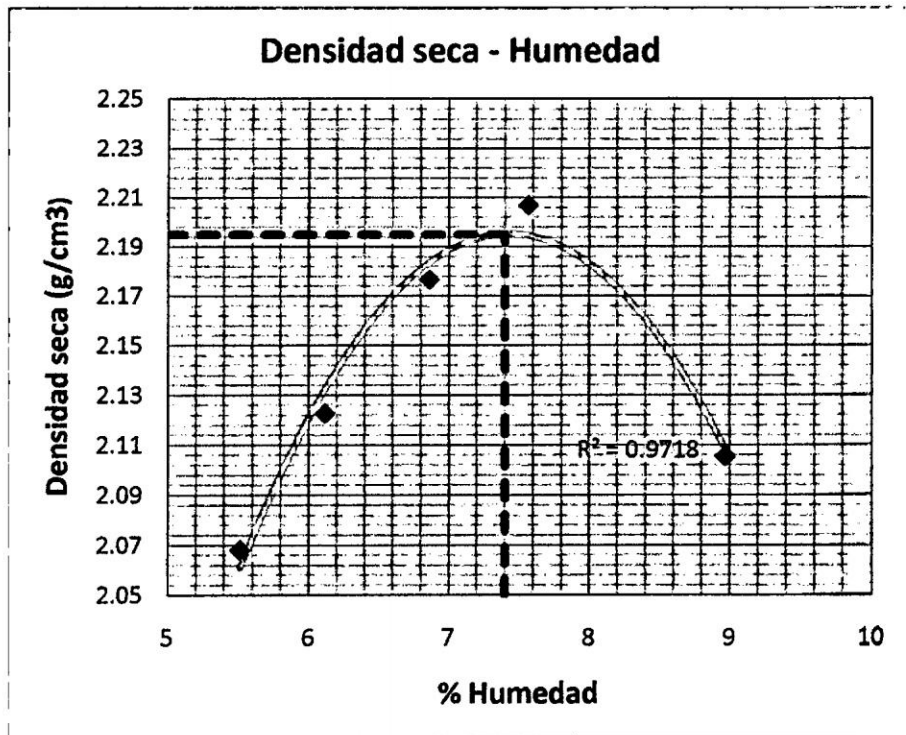
ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO NORMA ASTM D 1557 (MTC E 115-2000)

lumen molde **2,132.71** cm³ MUESTRA : Material granular de cantera con 1,0% CaCl₂
 so molde **2,730.00** g SEGÚN SUCS : GC
 MOTOS PARA LA CURVA SEGÚN AASHTO : A-2-4 (0)

Muestra #		1	2	3	4	5
so del molde + suelo húmedo	g	7384.00	7534.00	7691.00	7793.00	7623.00
so del suelo húmedo	g	4654.00	4804.00	4961.00	5063.00	4993.00
medad calculada (promedio)	%	5.52	6.12	6.86	7.57	8.97
nsidad Húmeda	g/cm ³	2.182	2.253	2.326	2.374	2.294
nsidad seca	g/cm ³	2.068	2.123	2.177	2.207	2.105

CONTENIDOS DE HUMEDAD

Muestra #		1		2		3		4		5	
Recipiente #		14	15	11	18	1	17	13	6	12	16
c + suelo húmedo	g	103.27	95.65	94.39	91.20	99.55	95.37	105.28	100.45	91.05	86.72
c + suelo seco	g	100.05	92.87	91.19	88.61	95.87	92.00	101.30	96.09	87.08	83.26
so del recipiente	g	41.36	42.73	42.57	42.80	42.82	42.34	44.34	42.57	44.15	43.42
so del suelo seco	g	58.69	50.14	48.62	45.81	53.05	49.66	56.96	53.52	42.93	39.84
so del agua	g	3.22	2.78	3.20	2.59	3.68	3.37	3.98	4.36	3.97	3.46
ntenido de Humedad	%	5.49	5.54	6.58	5.65	6.94	6.79	6.99	6.15	9.25	8.68



DENSIDAD MÁXIMA SECA

$\rho_{\text{máx}} = 2.195$

HUMEDAD ÓPTIMA

$h_{\text{opt}} = 7.40$

Cuadro N°4.27.- Ensayo de Proctor modificado del suelo N°02 con 1,5% cloruro de calcio

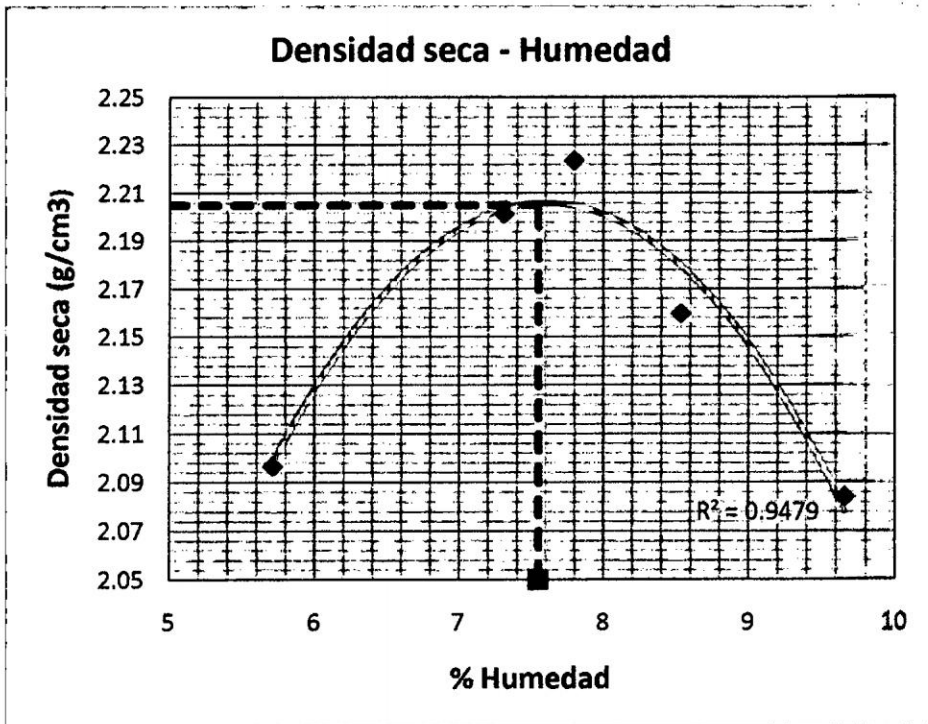
ANÁLISIS DE EVALUACIÓN DEL EMPLEO DE CLORURO DE CALCIO EN LA ESTABILIZACIÓN DE CARRETERAS NO PAVIMENTADAS, EN EL TRAMO LLOCHEGUA - PERIAVENTE ALTA, DISTRITO LLOCHEGUA, HUANTA - AYACUCHO

ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO NORMA ASTM D 1557 (MTC E 115-2000)

lumen molde **2,132.71** cm³ MUESTRA : Material granular de cantera con 1,5% CaCl₂
 so molde **2,730.00** g SEGÚN SUCS : GC
CONDICIONES PARA LA CURVA SEGÚN AASHTO : A-2-4 (0)

Muestra #		1	2	3	4	5
peso del molde + suelo húmedo	g	7457.00	7768.00	7842.00	7729.00	7804.00
peso del suelo húmedo	g	4727.00	5038.00	5112.00	4999.00	4874.00
humedad calculada (promedio)	%	5.71	7.31	7.80	8.54	9.66
densidad húmeda	g/cm ³	2.216	2.362	2.397	2.344	2.285
densidad seca	g/cm ³	2.097	2.201	2.224	2.160	2.084

Muestra #		1		2		3		4		5	
capacitante #		4	2	13	18	11	9	5	3	14	16
peso c + suelo húmedo	g	108.35	101.02	99.87	95.43	90.13	93.50	92.81	95.23	95.14	99.71
peso c + suelo seco	g	105.11	97.64	96.00	91.91	86.73	89.77	89.25	90.78	90.40	94.75
peso del recipiente	g	42.15	43.84	44.34	42.57	42.31	42.80	43.90	42.55	41.36	43.42
peso del suelo seco	g	62.96	53.80	51.66	49.34	44.42	46.97	45.35	48.23	49.04	51.33
peso del agua	g	3.24	3.38	3.87	3.52	3.40	3.73	3.56	4.45	4.74	4.96
contenido de Humedad	%	5.15	6.28	7.49	7.13	7.65	7.94	7.85	9.23	9.67	9.66



DENSIDAD MÁXIMA SECA
 $\rho_{m\acute{a}x} = 2.205$

HUMEDAD ÓPTIMA
 $h_{opt} = 7.55$

Cuadro N°4.28.- Ensayo de Proctor modificado del suelo N°02 con 2,0% cloruro de calcio

TESIS EVALUACIÓN DEL EMPLEO DE CLORURO DE CALCIO EN LA ESTABILIZACIÓN DE CARRETERAS NO PAVIMENTADAS, EN EL TRAMO LLOCHEGUA - PERIAVENTE ALTA, DISTRITO LLOCHEGUA, HUANTA - AYACUCHO

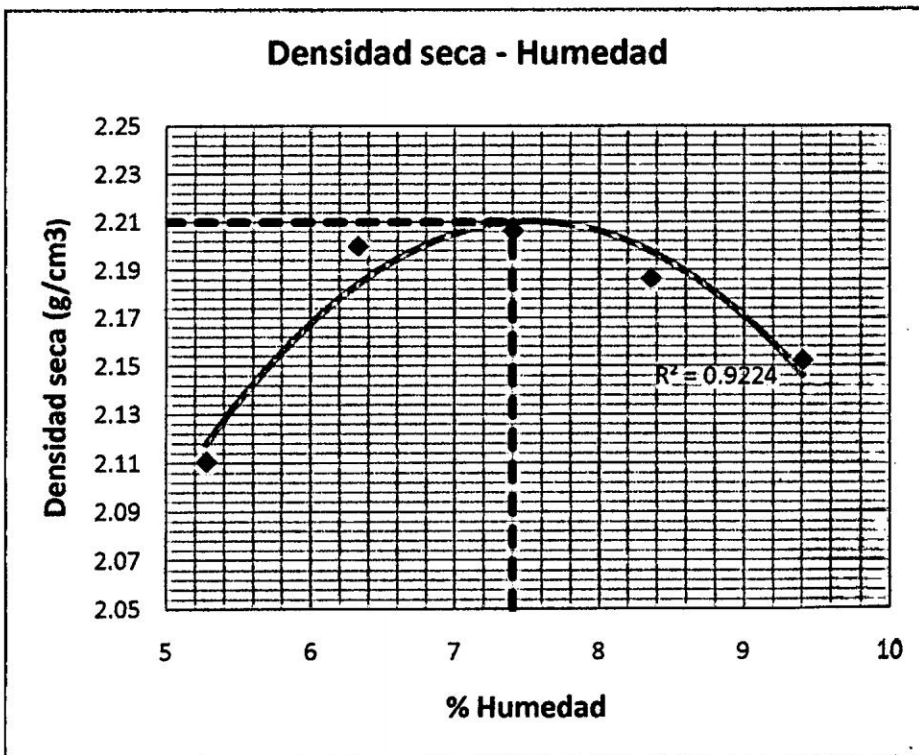
ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO NORMA ASTM D 1557 (MTC E 115-2000)

lumen molde **2,132.71** cm³ MUESTRA : Material granular de cantera con 2,0% CaCl₂
 so molde **2,730.00** g , SEGÚN SUCS : GC
 TOS PARA LA CURVA SEGÚN AASHTO : A-2-4 (0)

uestra #		1	2	3	4	5
so del molde + suelo húmedo	g	7469.00	7719.00	7784.00	7783.00	7752.00
so del suelo húmedo	g	4739.00	4989.00	5054.00	5053.00	5022.00
medad calculada (promedio)	%	5.28	6.33	7.40	8.36	9.41
nsidad Húmeda	g/cm ³	2.222	2.339	2.370	2.369	2.355
nsidad seca	g/cm ³	2.111	2.200	2.206	2.186	2.152

CONTENIDOS DE HUMEDAD

uestra #		1		2		3		4		5	
ipiente #		6	3	4	17	9	16	5	11	13	14
c + suelo húmedo	g	98.26	92.73	102.33	100.84	98.31	102.40	104.26	99.80	92.40	101.14
c + suelo seco	g	95.24	90.42	98.86	97.25	94.43	98.39	99.65	95.32	88.34	95.91
so del recipiente	g	42.57	42.55	42.15	42.34	42.80	43.42	43.90	42.31	44.34	41.36
so del suelo seco	g	52.67	47.87	56.71	54.91	51.63	54.97	55.75	53.01	44.00	54.55
so del agua	g	3.02	2.31	3.47	3.59	3.88	4.01	4.61	4.48	4.06	5.23
ntenido de Humedad	%	5.73	4.83	6.12	6.54	7.52	7.29	8.27	8.45	9.23	9.59



DENSIDAD MÁXIMA SECA
 $\rho_{máx} = 2.210$

HUMEDAD ÓPTIMA
 $h_{opt} = 7.40$

Cuadro N°4.29.- Ensayo de Proctor modificado del suelo N°02 con 2,5% cloruro de calcio

TESIS EVALUACIÓN DEL EMPLEO DE CLORURO DE CALCIO EN LA ESTABILIZACIÓN DE CARRETERAS NO PAVIMENTADAS,
EN EL TRAMO LLOCHEGUA - PERIAVENTE ALTA, DISTRITO LLOCHEGUA, HUANTA - AYACUCHO^D

**ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO NORMA ASTM D 1557
(MTC E 115-2000)**

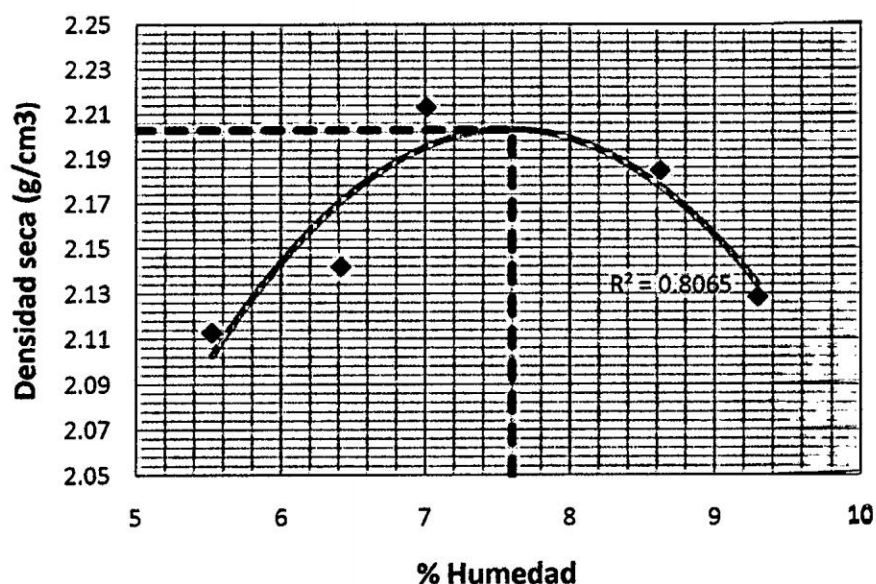
lumen molde 2,132.71 cm³ MUESTRA : Material granular de cantera con 2,5% CaCl₂
so molde 2,730.00 g SEGÚN SUCS : GC
MÉTODOS PARA LA CURVA SEGÚN AASHTO : A-2-4 (0)

Muestra #		1	2	3	4	5
peso del molde + suelo húmedo	g	7485.00	7591.00	7781.00	7791.00	7691.00
peso del suelo húmedo	g	4755.00	4861.00	5051.00	5061.00	4861.00
humedad calculada (promedio)	%	5.53	6.42	7.01	8.62	9.30
densidad húmeda	g/cm ³	2.230	2.279	2.368	2.373	2.326
densidad seca	g/cm ³	2.113	2.142	2.213	2.185	2.128

CONTENIDOS DE HUMEDAD

Muestra #		1		2		3		4		5	
recipiente #		5	6	3	11	17	14	18	9	16	13
peso c + suelo húmedo	g	101.84	96.45	103.82	107.60	99.72	92.48	100.13	96.18	94.18	97.27
peso c + suelo seco	g	98.73	93.70	100.29	103.49	95.93	89.22	95.53	91.97	90.42	92.20
peso del recipiente	g	43.90	42.57	42.55	42.31	43.34	41.36	42.57	42.80	43.42	44.34
peso del suelo seco	g	54.83	51.13	57.74	61.18	52.59	47.86	52.96	49.17	47.00	47.86
peso del agua	g	3.11	2.75	3.53	4.11	3.79	3.28	4.60	4.21	3.78	5.07
contenido de Humedad	%	5.67	5.38	6.11	6.72	7.21	6.81	8.69	8.56	8.00	10.59

Densidad seca - Humedad



DENSIDAD MÁXIMA SECA

$$\rho_{\text{máx}} = 2.203$$

HUMEDAD ÓPTIMA

$$h_{\text{opt}} = 7.60$$

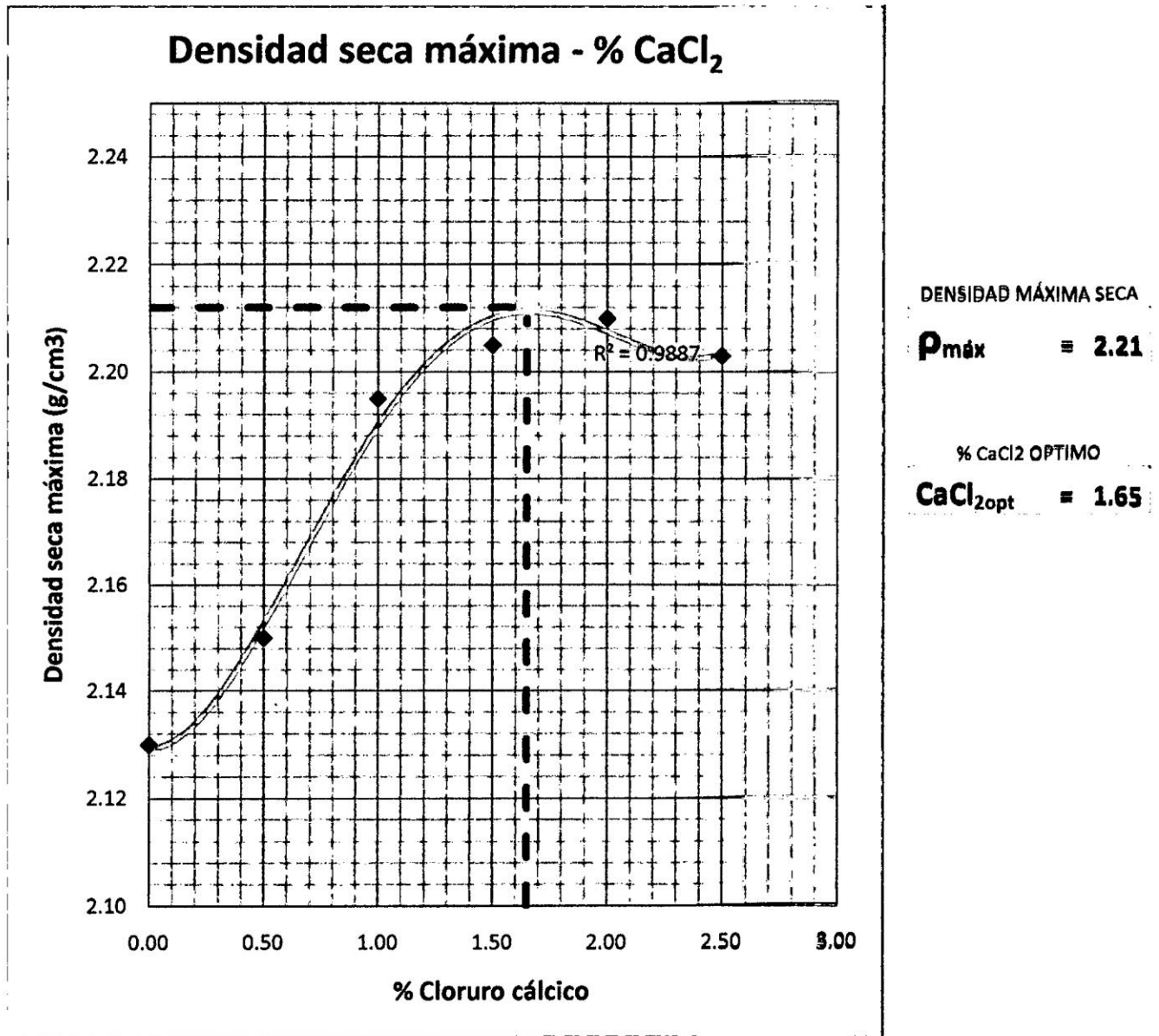
Cuadro N°4.30.- Variación de la densidad máxima seca suelo N°02 al adicionar CaCl₂

ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL EMPLEO DE CLORURO DE CALCIO EN LA ESTABILIZACIÓN DE CARRETERAS NO PAVIMENTADAS, EN EL TRAMO LLOCHEGUA - PERIAVENTE ALTA, DISTRITO LLOCHEGUA, HUANTA - AYACUCHO

ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO NORMA ASTM D 1557 (MTC E 115-2000)

MUESTRA : Material granular de cantera + CaCl₂
 SEGÚN SUCS : GC
 SEGÚN AASHTO : A-2-4 (0)

DATOS PARA LA CURVA		1	2	3	4	5	6
sayo N°							
Cloruro de calcio		0.00	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50
Densidad máxima seca		2.130	2.150	2.195	2.205	2.210	2.203



4.5.-RESULTADOS ENSAYO CALIFORNIA RATIO BEARING (C.B.R.)

Cuadro N°4.31.- Ensayo de C.B.R. suelo N°01 sin adición de cloruro de calcio

SIS EVALUACIÓN DEL EMPLEO DE CLORURO DE CALCIO EN LA ESTABILIZACIÓN DE CARRETERAS NO PAVIMENTADAS, EN EL TRAMO LLOCHEGUA - PERIAVENTE ALTA, DISTRITO LLOCHEGUA, HUANTA - AYACUCHO

CIÓN : MATERIAL DE CANTERA + 0,0% CaCl₂ MATERIAL : CANTERA 01+100

CBR DE SUELOS EN LABORATORIO ASTM D 1883 (MTC E 132 - 2000)

Nº	2	5	6
AS	5	5	5
POR CAPA	56	25	10
CIÓN DE MUESTRA	Saturado	Saturado	Saturado
OLDE + SUELO HUMEDO	12,825.00	12,736.00	12,385.00
OLDE (g)	7,743.10	7,842.10	7,783.10
IELO HÚMEDO (g)	5,081.90	4,893.90	4,601.90
EN DE MOLDE (cm ³)	2,108.55	2,111.32	2,102.24
AD HÚMEDA (g/cm ³)	2.41	2.32	2.19
AD SECA (g/cm ³)	2.24	2.16	2.04
vº	51	3	51
SUELO HÚMEDO (g)	96.36	96.01	96.36
SUELO SECO (g)	92.99	92.40	92.99
(g)	3.37	3.61	3.37
ORRO (g)	48.33	42.30	48.33
IELO SECO (g)	44.66	50.10	44.66
EDAD	7.55	7.21	7.55
CO HUMEDAD	7.38	7.38	7.38

EXPANSIÓN

IA	HORA	TIEMPO (horas)	DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN	
				mm	%		mm	%		mm	%
2012	04:30 p.m.	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2012	04:30 p.m.	24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2012	04:30 p.m.	48	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2012	04:30 p.m.	72	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2012	04:30 p.m.	96	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

PENETRACIÓN

TRACCIÓN	CARGA ESTANDAR	MOLDE N° 01				MOLDE N° 02				MOLDE N° 03			
		CARGA		CORRECCIÓN		CARGA		CORRECCIÓN		CARGA		CORRECCIÓN	
		Lec (Di)	lb	lb/pulg ²	CBR (%)	Lec (Di)	lb	lb/pulg ²	CBR (%)	Lec (Di)	lb	lb/pulg ²	CBR (%)
0.000	0	0	0		0	0	0		0	0	0		
0.025	25	239	80		18	179	60		4	59	20		
0.050	80	709	236		53	478	159		10	111	37		
0.075	118	1033	344		83	734	245		36	333	111		
0.100	1000	177	1538	513	51.25	138	1204	401	40.14	90	794	265	26.47
0.150	285	2460	820		210	1820	607		139	1213	404		
0.200	1500	370	3187	1062	70.82	327	2819	940	62.65	166	1444	481	32.08
0.250	425	3657	1219		394	3392	1131		194	1683	561		
0.300	524	4503	1501		480	4127	1376		218	1888	629		

Cuadro N°4.32.- Ensayo de C.B.R. suelo N°01 sin adición de cloruro de calcio

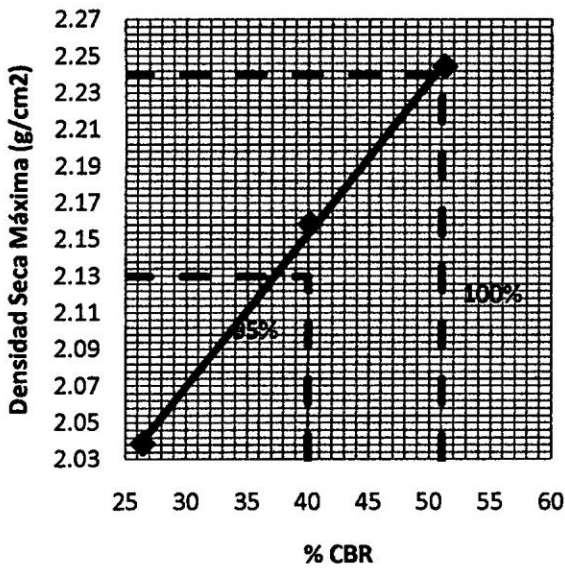
TESIS EVALUACIÓN DEL EMPLEO DE CLORURO DE CALCIO EN LA ESTABILIZACIÓN DE CARRETERAS NO PAVIMENTADAS, EN EL TRAMO LLOCHEGUA - PERIAVENTE ALTA, DISTRITO LLOCHEGUA, HUANTA - AYACUCHO

DESCRIPCIÓN : MATERIAL DE CANTERA + 0,0% CaCl₂

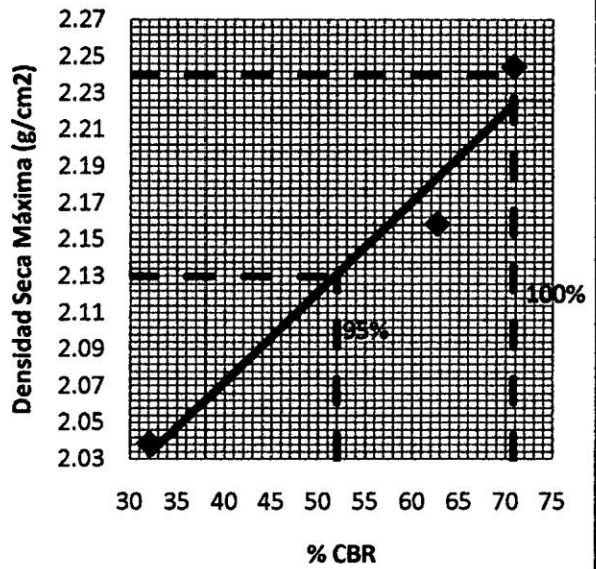
MATERIAL : CANTERA 01+100

**CBR DE SUELOS EN LABORATORIO
ASTM D 1883 (MTC E 132 - 2000)**

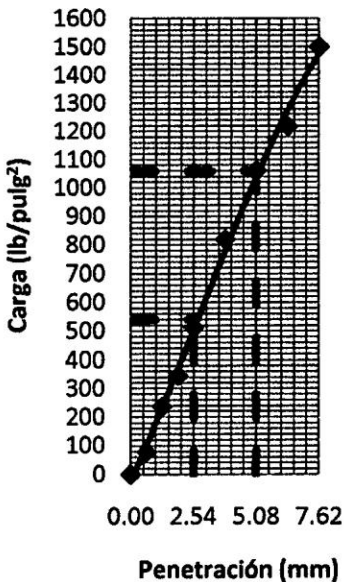
Densidad seca máxima - C.B.R.
Para 0.1"



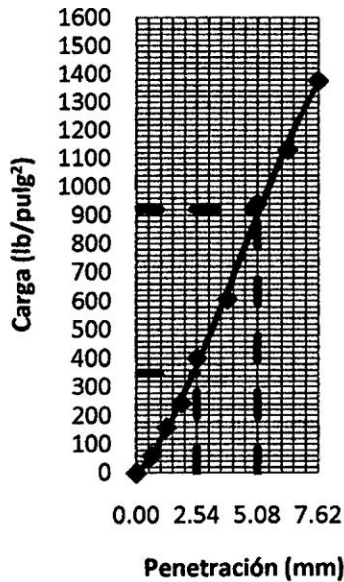
Densidad seca máxima - C.B.R.
Para 0.2"



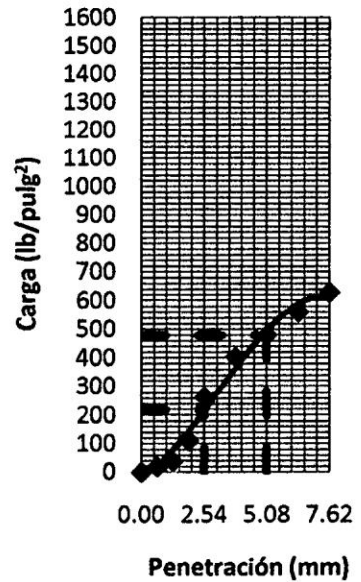
Carga - Penetración
(56 golpes/capa)



Carga - Penetración
(25 golpes/capa)



Carga - Penetración
(10 golpes/capa)



Cuadro N°4.33.- Ensayo de C.B.R. suelo N°01 con adición de 1,5% cloruro de calcio

**ESIS EVALUACIÓN DEL EMPLEO DE CLORURO DE CALCIO EN LA ESTABILIZACIÓN DE CARRETERAS NO PAVIMENTADAS,
EN EL TRAMO LLOCHEGUA - PERIAVENTE ALTA, DISTRITO LLOCHEGUA, HUANTA - AYACUCHO**

CIÓN : MATERIAL DE CANTERA + 1,5% CaCl₂ MATERIAL : CANTERA 01+100

**CBR DE SUELOS EN LABORATORIO
ASTM D 1883 (MTC E 132 - 2000)**

Nº	7	8	9				
IS	5	5	5				
POR CAPA	56	25	10				
CIÓN DE MUESTRA	Saturado	Saturado	Saturado				
MOLDE + SUELO HUMEDO	12,914.00	12,779.00	12,550.00				
MOLDE (g)	7,777.20	7,883.40	7,864.90				
MOLE HUMEDO (g)	5,136.80	4,895.60	4,685.10				
VOLUMEN DE MOLDE (cm3)	2,107.77	2,102.24	2,099.47				
DENSIDAD HUMEDA (g/cm3)	2.44	2.33	2.23				
DENSIDAD SECA (g/cm3)	2.30	2.20	2.11				
IP	75	9	75	9	75	9	
MOLE HUMEDO (g)	96.77	87.81	96.77	87.81	96.77	87.81	
MOLE SECO (g)	94.04	85.33	94.04	85.33	94.04	85.33	
	(g)	2.73	2.48	2.73	2.48	2.73	2.48
PESO (g)	49.28	42.66	49.28	42.66	49.28	42.66	
MOLE SECO (g)	44.76	42.67	44.76	42.67	44.76	42.67	
MOLE DAD	6.10	5.81	6.10	5.81	6.10	5.81	
MOLE HUMEDAD	5.96	5.96	5.96	5.96	5.96	5.96	

EXPANSIÓN

A	HORA	TIEMPO (horas)	DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN	
				mm	%		mm	%		mm	%
2012	04:30 p.m.	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2012	04:30 p.m.	24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2012	04:30 p.m.	48	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2012	04:30 p.m.	72	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2012	04:30 p.m.	96	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

PENETRACIÓN

PENETRACIÓN	CARGA ESTANDAR	MOLDE N° 01				MOLDE N° 02				MOLDE N° 03			
		CARGA		CORRECCIÓN		CARGA		CORRECCIÓN		CARGA		CORRECCIÓN	
pulg	lb/pulg2	Lec (Di)	lb	lb/pulg2	CBR (%)	Lec (Di)	lb	lb/pulg2	CBR (%)	Lec (Di)	lb	lb/pulg2	CBR (%)
0.000		0	0	0		0	0	0		0	0	0	
0.025		12	128	43		11	119	40		10	111	37	
0.050		52	469	156		32	299	100		30	281	94	
0.075		98	863	288		72	640	219		62	811	270	
0.100	1000	206	1785	595	59.51	142	1239	413	41.28	110	965	322	32.17
0.150		308	2657	886		260	2247	749		160	1392	464	
0.200	1500	440	3785	1262	84.11	335	2888	963	64.17	200	1734	578	38.54
0.250		560	4810	1603		403	3469	1156		229	1982	661	
0.300		680	5836	1945		465	3999	1333		258	2230	743	

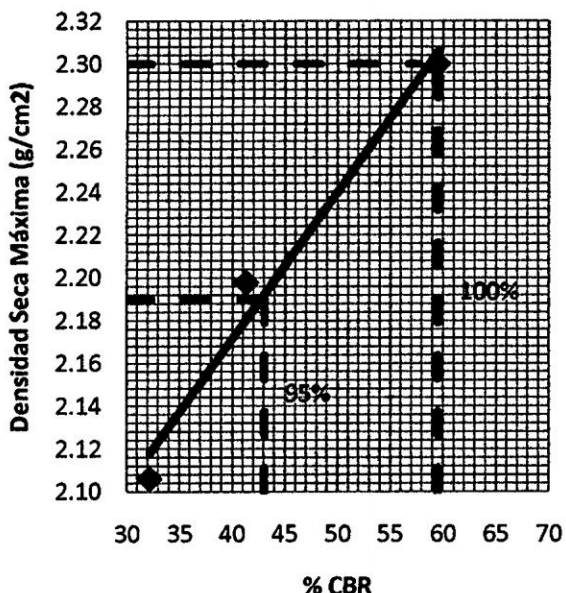
Cuadro N°4.34.- Ensayo de C.B.R. suelo N°01 con adición de 1,5% cloruro de calcio

TESIS EVALUACIÓN DEL EMPLEO DE CLORURO DE CALCIO EN LA ESTABILIZACIÓN DE CARRETERAS NO PAVIMENTADAS, EN EL TRAMO LLOCHEGUA - PERIAVENTE ALTA, DISTRITO LLOCHEGUA, HUANTA - AYACUCHO

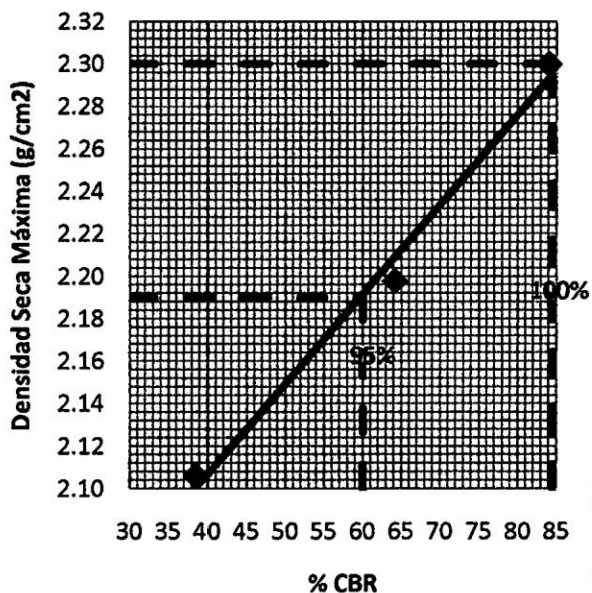
ESCRIPCIÓN : MATERIAL DE CANTERA + 1,5% CaCl₂ MATERIAL : CANTERA 01+100

**CBR DE SUELOS EN LABORATORIO
ASTM D 1883 (MTC E 132 - 2000)**

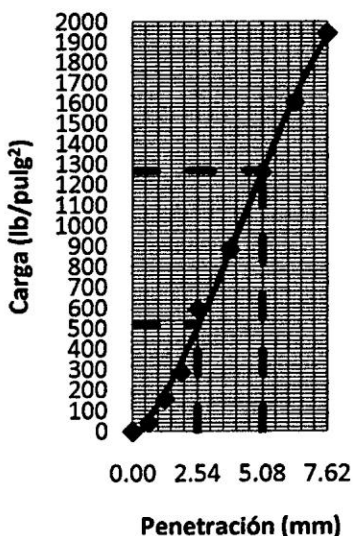
Densidad seca máxima - C.B.R.
Para 0.1"



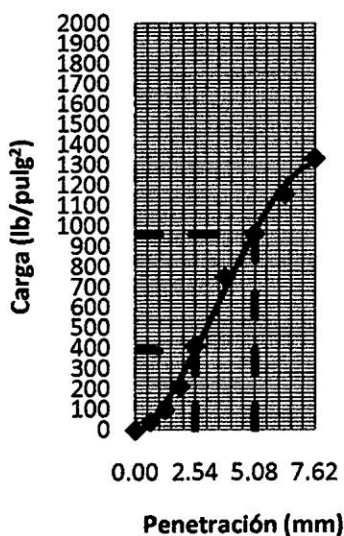
Densidad seca máxima - C.B.R.
Para 0.2"



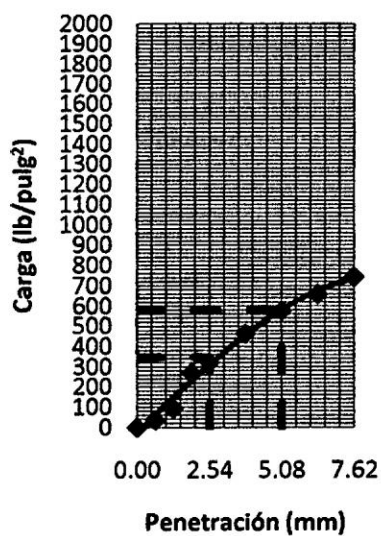
Carga - Penetración
(56 golpes/capa)



Carga - Penetración
(25 golpes/capa)



Carga - Penetración
(10 golpes/capa)



Cuadro N°4.35.- Variación del CBR en suelo N°01 con la adición de cloruro de calcio

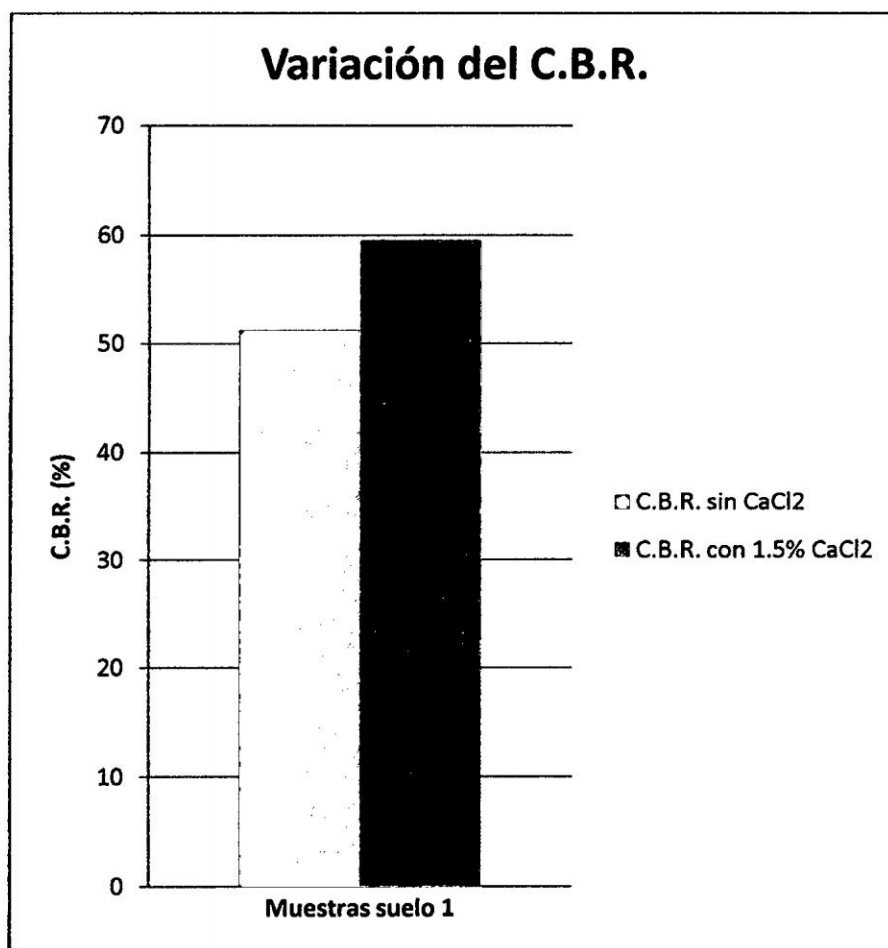
**TESIS EVALUACIÓN DEL EMPLEO DE CLORURO DE CALCIO EN LA ESTABILIZACIÓN DE CARRETERAS NO PAVIMENTADAS,
EN EL TRAMO LLOCHEGUA - PERIAVENTE ALTA, DISTRITO LLOCHEGUA, HUANTA - AYACUCHO**

LICITANTE : BACH. GLICERIO AGUILAR LONASCO
DESCRIPCIÓN : MATERIAL GRANULAR DE CANTERA SIN Y CON 1,5% CaCl₂
MATERIAL : CANTERA PROGRESIVA 01+100
FECHA : NOVIEMBRE 2012

**CBR DE SUELOS EN LABORATORIO
ASTM D 1883 (MTC E 132 - 2000)**

CBR sin CaCl ₂	51.25
CBR con 1,5% CaCl ₂	59.51

Incremento del C.B.R. (%)	16.12
---------------------------	-------



Cuadro N°4.36.- Ensayo de C.B.R. suelo N°02 sin adición de cloruro de calcio

TESIS EVALUACIÓN DEL EMPLEO DE CLORURO DE CALCIO EN LA ESTABILIZACIÓN DE CARRETERAS NO PAVIMENTADAS, EN EL TRAMO LLOCHEGUA - PERIAVENTE ALTA, DISTRITO LLOCHEGUA, HUANTA - AYACUCHO						
PROBACIÓN : MATERIAL DE CANTERA + 0,0% CaCl ₂			MATERIAL : CANTERA 03+500			
CBR DE SUELOS EN LABORATORIO ASTM D 1883 (MTC E 132 - 2000)						
Nº	2		5		6	
VS	5		5		5	
POR CAPA	56		25		10	
TIPO DE MUESTRA	Saturado		Saturado		Saturado	
MOLEDA + SUELO HUMEDO	12,759.00		12,574.00		12,311.00	
MOLEDA (g)	7,743.10		7,842.10		7,783.02	
MOLEDA HUMEDA (g)	5,015.90		4,731.90		4,527.98	
VOLUMEN DE MOLDE (cm ³)	2,108.55		2,111.32		2,102.24	
MOLEDA HUMEDA (g/cm ³)	2.38		2.24		2.15	
MOLEDA SECA (g/cm ³)	2.21		2.08		2.00	
Nº	3	51	3	51	3	51
MOLEDA SUELO HUMEDO (g)	104.21	98.78	104.21	98.78	104.21	98.78
MOLEDA SUELO SECO (g)	99.67	95.20	99.67	95.20	99.67	95.20
MOLEDA (g)	4.54	3.58	4.54	3.58	4.54	3.58
MOLEDA (g)	42.30	48.33	42.30	48.33	42.30	48.33
MOLEDA SECO (g)	57.37	46.87	57.37	46.87	57.37	46.87
MOLEDA	7.91	7.64	7.91	7.64	7.91	7.64
MOLEDA HUMEDAD	7.78		7.78		7.78	

EXPANSIÓN

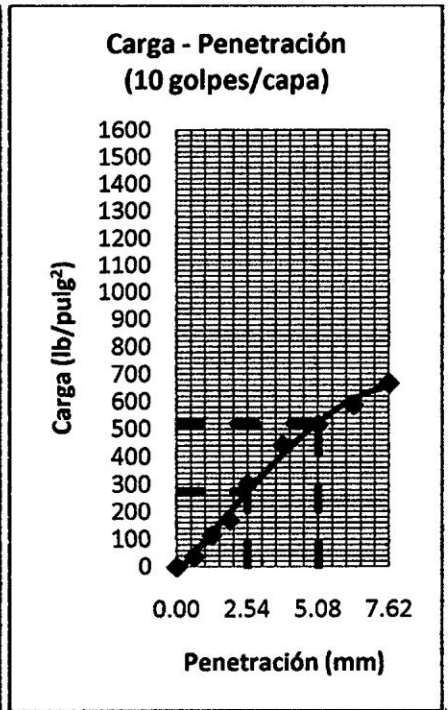
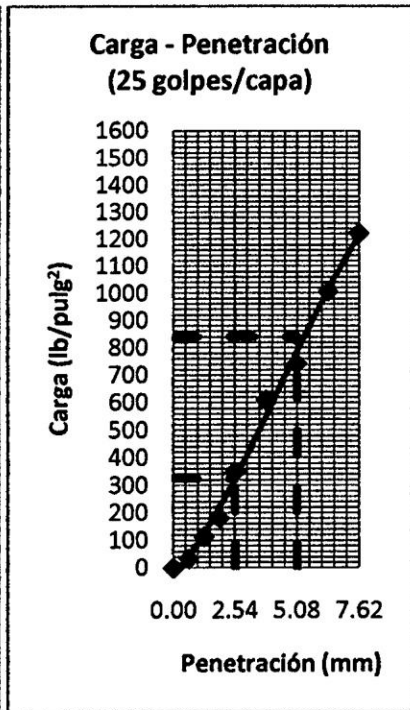
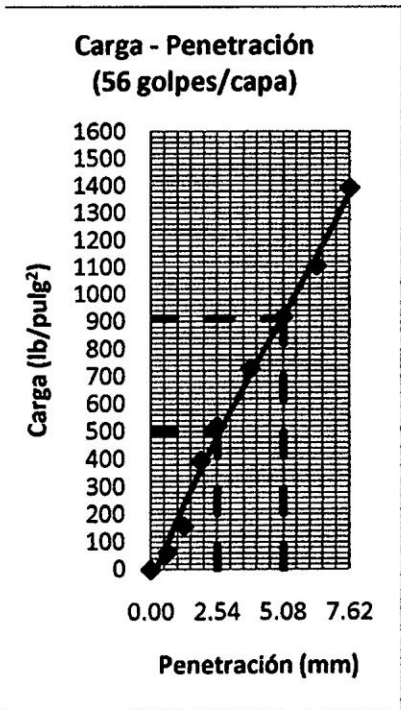
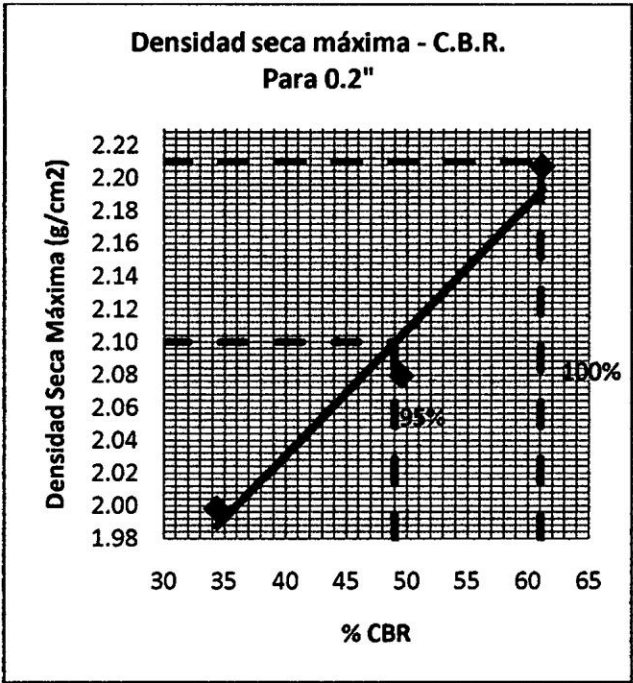
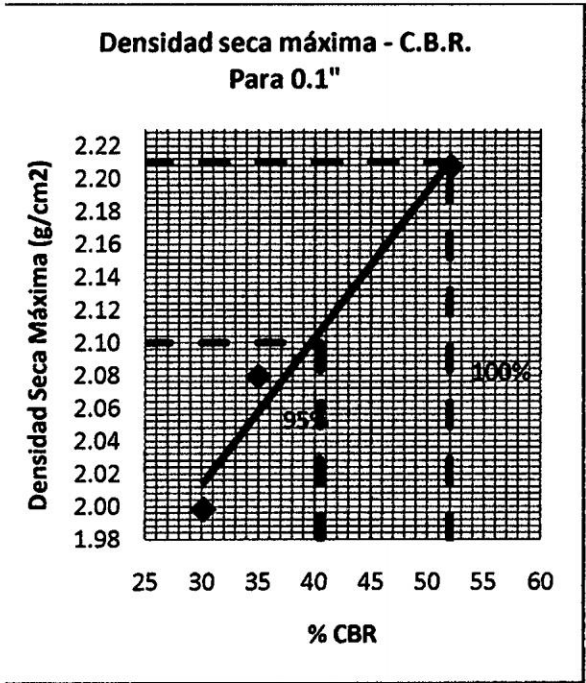
HA	HORA	TIEMPO (horas)	DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN	
				mm	%		mm	%		mm	%
1/2012	04:30 p.m.	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1/2012	04:30 p.m.	24	2.80	0.03	0.02	4.60	0.05	0.04	8.40	0.05	0.02
1/2012	04:30 p.m.	48	12.60	0.13	0.10	15.40	0.15	0.12	26.80	0.27	0.02
1/2012	04:30 p.m.	72	25.10	0.25	0.20	31.50	0.32	0.25	69.50	0.70	0.05
1/2012	04:30 p.m.	96	38.40	0.38	0.30	53.80	0.54	0.42	137.60	1.38	1.00

PENETRACIÓN

CARGA ESTANDAR	MOLDE N° 01				MOLDE N° 02				MOLDE N° 03				
	CARGA		CORRECCIÓN		CARGA		CORRECCIÓN		CARGA		CORRECCIÓN		
kg	lb/pulg ²	Lec (Di)	lb	lb/pulg ²	CBR (%)	Lec (Di)	lb	lb/pulg ²	CBR (%)	Lec (Di)	lb	lb/pulg ²	CBR (%)
100		0	0	0		0	0	0		0	0	0	
125		19	187	62		9	102	34		10	111	37	
150		52	469	156		37	341	114		37	341	114	
175		135	1179	393		61	546	182		56	504	168	
100	1000	180	1563	521	52.11	120	1051	350	35.02	103	905	302	30.18
150		253	2187	729		211	1828	609		152	1324	441	
200	1500	319	2751	917	61.13	258	2230	749	49.55	178	1546	515	34.36
250		385	3315	1105		350	3016	1005		203	1760	587	
300		486	4178	1393		426	3665	1222		231	1999	666	

Cuadro N°4.37.- Ensayo de C.B.R. suelo N°02 sin adición de cloruro de calcio

TESIS EVALUACIÓN DEL EMPLEO DE CLORURO DE CALCIO EN LA ESTABILIZACIÓN DE CARRETERAS NO PAVIMENTADAS,	
EN EL TRAMO LLOCHEGUA - PERIAVENTE ALTA, DISTRITO LLOCHEGUA, HUANTA - AYACUCHO	
SCRIPCIÓN : MATERIAL DE CANTERA + 0,0% CaCl ₂	MATERIAL : CANTERA 03+500
CBR DE SUELOS EN LABORATORIO	
ASTM D 1883 (MTC E 132 - 2000)	



Cuadro N°4.38.- Ensayo de C.B.R. suelo N°02 con adición de 1,7% cloruro de calcio

TESIS EVALUACIÓN DEL EMPLEO DE CLORURO DE CALCIO EN LA ESTABILIZACIÓN DE CARRETERAS NO PAVIMENTADAS, EN EL TRAMO LLOCHEGUA - PERIAVENTE ALTA, DISTRITO LLOCHEGUA, HUANTA - AYACUCHO						
DESCRIPCIÓN			MATERIAL : CANTERA 03+500			
MATERIAL DE CANTERA + 1,7% CaCl2						
CBR DE SUELOS EN LABORATORIO ASTM D 1883 (MTC E 132 - 2000)						
MOLDE Nº	2		5		6	
CAPAS	5		5		5	
ESPESES POR CAPA	56		25		10	
CONDICIÓN DE MUESTRA	Saturado		Saturado		Saturado	
PESO MOLDE + SUELO HUMEDO	12,848.00		12,694.00		12,419.00	
PESO MOLDE (g)	7,743.10		7,842.10		7,783.02	
PESO SUELO HÚMEDO (g)	5,104.90		4,851.90		4,635.98	
VOLUMEN DE MOLDE (cm3)	2,108.55		2,111.32		2,102.24	
GRADUACIÓN HÚMEDA (g/cm3)	2.42		2.30		2.21	
GRADUACIÓN SECA (g/cm3)	2.27		2.16		2.07	
PROBETAS Nº	3	51	3	51	3	51
PESO + SUELO HÚMEDO (g)	99.37	103.82	99.37	103.82	99.37	103.82
PESO + SUELO SECO (g)	96.12	100.17	96.12	100.17	96.12	100.17
GRASA (g)	3.25	3.65	3.25	3.65	3.25	3.65
PESO TARRO (g)	42.30	48.33	42.30	48.33	42.30	48.33
PESO SUELO SECO (g)	53.82	51.84	53.82	51.84	53.82	51.84
GRADUACIÓN HUMEDAD	6.04	7.04	6.04	7.04	6.04	7.04
GRADUACIÓN MEDIO HUMEDAD	6.54		6.54		6.54	

EXPANSIÓN

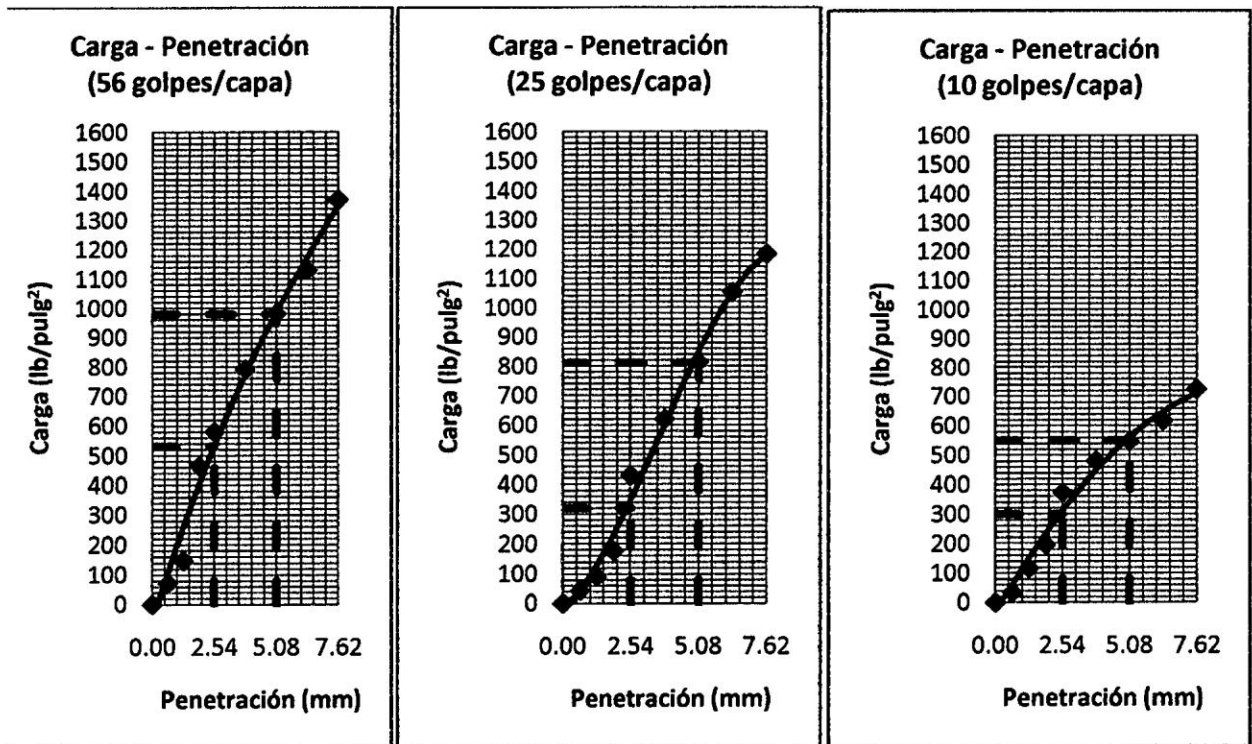
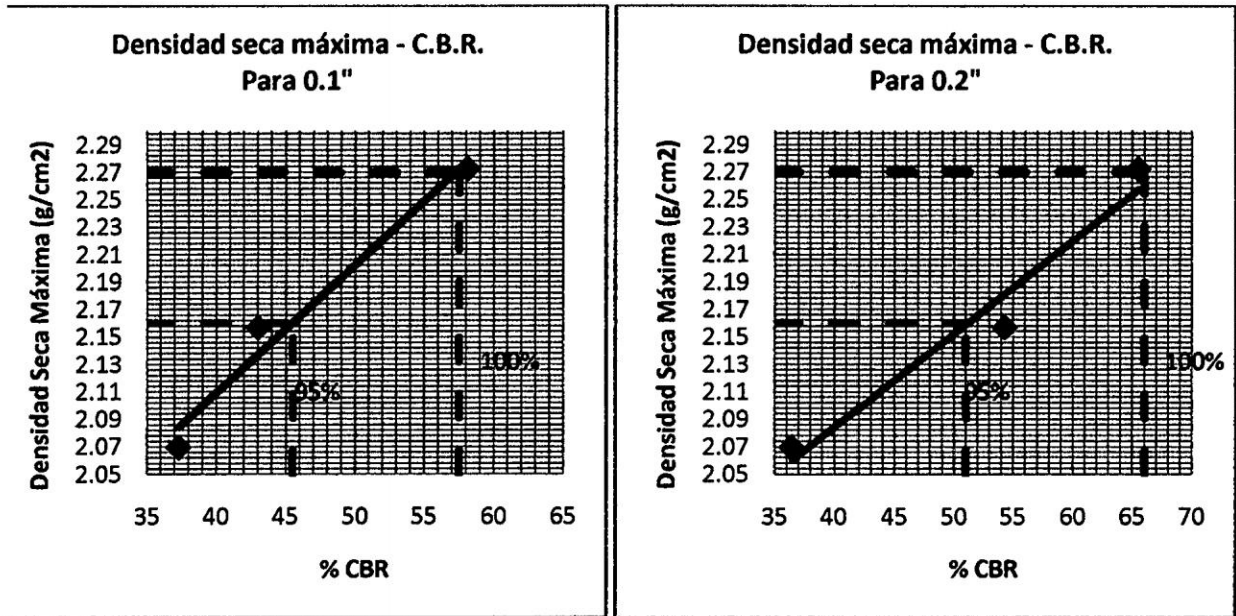
FECHA	HORA	TIEMPO (horas)	DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN	
				mm	%		mm	%		mm	%
11/11/2012	04:30 p.m.	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11/11/2012	04:30 p.m.	24	4.50	0.05	0.04	6.10	0.06	0.05	6.10	0.06	0.05
11/11/2012	04:30 p.m.	48	8.90	0.09	0.07	20.30	0.20	0.16	17.40	0.17	0.14
11/11/2012	04:30 p.m.	72	16.20	0.16	0.13	40.80	0.41	0.32	33.90	0.34	0.27
11/11/2012	04:30 p.m.	96	24.30	0.24	0.19	55.40	0.55	0.44	86.70	0.87	0.68

PENETRACIÓN

PENETRACIÓN	CARGA ESTANDAR	MOLDE Nº 01				MOLDE Nº 02				MOLDE Nº 03			
		CARGA		CORRECCIÓN		CARGA		CORRECCIÓN		CARGA		CORRECCIÓN	
pulg	lb/pulg2	Lec (Di)	lb	lb/pulg2	CBR (%)	Lec (Di)	lb	lb/pulg2	CBR (%)	Lec (Di)	lb	lb/pulg2	CBR (%)
0.000		0	0	0		0	0	0		0	0	0	
0.025		22	213	71		12	128	43		9	102	34	
0.050		49	444	148		29	273	91		38	350	117	
0.075		160	1392	464		59	529	176		66	589	196	
0.100	1000	201	1743	581	58.09	148	1290	430	42.99	128	1119	373	37.30
0.150		275	2375	792		215	1862	621		166	1444	481	
0.200	1500	342	2948	983	65.50	283	2443	814	54.30	189	1640	547	36.45
0.250		394	3392	1131		367	3161	1054		214	1854	618	
0.300		479	4118	1373		413	3554	1185		252	2178	726	

Cuadro N°4.39.- Ensayo de C.B.R. suelo N°02 con adición de 1,7% cloruro de calcio

TESIS EVALUACIÓN DEL EMPLEO DE CLORURO DE CALCIO EN LA ESTABILIZACIÓN DE CARRETERAS NOPAVIMENTADAS,	
EN EL TRAMO LLOCHEGUA - PERIAVENTE ALTA, DISTRITO LLOCHEGUA, HUANTA - AYACUCHO	
DESCRIPCIÓN : MATERIAL DE CANTERA + 1,7% CaCl ₂	MATERIAL : CANTERA 03+500
CBR DE SUELOS EN LABORATORIO	
ASTM D 1883 (MTC E 132 - 2000)	



Cuadro N°4.40.- Variación del CBR en suelo N°02 con la adición de cloruro de calcio

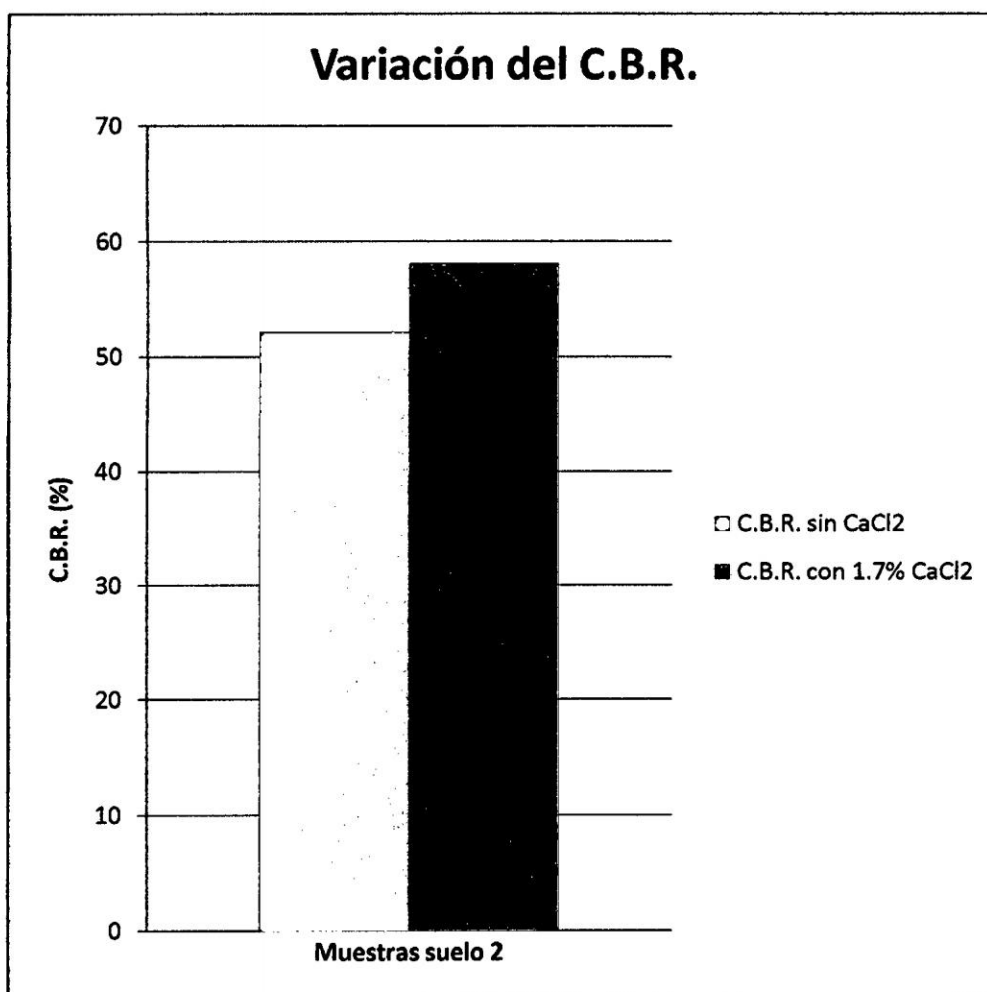
**TESIS EVALUACIÓN DEL EMPLEO DE CLORURO DE CALCIO EN LA ESTABILIZACIÓN DE CARRETERAS NO PAVIMENTADAS,
EN EL TRAMO LLOCHEGUA - PERIAVENTE ALTA, DISTRITO LLOCHEGUA, HUANTA - AYACUCHO**

OLICITANTE	: BACH. GLICERIO AGUILAR LONASCO
DESCRIPCIÓN	: MATERIAL GRANULAR DE CANTERA SIN Y CON 1.7% CaCl ₂
MATERIAL	: CANTERA PROGRESIVA 03+500
FECHA	: NOVIEMBRE 2012

**CBR DE SUELOS EN LABORATORIO
ASTM D 1883 (MTC E 132 - 2000)**

C.B.R. sin CaCl ₂	52.11
C.B.R. con 1,7% CaCl ₂	58.09

Incremento del C.B.R. (%)	11.48
---------------------------	-------



4.6.-RESULTADOS DEL ENSAYO DE ABRASIÓN EN LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES

Cuadro N°4.41.- Ensayo de abrasión en la máquina de los Ángeles suelo N°01

TESIS EVALUACIÓN DEL EMPLEO DE CLORURO DE CALCIO EN LA ESTABILIZACIÓN DE CARRETERAS NO PAVIMENTADAS,
EN EL TRAMO LLOCHEGUA - PERIAVENTE ALTA, DISTRITO LLOCHEGUA, HUANTA - AYACUCHO

DESCRIPCIÓN : Material granular de cantera

MATERIAL : Cantera progresiva Km 1+100

FECHA : Noviembre de 2012

ENSAYO DE ABRASIÓN CON LA MÁQUINA LOS ÁNGELES
ASTM D 4318 (MTC E 107-2000)

MÉTODO "A"				
MALLA		PESO RETENIDO	% RETENIDO	% ACUMULADO QUE PASA
PASA	RETENIDO	(g)		
1 1/2"	1"	1,250.00	25%	75%
1"	3/4"	1,250.00	25%	50%
3/4"	1/2"	1,250.00	25%	25%
1/2"	3/8"	1,250.00	25%	0%
3/8"	1/4"			0%
1/4"	N°4			0%
N°4				0%
Platillo				
		5,000.00		

TIPO DE GRADACIÓN	MÉTODO "A"
Peso de muestra al comenzar el ensayo	5,000.00 g
Peso de material retenido en el tamiz N°12	4137.9 g
Peso de material que pasa el tamiz N°12	862.10 g
Porcentaje de desgaste (%)	17.24%

$$\% \text{ desgaste} = \frac{(\text{Peso inicial} - \text{Peso final})}{\text{Peso inicial}} \times 100$$

Cuadro N°4.42.- Ensayo de abrasión en la máquina de los Ángeles suelo N°02

**TESIS EVALUACIÓN DEL EMPLEO DE CLORURO DE CALCIO EN LA ESTABILIZACIÓN DE CARRETERAS NO PAVIMENTADAS,
EN EL TRAMO LLOCHEGUA - PERIAVENTE ALTA, DISTRITO LLOCHEGUA, HUANTA - AYACUCHO**

DESCRIPCIÓN : Material granular de cantera
MATERIAL : Cantera progresiva Km 3+500
FECHA : Noviembre de 2012

**ENSAYO DE ABRASIÓN CON LA MÁQUINA LOS ÁNGELES
ASTM D 4318 (MTC E 107-2000)**

MÉTODO "A"				
MALLA		PESO RETENIDO	% RETENIDO	% ACUMULADO QUE PASA
PASA	RETENIDO	(g)		
1 1/2"	1"	1,250.00	25%	75%
1"	3/4"	1,250.00	25%	50%
3/4"	1/2"	1,250.00	25%	25%
1/2"	3/8"	1,250.00	25%	0%
3/8"	1/4"			0%
1/4"	N°4			0%
N°4				0%
Platillo				
		5,000.00		

TIPO DE GRADACIÓN	MÉTODO "A"
Peso de muestra al comenzar el ensayo	5,000.00 g
Peso de material retenido en el tamiz N°12	3564.80 g
Peso de material que pasa el tamiz N°12	1,435.20 g
Porcentaje de desgaste (%)	28.70%

$$\% \text{ desgaste} = \frac{(\text{Peso inicial} - \text{Peso final})}{\text{Peso inicial}} \times 100$$

4.7.-RESULTADOS DE ENSAYO DE MEDICIÓN DEL pH Y CONDUCTIVIDAD

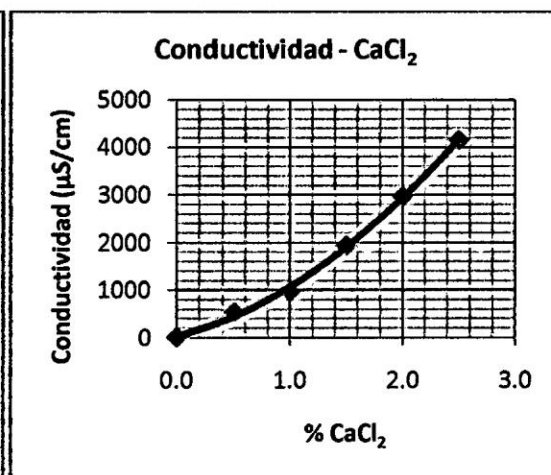
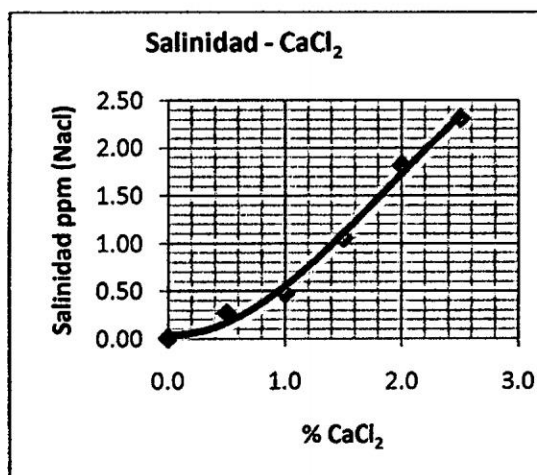
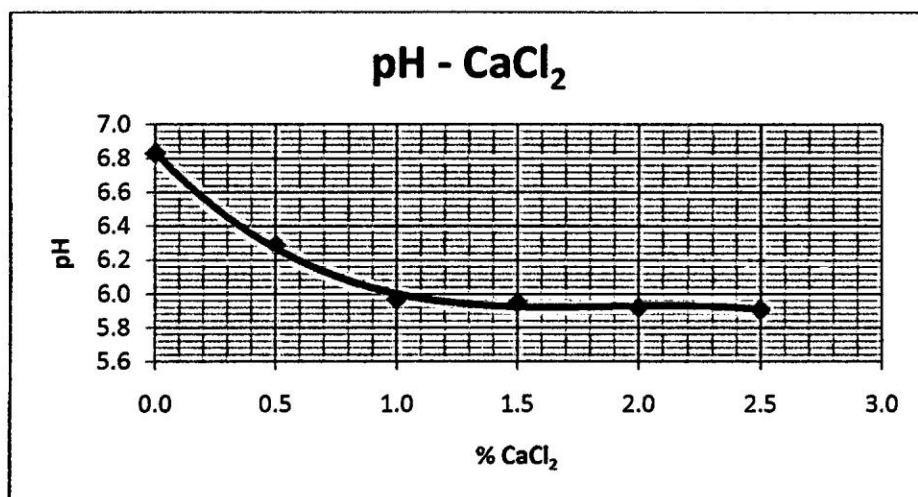
Cuadro N°4.43.- Medición de pH, salinidad y conductividad del suelo N°02

ANÁLISIS DE EVALUACIÓN DEL EMPLEO DE CLORURO DE CALCIO EN LA ESTABILIZACIÓN DE CARRETERAS NO PAVIMENTADAS, EN EL TRAMO LLOCHEGUA - PERIAVENTE ALTA, DISTRITO LLOCHEGUA, HUANTA - AYACUCHO

DESCRIPCIÓN : Material granular de cantera
 MATERIAL : Cantera progresiva Km 1+100
 FECHA : Noviembre de 2012

ENSAYO DETERMINACIÓN DE pH DE SUELOS ASTM D 4972 (MTC E 129-2000)

% CaCl ₂	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
pH	6.83	6.29	5.97	5.95	5.92	5.91
% CaCl ₂	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
Salinidad ppm (NaCl)	0.01	0.27	0.48	1.06	1.82	2.31
% CaCl ₂	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
Conductividad (μS/cm)	12	538	972	1939	2970	4152



4.8.-DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.8.1.- GRANULOMETRÍA

- Para el suelo N°01 (progresiva 01+100) se encontró los datos que se muestran:

Cuadro N°4.44.- Granulometría suelo N°01

Malla	% que pasa
Nº 4	52.60
Nº 10	43.65
Nº 40	27.53
Nº 200	16.35

El suelo N°01, contiene una cantidad adecuada de grava (47.40%), de arena (36,25%) y de finos (16.35%), esta muestra está adecuadamente graduada y apta para ser empleada en la estabilización con cloruro de calcio, ya que se recomienda contener algo de fracción fina, donde actúa el poder aglutinante del cloruro de calcio.

- Para el suelo N°02 (progresiva 03+500) se encontró los datos que se muestran:

Cuadro N°4.45.- Granulometría suelo N°02

Malla	% que pasa
Nº 4	54.12
Nº 10	45.81
Nº 40	32.85
Nº 200	21.33

El suelo N°02, contiene una cantidad adecuada de grava (45.88%), de arena (32.79%) y de finos (21.33%), esta muestra está adecuadamente graduada y apta para ser empleada en la estabilización con cloruro de calcio, ya que se recomienda contener algo de fracción fina, donde actúa el poder aglutinante del cloruro de calcio.

Podemos afirmar que suelos presentan granulometrías similares, puesto que ambas actualmente son empleadas con materiales de afirmado en el mantenimiento de este tramo.

4.8.2.-LÍMITE LÍQUIDO

- El suelo N° 01 (progresiva 01+100) presenta como límite líquido:

	Sin CaCl ₂	Con 1.5% CaCl ₂
Límite líquido (%)	26.60	26.00

- El suelo N° 02 (progresiva 03+500) presenta como límite líquido:

	Sin CaCl ₂	Con 1.5% CaCl ₂
Límite líquido (%)	28.40	27.00

Ambos suelos cumplen con las condiciones de plasticidad exigidas por las Normas de afirmados, las cuales exigen Límite Líquido 35 % máximo. Podemos afirmar que al adicionar CaCl₂ se observa una ligera disminución del límite líquido, esto influye en el potencial de hinchamiento del suelo.

4.8.3.-LÍMITE PLÁSTICO

- El suelo N° 01 (progresiva 01+100) presenta como límite plástico:

	Sin CaCl ₂	Con 1.5% CaCl ₂
Límite plástico (%)	20.36	20.91

- El suelo N° 02 (progresiva 03+500) presenta como límite plástico:

	Sin CaCl ₂	Con 1.5% CaCl ₂
Límite plástico (%)	18.51	22.06

Podemos afirmar que al adicionar CaCl₂ se observa aumenta del límite plástico.

4.8.4.-ÍNDICE DE PLASTICIDAD

- El suelo N° 01 (progresiva 01+100) presenta como Índice Plástico:

	Sin CaCl ₂	Con 1.5% CaCl ₂
Índice Plástico (%)	6.24	5.09

- El suelo N° 02 (progresiva 03+500) presenta como Índice plástico:

	Sin CaCl ₂	Con 1.5% CaCl ₂
Índice Plástico (%)	9.89	4.94

Ambos suelos cumplen con las condiciones de plasticidad exigidas por las Normas de afirmados, las cuales exigen Índice Plástico de 4 a 9. En el suelo N° 02, inicialmente no cumple este requisito, pero al adicionar CaCl₂ ambos los índices plásticos bajan y cumplen con el rango exigido.

4.8.5.-CLASIFICACIÓN DE SUELO SISTEMA AASHTO

Para identificar el tipo de suelos según este método se usa el Cuadro N° 3.3:

- El suelo N° 01 (progresiva 01+100) se ajusta a las condiciones de:

Pasante malla N° 200	< 35% (suelo granular)
Pasante malla N° 40	50 máx
Pasante malla N° 200	25 máx
Índice plástico	6 máx

Entonces el suelo N°01 es: **A – 1 – b (0), fragmento de piedra, grava y arena.**

- El suelo N° 02 (progresiva 03+500) se ajusta a las condiciones de:

Pasante malla N° 200	< 35% (suelo granular)
Pasante malla N° 200	35 máx
Límite líquido	40 máx
Índice plástico	10 máx

Entonces el suelo N°02 es: **A – 2 – 4 (0) , grava, arena limosa y arcilla.**

4.8.6.-CLASIFICACIÓN DE SUELO SISTEMA SUCS

Para identificar suelos con este método, se usarán el Cuadro N° 3.4 y la figura N°3.4:

- El suelo N° 01 (progresiva 01+100) se ajusta a las condiciones de:
 Más del 12% pasa la malla N° 200
 Los límites de Atterberg se grafican sobre el área sombreada CL - ML

Entonces el suelo N°01 es: **GC – GM, grava limo – arcillosa con arena.**

- El suelo N° 02 (progresiva 03+500) se ajusta a las condiciones de:
 Más del 12% pasa la malla N° 200
 Los límites de Atterberg se grafican debajo de la línea A
 Índice plástico > 7

Entonces el suelo N°02 es: **GC, grava arcillosa con arena.**

4.8.7.-PROCTOR MODIFICADO

Se ha empleado este ensayo para verificar la variación de la densidad respecto a la variación de humedad, asimismo se probado con distintos porcentajes de cloruro de calcio.

- En el suelo N°01, se ha encontrado que la máxima densidad se obtiene al adicionar 1,4 % de cloruro de calcio en peso de suelo seco.
- El suelo N°02, se ha encontrado que la máxima densidad se obtiene al adicionar 1,65 % de cloruro de calcio en peso de suelo seco.
- En el suelo N°01, se observa un incremento de la densidad máxima seca en 3,6% y en el suelo N°02 sucede lo mismo incrementándose en 3,8%.
- El valor de % de cloruro de calcio fue incluido como una referencia del material sin estabilizar. En el Cuadro N°4.23 y 4.30, el porcentaje óptimo de cloruro de calcio es de 1,4% en peso seco del material, porcentajes mayores del 1,7% disminuyen el valor del CBR, la capacidad higroscópica del cloruro de calcio hace que este retenga más agua durante la compactación por lo que el valor del CBR disminuye,

esta característica es importante resaltarla porque la aplicación de demasiado cloruro de calcio afectaría la durabilidad de la vía y elevaría los costos.

4.8.8.-CALIFORNIA RATIO BEARING

- El suelo N°01 presenta los siguientes valores de CBR, para el 100% de su densidad máxima seca y una penetración de carga de 0,1" (2,5mm):

Sin CaCl ₂	51,25 %
Con 1.5% CaCl ₂	59,51 %

- El suelo N°02 presenta los siguientes valores de CBR, para el 100% de su densidad máxima seca y una penetración de carga de 0,1" (2,5mm):

Sin CaCl ₂	52,11 %
Con 1.5% CaCl ₂	58,09 %

- El suelo N°01 manifiesta un incremento del CBR en 16,12% al adicionar 1,5% CaCl₂, lo mismo sucede con el suelo N°02 que incrementa su CBR en 11,48%, indicando propiedades benéficas del cloruro de calcio.
- Ambos suelos cumplen con la condición del CBR > 40%, entonces son aptos para ser empleados como material de afirmado.

4.8.9.-ABRASIÓN CON MÁQUINA LOS ÁNGELES

- La fracción gruesa del suelo N°01 sometida a la prueba de abrasión, produce un desgaste del 17,24%.
- La fracción gruesa del suelo N°02 sometida a la prueba de abrasión, produce un desgaste del 28,70%.
- Si la fracción gruesa del suelo sometida a esta prueba produce un **desgaste menor** a 50%, el material es apto para ser empleado en afirmados.

4.8.10.-pH, SALINIDAD Y CONDUCTIVIDAD

- La medición del pH efectuado solo en el suelo N° 02, indica una disminución de este parámetro, que en el suelo natural (sin CaCl_2) es 6,83 y al adicionar 1,5% CaCl_2 el pH es 5,95.
- La salinidad muestra un incremento de 0,01 ppm (suelo natural) a 1.06 ppm (1,5% CaCl_2)
- La conductividad crece a medida que se adiciona CaCl_2 , de 12 a 1939, su crecimiento es casi exponencial y sería una forma indirecta de medir la cantidad de cloruro de calcio presente en el suelo, puesto que serviría para monitorear el desgaste de CaCl_2 por las lluvias en una carretera.

4.9.-COSTOS DE CONSERVACIÓN DE CARRETERAS EN LA SELVA

Para estimar los costos y la comparación de los mismos, al realizar trabajos de mantenimiento de este tramo en estudio se ha considerado el uso de cloruro de calcio proveído por QUIMPAC bajo la denominación de QUIM KD 40 (40% de pureza), a razón de que el cloruro de calcio (como QUIM KD 40) es la presentación más barata de este producto en el mercado peruano.

Para lo cual se ha cotizado el producto QUIM KD 40 a un precio de 300 dólares/TM, puesto en obra, y con una dosis de aplicación de $6,7 \text{ kg/m}^2$ (al 40% de pureza). Este producto en planta (Paramonga) tiene un costo de 150 dólares/TM y se traslada mediante camiones cisterna de 30TM, en el tramo de estudio el producto costaría 2,96 soles/galón (este producto es un líquido transparente de $1,38 \text{ g/mL}$ de densidad).

El ancho de vía en este tramo es de 4,5m, para la estimación de costos solo se tomarán en cuenta la reposición y mantenimiento de la capa de afirmado, sin tener en cuenta las partidas de obras de arte, ensanchamiento de vías y otras.

La aplicación de cloruro de calcio en las vías afirmadas deben ser cada 6 meses, y cada vez en menor proporción, ya que a partir de la segunda aplicación solo se adiciona el 50% de cloruro de calcio aplicado en la primera vez.

4.9.1.-COSTO CON AFIRMADO TRADICIONAL

Cuadro N°4.46.- Costos de mantenimiento periódico por km sin estabilizador

MANTENIMIENTO PERIÓDICO - SIN ESTABILIZADOR					
	MANTENIMIENTO DE CARRETERA LLOCHEGUA - PERIAVENTE ALTA	UND	METRADO	P. U.	PARCIAL
1.00	Escarificado y reposición de afirmado	m2	4500	3.67	16,515.00
2.00	Riego	m2	4500	0.64	2,880.00
3.00	Nivelación de superficie	m2	4500	0.27	1,215.00
4.00	Compactación	m2	4500	1.79	8,055.00
					28,665.00

Cuadro N°4.47.- Costos de mantenimiento rutinario por km sin estabilizador

MANTENIMIENTO RUTINARIO - SIN ESTABILIZADOR					
	MANTENIMIENTO DE CARRETERA LLOCHEGUA - PERIAVENTE ALTA	UND	METRADO	P. U.	PARCIAL
1.00	Escarificado y reposición de afirmado	m2	4500	2.15	9,675.00
2.00	Riego	m2	4500	0.64	2,880.00
3.00	Nivelación de superficie	m2	4500	0.27	1,215.00
4.00	Compactación	m2	4500	1.79	8,055.00
					21,825.00

4.9.2.-COSTO CON APLICACIÓN DE QUIM KD – 40

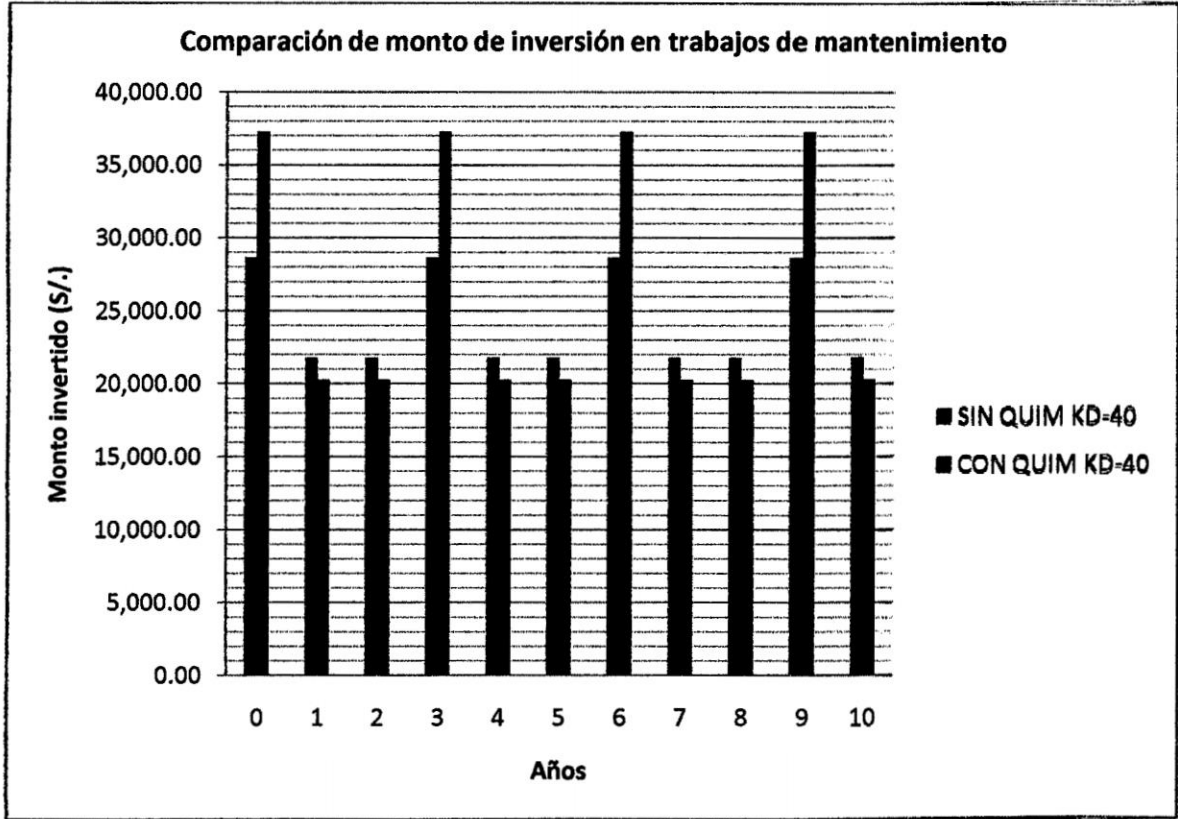
Cuadro N°4.48.- Costos de mantenimiento periódico por km con QUIM KD 40

MANTENIMIENTO PERIÓDICO - CON QUIM KD 40					
	MANTENIMIENTO DE CARRETERA LLOCHEGUA - PERIAVENTE ALTA	UND	METRADO	P. U.	PARCIAL
1.00	Escarificado y reposición de afirmado	m2	4500	2.27	10,215.00
2.00	Riego con QUIM KD 40	m2	4500	3.96	17,820.00
3.00	Nivelación de superficie	m2	4500	0.27	1,215.00
4.00	Compactación	m2	4500	1.79	8,055.00
					37,305.00

Cuadro N°4.49.- Costos de mantenimiento rutinario por km con QUIM KD 40

MANTENIMIENTO RUTINARIO - CON QUIM KD 40					
	MANTENIMIENTO DE CARRETERA LLOCHEGUA - PERIAVENTE ALTA	UND	METRADO	P. U.	PARCIAL
1.00	Escarificado y reposición de afirmado	m2	4500	1.27	5,715.00
2.00	Riego con QUIM KD 40	m2	4500	1.18	5,310.00
3.00	Nivelación de superficie	m2	4500	0.27	1,215.00
4.00	Compactación	m2	4500	1.79	8,055.00
					20,295.00

Cuadro N°4.50.- Comparación de afirmado tradicional con la aplicación de QUIM KD 40



Diseño del espesor de la capa de afirmado

El método de diseño AASHTO simplificado para el diseño de vías en bajos volúmenes de tránsito puede ser usado para la determinación del espesor de la capa de afirmado estabilizada con cloruro de calcio. Los principales factores a considerar en la determinación del espesor de la capa de afirmado son el tránsito, las condiciones climáticas, las características mecánicas del material de afirmado.

Para nuestro caso hemos usado un espesor de afirmado de 10 cm.

CONCLUSIONES

- 1) El estudio del comportamiento del cloruro de calcio en la estabilización, demostró ser efectiva para ser usado en carreteras no pavimentadas, porque produce un aumento en la capacidad de soporte del material de afirmado y actúa como agente mitigador de las emisiones de polvo al flocular las partículas finas.
- 2) Se ha evaluado las densidades y resistencia mecánica de los suelos a porcentajes de cloruro de calcio desde 0,5 al 2,5%, encontrándose la dosificación óptima entre 1,4 a 1,6% de cloruro de calcio en peso de suelo, para ello se han usado el ensayo de Proctor modificado y el C.B.R. Las muestras han experimentado un incremento de la densidad entre 3.6 y 3.8% respecto al suelo compactado sin adicionar cloruro de calcio.
- 3) Los suelos disponibles y evaluados cumplen con las características para ser empleados para la construcción de las vías estabilizadas. El suelo N°01 manifestó un incremento de CBR en 16,12% y el suelo N°02 en 11,48% al adicionar cloruro de calcio, esto significa que ha mejorado la resistencia mecánica del suelo.

RECOMENDACIONES

- 1) Es recomendable realizar un tramo de prueba antes de la construcción definitiva, el propósito de este tramo de prueba es analizar la futura efectividad de la estabilización y realizar correcciones necesarias.
- 2) Los suelos donde se va aplicar la estabilización no deben presentar más de 3% de materia orgánica, pues adsorben en gran medida los cationes de calcio.
- 3) Estudiar el efecto de las lluvias en el lavado del cloruro de calcio, que pueden deteriora la vía. Al ejecutar el mantenimiento de vías es necesario tener un adecuado drenaje para garantizar la duración de la carretera y evitar que el cloruro de calcio sea lavado.
- 4) Estudiar el comportamiento de cloruro de calcio en otros tipos de suelos y en zonas de altas precipitaciones.
- 5) Las Entidades a cargo de las vías terrestres ya no deben construír carreteras sin estabilizar.

GLOSARIO

ABRASIÓN: Desgaste mecánico de agregados y rocas resultante de la fricción y/o impacto.

ADITIVO: Producto químico ó mineral que modifica una ó más propiedades de un material ó mezcla de éstas.

AFIRMADO: Capa compactada de material granular natural ó procesado con gradación específica que soporta directamente las cargas y esfuerzos del tránsito. Debe poseer la cantidad apropiada de material fino cohesivo que permita mantener aglutinadas las partículas. Funciona como superficie de rodadura en carreteras y trochas carrozables.

AGLOMERANTE: Material capaz de unir partículas de material inerte por efectos físicos o transformaciones químicas o ambas.

AGREGADO: Material granular de composición mineralógica como arena, grava, escoria, o roca triturada, usado para ser mezclado en diferentes tamaños.

AHUELLAMIENTO: Surcos o huellas que se presentan en la superficie de rodadura de una carretera pavimentada o no pavimentada y que son el resultado de la consolidación o movimiento lateral de los materiales por efectos del tránsito.

ARCILLAS: Partículas finas con tamaño de grano menor a 2 μm (0,002 mm) provenientes de la alteración física y química de rocas y minerales.

BACHE: Depresión que se forma en la superficie de rodadura producto del desgaste originado por el tránsito vehicular y la desintegración localizada.

BASE: Capa de material selecto y procesado que se coloca entre la parte superior de una subbase o de la subrasante y la capa de rodadura. Esta capa puede ser también de mezcla

asfáltica o con tratamientos según diseños. La base es parte de la estructura de un pavimento.

CALIZA: Roca de origen sedimentario compuesta esencialmente de carbonato de calcio (calcita) proveniente de acumulación mecánica de fragmentos de este mineral, por precipitación química.

CANTERA: Deposito natural de material apropiado para ser utilizado en la construcción, rehabilitación, mejoramiento y/o mantenimiento de las carreteras.

CAPACIDAD DE CARGA DEL TERRENO: Es la resistencia admisible del suelo de cimentación considerando factores de seguridad apropiados al análisis que se efectúa.

CARRETERA: Camino para el tránsito de vehículos motorizados, de por lo menos dos ejes, con características geométricas definidas de acuerdo a las normas técnicas vigentes en el Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

CARRETERA AFIRMADA: Carretera cuya superficie de rodadura está constituida por una o más capas de AFIRMADO.

CARRETERA NO PAVIMENTADA: Carretera cuya superficie de rodadura está conformada por gravas o afirmado, suelos estabilizados o terreno natural.

CBR (California Bearing Ratio): Valor relativo de soporte de un suelo o material, que se mide por la penetración de una fuerza dentro de una masa de suelo.

COHESIÓN: La resistencia al corte de un suelo, a una tensión normal.

COLOIDALES (partículas): Tamaño tan pequeños que ejercen una actividad superficial apreciable sobre las propiedades del agregado.

COMPACTACIÓN: Proceso manual o mecánico que tiende a reducir el volumen total de vacíos de suelos.

CONSTRUCCIÓN: Ejecución de obras de una vía nueva con características geométricas acorde a las normas de diseño y construcción vigentes.

CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMO: Es el contenido de humedad al cual un suelo ó material granular al ser compactado utilizando un esfuerzo especificado proporciona una máxima densidad seca. El esfuerzo puede ser estándar ó modificado.

CORROSIÓN: Destrucción paulatina de las estructuras metálicas por acción de agentes externos.

DURABILIDAD: Propiedad de un material o mezcla para resistir desintegración por efectos mecánicos, ambientales o de tráfico.

DUREZA: Resistencia superficial que presentan los materiales a ser rayados.

ENCALAMINADO: Ondulaciones u hondas en la superficie de rodadura de una vía, producto de un tipo de movimiento plástico en sentido longitudinal.

EROSIÓN: Desgaste producido por el agua en la superficie de rodadura o en otros elementos de la carretera.

ESTABILIDAD: Propiedad de una mezcla asfáltica de pavimentación de resistir deformación bajo las cargas impuestas. La estabilidad es una función de la cohesión y la fricción interna del material.

ESTABILIZACIÓN DE SUELOS: Mejoramiento de las propiedades físicas de un suelo a través de procedimientos mecánicos e incorporación de productos químicos, naturales o sintéticos. Tales estabilizaciones, por lo general se realizan en las superficies de rodadura o capas inferiores de la carretera, y son conocidas como suelo cemento, suelo cal y otros diversos.

FINOS: Porción del agregado fino o suelo que pasa la malla N° 200 (0,074 mm).

GRANULOMETRÍA: Representa la distribución de los tamaños que posee el agregado mediante el tamizado según especificaciones técnicas.

GRAVA: Agregado grueso, obtenido mediante proceso natural o artificial de los materiales pétreos.

IMPACTO AMBIENTAL: Alteración o modificación del medio ambiente ocasionada por la acción del hombre o de la naturaleza, que incluye los impactos socio ambientales.

ÍNDICE MEDIO DIARIO ANUAL (IMDA): Volumen promedio del tránsito de vehículos en ambos sentidos durante 24 horas de una muestra vehicular (conteo vehicular), para un período anual.

INESTABILIDAD: Pérdida de resistencia a las fuerzas que tienden a ocasionar movimiento o distorsión de una estructura del pavimento.

LÍMITE LÍQUIDO: Contenido de agua del suelo entre el estado plástico y el líquido de un suelo.

LÍMITE PLÁSTICO: Contenido de agua de un suelo entre el estado plástico y el semi-sólido.

LIMOS: Partículas de roca o minerales cuyas dimensiones están entre 0,02 y 0,002 mm.

MALLA: Abertura cuadrada de un tamiz.

MANTENIMIENTO VIAL: Conjunto de actividades técnicas destinadas a preservar en forma continua y sostenida el buen estado de la infraestructura vial, de modo que se garantice un servicio óptimo al usuario, puede ser de naturaleza rutinaria o periódica.

MATERIAL DE CANTERA: Material de características apropiadas para su utilización en las diferentes partidas de construcción de obra, que deben estar económicamente cercanas a las obras y en los volúmenes significativos de necesidad de la misma.

MÁXIMA DENSIDAD SECA: Máximo valor de densidad seca definido por la curva de compactación para un esfuerzo especificado (estándar ó modificado).

OBRAS DE DRENAJE: Conjunto de obras que tienen por fin controlar y/o reducir el efecto nocivo de las aguas superficiales y subterráneas sobre la vía, tales como: alcantarillas, cunetas, badenes, subdrenes, zanjas de coronación y otras de encauzamientos.

PAVIMENTO: Estructura construida sobre la subrasante de la vía, para resistir y distribuir los esfuerzos originados por los vehículos y mejorar las condiciones de seguridad y comodidad para el tránsito. Por lo general está conformada por las siguientes capas: subbase, base y rodadura.

PERMEABILIDAD: Capacidad de un material para permitir que un fluido lo atraviese sin alterar su estructura interna.

pH: Medida del estado de acidez o basicidad de una solución. Los valores extremos del pH son 0 y 14; y el valor medio 7 indica que la solución es neutra.

PLATAFORMA: Superficie superior de una carretera, incluye calzada, bermas y cunetas.

PUESTO EN OBRA: Se dice de los materiales y/o equipos colocados dentro del ÁREA DE TRABAJO.

RASANTE: Nivel terminado de la superficie de rodadura. La línea de rasante se ubica en el eje de la vía.

REHABILITACIÓN: Ejecución de las obras necesarias para devolver a la infraestructura vial sus características originales y adecuarla a su nuevo periodo de servicio; las cuales están referidas principalmente a reparación y/o ejecución de pavimentos, puentes, túneles, obras de drenaje, de ser el caso movimiento de tierras en zonas puntuales y otros.

RESISTENCIA A COMPRESIÓN: Ensayo de resistencia a la compresión que se realiza colocando una muestra cilíndrica en una prensa al que se le aplica una fuerza hasta la rotura de la muestra o testigo.

SOLUBILIDAD: Es una medida de la capacidad de una determinada sustancia para disolverse en otra.

SUBBASE: Capa que forma parte de la estructura de un pavimento que se encuentra inmediatamente por debajo de la capa de Base.

SUBRASANTE: Superficie terminada de la carretera a nivel de movimiento de tierras (corte o relleno), sobre la cual se coloca la estructura del pavimento o afirmado.

SUELO ARCILLOSO: Conformado por arcillas o con predominancia de éstas. Por lo general, no es adecuado para el tránsito vehicular.

SUELO ARENOSO: Conformado por arena o con predominancia de ésta. Por lo general, no es adecuado para el tránsito vehicular.

SUELOS EXPANSIVOS: Suelos que al ser humedecidos sufren una expansión que pone en peligro a las estructuras cimentadas sobre ellos.

SUPERFICIE DE RODADURA: Parte de la carretera destinada a la circulación de vehículos compuesta por uno o más carriles, no incluye la berma.

TAMIZ: Aparato, en un laboratorio, usado para separar tamaños de material, y donde las aberturas son cuadradas.

TRAMO: Parte continúa de una carretera.

TRÁNSITO: Actividad de personas y vehículos que circulan por una vía.

TRANSITABILIDAD: Nivel de servicio de la infraestructura vial que asegura un estado tal de la misma que permite un flujo vehicular regular durante un determinado periodo.

VEHICULO: Cualquier componente del tránsito cuyas ruedas no están confinadas dentro de rieles.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1) AGUAYO Osvaldo (2007). **Soluciones básicas para caminos de bajo tránsito**. Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Perú
- 2) ARBULÚ GALLIANI, Biaggio, (1982). **Laboratorio de Mecánica de Suelos**. Universidad Nacional de Ingeniería. Perú
- 3) BRAJA M. Das (2007). **Fundamentos de ingeniería geotécnica**. Edit. Thompson Learning. México
- 4) INSTITUTO DE CONSTRUCCIÓN Y GERENCIA, (2013). **Manual de la Construcción 2013**. Perú
- 5) JUÁREZ BADILLO & RICO RODRÍGUEZ (1996). **Mecánica de Suelos Tomo I**. Editorial Limusa, México.
- 6) MATEOS, Miguel (1981). **Estabilización de suelos con cloruro cálcico**. Revista pública. México-
- 7) MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES, (2005). **Evaluación de la aplicabilidad de estabilizadores de suelos**. Perú
- 8) MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES, (2013). **Manual de carreteras**. Perú.
- 9) PÉREZ DE LA CRUZ, Francisco J., y URREA MALLEBRERA Juan A. (2006) **Coagulación y floculación**. Universidad Politécnica de Cartagena. España.