



**UNIVERSIDAD ESTATAL
PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA INGENIERÍA CIVIL**

“ESTUDIO COMPARATIVO DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS
DE SUBRASANTE (SUELOS EXPANSIVOS), UTILIZANDO CAL,
SAL Y GEOCELDAS, PARA IMPLEMENT
ACIÓN EN UNA NUEVA VÍA EN LA COMUNA BAJADITA DE
COLONCHE DE LA PARROQUIA COLONCHE”

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Previo a la obtención del título de:

INGENIERO CIVIL

AUTORES:

SALINAS SUÁREZ JOHN EDWARDS.
VILLAO CARVAJAL RICARDO ADRIÁN.

TUTOR:

CAMPOVERDE CAMPOVERDE DANIEL ROSENDO.

La Libertad, Ecuador

2019

**UNIVERSIDAD ESTATAL
PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA INGENIERÍA CIVIL**

“ESTUDIO COMPARATIVO DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE SUBRASANTE (SUELOS EXPANSIVOS), UTILIZANDO CAL, SAL Y GEOCELAS PARA IMPLEMENTACIÓN EN UNA NUEVA VIA EN LA COMUNA BAJADITA DE COLONCHE DE LA PARROQUIA COLONCHE”

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Previo a la obtención del título de:

INGENIERO CIVIL

AUTORES:

SALINAS SUÁREZ JOHN EDWARDS.

VILLAO CARVAJAL RICARDO ADRIÁN.

TUTOR:

ING. CAMPOVERDE CAMPOVERDE DANIEL ROSENDO.

La Libertad, Ecuador

2019

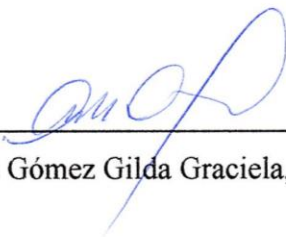
CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación, fue realizado en su totalidad por Salinas Suárez John Edwards y Villao Carvajal Ricardo Adrián como requerimiento para la obtención del título de Ingeniero Civil.

TUTOR (A)

f. 
Ing. Campoverde Campoverde Daniel Rosendo Mg.

DIRECTOR DE LA CARRERA

f. 
Arq. Rubira Gómez Gilda Graciela, MSc.

La Libertad, a los cinco días del mes de diciembre del año 2019.

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Titulación, modalidad Proyecto de Investigación “ESTUDIO COMPARATIVO DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE SUBRASANTE (SUELOS EXPANSIVOS), UTILIZANDO CAL, SAL Y GEOCELDAS, PARA IMPLEMENTACIÓN EN UNA NUEVA VÍA EN LA COMUNA BAJADITA DE COLONCHE DE LA PARROQUIA COLONCHE”, elaborado por los Sres. SALINAS SUÁREZ JOHN EDWARDS Y VILLAO CARVAJAL RICARDO ADRIÁN, egresados de la Carrera de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, previo a la obtención del título de Ingenieros Civiles, me permito declarar que luego de haberla dirigido, estudiado y revisado, la apruebo en su totalidad.

TUTOR

f. _____
Ing. Campoverde Campoverde Daniel Rosendo Mg.

La Libertad, a los cinco días del mes de diciembre del año 2019.

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, Salinas Suárez John Edwards y Villao Carvajal Ricardo Adrián

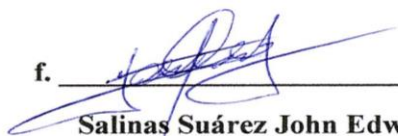
DECLARAMOS QUE:

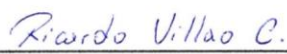
El Trabajo de Titulación, “Estudio comparativo de estabilización de suelos de subrasante (suelos expansivos), utilizando cal, sal y geoceldas, para implementación en una nueva vía en la comuna bajadita de colonche de la parroquia colonche”, previo a la obtención del título de Ingeniero Civil, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de nuestra total autoría.

En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

La Libertad, a los 5 días del mes de diciembre del año 2019.

LOS AUTORES

f. 
Salinas Suárez John Edwards.

f. 
Villao Carvajal Ricardo Adrián.

AUTORIZACIÓN

Nosotros, Salinas Suárez John Edwards y Villao Carvajal Ricardo Adrián

Autorizamos a la Universidad Península de Santa Elena a la publicación en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, “Estudio comparativo de estabilización de suelos de subrasante (suelos expansivos), utilizando cal, sal y geoceldas, para implementación en una nueva vía en la comuna bajadita de colonche de la parroquia colonche”, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y total autoría.

La Libertad, a los cinco del mes de diciembre del año 2019.

EL AUTOR (A)

f. 

Salinas Suárez John Edwards.

f. Ricardo Villao C.

Villao Carvajal Ricardo Adrián.

CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO



Urkund Analysis Result

Analysed Document: TESIS PARA URKUND CORREGIDO.docx (D55567060)
Submitted: 13/09/2019 16:04:00
Submitted By: dcampoverde@upse.edu.ec
Significance: 7 %

Sources included in the report:

TESIS PARA URKUND.docx (D55494173)

Instances where selected sources appear:

2

CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO



UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
Creación: Ley No. 110 R.O. No. 366 (Suplemento) 1998-07-22

La Libertad, 12 de septiembre del 2019

CERTIFICADO ANTIPLAGIO

001-DRCC DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE-2019

En calidad de tutor del trabajo de titulación denominado "ESTUDIO COMPARATIVO DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE SUBRASANTE (SUELOS EXPANSIVOS), UTILIZANDO CAL, SAL Y GEOCELDAS, PARA IMPLEMENTACIÓN EN UNA NUEVA VÍA EN LA COMUNA BAJADITA DE COLONCHE DE LA PARROQUIA COLONCHE", elaborado por los estudiante SALINAS SUÁREZ JOHN EDWARDS con C.I.: 2400087249 y VILLAO CARVAJAL RICARDO ADRIÁN con C.I.: 0926460528, egresados de la CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL, de la Facultad de CIENCIAS DE LA INGENIERÍA de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, previo a la obtención del título de INGENIERO CIVIL, me permito declarar que una vez analizado en el sistema antiplagio URKUND, luego de haber cumplido los requerimientos exigidos de valoración, el presente proyecto ejecutado, se encuentra con 7% de la valoración permitida, por consiguiente se procede a emitir el presente informe.

Adjunto reporte de similitud.

Atentamente,

A handwritten signature in blue ink, consisting of several vertical strokes and a loop at the bottom, positioned above a horizontal line.

ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE.

C.I.: 0913176541

TUTOR

ALFONSO DEL PEZO TOMALÁ
LICENCIADO EN CIENCIAS DE LA EDUCACION, MENCIÓN EDUCACIÓN
PRIMARIA
MÁSTER EN EDUCACION, DISEÑO Y EVALUACIÓN DE MODELOS
EDUCATIVOS.
DOCENTE DE NIVEL SUPERIOR

CERTIFICADO DE GRAMATOLOGÍA

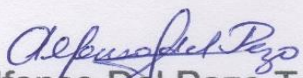
A petición de los interesados tengo a bien certificar
que he realizado la revisión y el análisis del
contenido del presente trabajo de titulación con el
tema:

**“ESTUDIO COMPARATIVO DE ESTABILIZACIÓN DE
SUELOS DE SUBRASANTE (SUELOS EXPANSIVOS),
UTILIZANDO CAL, SAL Y GEOCELDAS, PARA
IMPLEMENTACIÓN EN UNA NUEVA VÍA EN LA
COMUNA BAJADITA DE COLONCHE DE LA
PARROQUIA COLONCHE”** de los egresados:
**SALINAS SUÁREZ JOHN EDWARDS, VILLAO
CARVAJAL RICARDO ADRIÁN.**, de la carrera de
Ingeniería civil de la Universidad Estatal Península de
Santa Elena.

Que el mencionado trabajo, en el contexto general,
cumple con los requisitos lingüísticos dados por la Real
Academia Española para el uso del idioma español.

Certificación, que se otorga en la ciudad de Santa Elena
a los treinta días del mes de septiembre del dos mil
diecinueve, para fines académicos respectivos.

CERTIFICA,


MSc. Alfonso Del Pezo Tomalá.

C.I. 0922433990

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, damos gracias a Dios, por permitirnos y darnos fuerzas para poder culminar de manera exitosa nuestra carrera universitaria. Al Ingeniero Daniel Campoverde por su paciencia y guía brindada durante los meses de realización del trabajo de titulación, en especial también agradecer a la Ingeniera Lucrecia Moreno por su comprensión y ayuda constantemente en los momentos duros que iban transcurriendo con el tiempo, agradecer a las personas que laboran en el Laboratorio de Suelos y su apoyo incondicional para poder complementar los ensayos realizados.

A nuestros padres por todo el esfuerzo y amor brindado toda su vida hacia nosotros, y siempre apoyarnos incondicionalmente y por brindarnos la oportunidad de concluir nuestra carrera.

A nuestros hermanos y hermanas, por guiarnos y aportar con un granito de arena en toda esta etapa de estudios.

A nuestros amigos y compañeros con los cuales hemos estudiado más de cinco años y momentos que han quedado guardados en muchos recuerdos.

Y agradecer de manera muy importante a la Universidad Estatal Península de Santa Elena y a la Facultad de Ciencias de la Ingeniería, que nos han brindado una excelente formación académica y profesional.

John Salinas Suárez.

Ricardo Villao Carvajal.

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación se lo dedico de forma especial a mis padres Eduardo y Olivia, por ser el apoyo incondicional que siempre me brindan en cada decisión que tomo, a mis hermanos Freddy y Andrés, que me aportaron en la decisión de escoger esta carrera universitaria, y por darme ese sustento de amor y cariño para poder culminar mi profesión. Agradecer también en especial a mis tíos Rolando y Carmen, por ser mis segundos padres, que me han brindado su ayuda incondicional en toda esta etapa de estudios.

También dedico este trabajo, a mi esposa e hija, que son mi pilar fundamental, por quienes lucho y brindo todo este logro obtenido.


Ricardo Villao Carvajal.

DEDICATORIA

Este esfuerzo y sacrificio va dedicado con todo mi cariño para mi familia, en especial a mi madre Cristina, mi hermana Edith, mi esposa y futura hija quienes son mi pilar fundamental, mi alegría y mi motivo de superación, a mi padre y hermanos que siempre he encontrado en ellos un apoyo incondicional, a mis sobrinos que son las personas que me inspiran ser una mejor persona y un buen profesional, a todos ellos les agradezco y dedico este trabajo porque gracias a su aporte he podido culminar mi etapa universitaria.

John Salinas Suárez.

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. 

Ing. Garcés Vargas Juan Francisco.

DECANO DE LA FACULTAD

f. 

Arq. Rubira Gómez Gilda Graciela.

DIRECTOR DE CARRERA

f. 

Ing. Moreno Alcívar Lucrecia.

COORDINADOR O DOCENTE DEL ÁREA

f. 

Abg. Coronel Ortiz Víctor Manuel.

SECRETARIO GENERAL

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS	XIII
DEDICATORIA	XIV
ABREVIATURAS	XXV
RESUMEN	XXVI
SUMMARY	XXVIII
INTRODUCCIÓN	2
CAPÍTULO I.....	3
1.1 Planteamiento del problema.....	3
1.2 Alcance.....	4
1.3 Justificación.....	5
1.4 Objetivos.....	6
1.4.1 Objetivo general.....	6
1.4.2 Objetivos específicos.....	6
1.5 Hipótesis	6
1.6 Operacionalización de las variables	6
1.6.1 Variable independiente	6
1.6.2 Variable dependiente	6
1.7 Metodología	7
CAPÍTULO II	8
MARCO TEÓRICO	8
2.1 Suelos Expansivos.....	8
2.2 Origen.....	9

2.3	Tipos.....	9
2.4	Características Generales.....	10
2.5	Composición de las arcillas expansivas.	10
2.6	Grupo de minerales arcillosos expansivos.....	13
2.7	Factores que influyen en el proceso de expansión	14
2.8	Modelos característicos de fallas en obras civiles.....	17
2.9	Definición de la zona crítica y humedad de equilibrio.	19
2.10	Identificación de arcillas expansivas	20
2.10.1	Identificación de campo	20
2.10.2	Métodos mineralógicos	21
2.11	Estabilización de Suelos	31
CAPÍTULO III		42
TRABAJOS DE LABORATORIO.....		42
3.1	Suelo natural - Muestreo de suelo.....	42
3.2	Contenido de humedad.....	43
3.3	Límites de Atterberg	43
3.4	Gravedad de sólidos (Peso específico relativo) Gs.	44
3.5	Límites de contracción	45
3.6	Granulometría.....	45
3.6.1	Granulometría por lavado.....	45
3.6.2	Granulometría por hidrómetro.....	46
3.7	Expansión.....	47
3.8	Relación de soporte de suelo (CBR de laboratorio).....	48

3.9	Compactación Proctor Modificado	49
3.10	Dosificaciones para sal y cal con 3%, 5% y 7%	50
3.11	Límites de Atterberg Dosificación 3%,5%,7%.....	50
3.12	Límites de contracción Dosificación 3%,5%,7%.....	50
3.12.1	Límites de contracción estabilizante cal.	50
3.12.2	Límites de contracción estabilizante sal.....	51
3.13	Proctor Modificado en dosificaciones.....	51
3.13.1	Cal como estabilizante:	51
3.13.2	Sal como estabilizante:.....	52
3.14	Valor Óptimo de CBR.....	52
3.14.1	Valor Óptimo de CBR estabilizante cal.....	52
3.14.2	Valor Óptimo de CBR estabilizante sal	52
3.15	Expansión con porcentajes de estabilizantes.....	53
3.15.1	Expansión estabilizante cal.....	53
3.15.2	Expansión estabilizante sal	53
3.16	Geoceldas como estabilizante:.....	53
CAPÍTULO IV		55
ANÁLISIS DE RESULTADOS Y COSTO-BENEFICIO		55
4.1	Clasificación S.U.C.S Y AASHTO.....	55
4.2	Estudio de Suelos	57
4.3	Compactación Proctor Modificado	57
4.4	Límites de Atterberg	59
4.5	Límite de Contracción.....	63

4.6	Expansión Libre y Controlada.....	65
4.7	Relación de soporte de suelo (California Bearing Ratio).....	67
4.8	Análisis de Costo-Beneficio.....	70
CAPÍTULO V		74
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		74
5.1	Conclusiones	74
5.2	Recomendaciones.....	76
BIBLIOGRAFÍA		77

ÍNDICE DE FIGURAS

Fotografía 1 (a) Tetraedro de sílice; (b) lámina de sílice; (c) octaedro de alúmina (óxido de aluminio); (d) lámina octaédrica (gibbsita); (e) lámina elemental de sílice-gibbsita (según Grim, 1959).	12
Fotografía 2 Diagrama de las estructuras de (a) colinita; (b) ilita; (c) monmorilonita	14
Fotografía 3 Curva de consolidación.....	15
Fotografía 4 Definición por expansión localizada.....	18
Fotografía 5 Deformación por contracción localizada.	18
Fotografía 6 Zona activa en una formación Beaumont del área de Houston.	19
Fotografía 7 Límites de Atterberg.	22
Fotografía 8 Potencial de hinchamiento en función de la actividad de las arcillas..	26
Fotografía 9 Curva de expansión primaria y secundaria.	30
Fotografía 10 Recomendaciones del tipo de estabilización según el tipo de suelo..	33
Fotografía 11 Esquema de funcionamiento de un sistema de geoceldas (Meyer & Emersleben, 2005.....	41
Fotografía 12 Estratigrafía de la Calicata realizada.....	42
Fotografía 13 Ensayo en campo usando un sistema de geocelda.....	54
Fotografía 14 Clasificación de las muestras mediante el sistema S.U.C.S.	56
Fotografía 15 Curva de Compactación - Mezcla con Cal.....	59
Fotografía 16 Curva de Compactación - Mezcla con Sal.	59
Fotografía 17 Comparación Límite Líquido Cal vs. Sal.....	62
Fotografía 18 Comparación Límite Plástico Cal vs. Sal.....	62
Fotografía 19 Comparación Índice de Plasticidad Cal vs. Sal.....	63
Fotografía 20 Comparación de Límite de Contracción Cal vs. Sal.	64
Fotografía 21 Variaciones de Índice de Expansión Libre Cal vs. Sal.....	66
Fotografía 22 Variaciones de Índice de Expansión Controlada Cal vs. Sal.....	67
Fotografía 23 Incremento del Porcentaje de C.B.R, utilizando los agentes estabilizadores óptimos.	68
Fotografía 24 Variaciones de porcentajes de hinchamiento con los diferentes agentes estabilizadores.	70

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Límites de tamaño de suelos separados.	11
Tabla 2 Actividad de algunos minerales constituyentes de los suelos.	23
Tabla 3 Método de Holtz y Gibs en función del índice de plasticidad.....	24
Tabla 4 Método U. S Army Waterways Experiment Station.....	24
Tabla 5 Método de Seed Woodward y Lundgren.	25
Tabla 6 Método de Raman (1967).....	27
Tabla 7 Método de Chen (1988).	27
Tabla 8 Método de Altmeyer(1955).	27
Tabla 9 Método de Henry (1965).....	28
Tabla 10 Contenido de humedad.	43
Tabla 11 Límites de Atterberg.	44
Tabla 12 Gravedad de sólidos.	44
Tabla 13 Límites de contracción.....	45
Tabla 14 Índice de contracción.....	45
Tabla 15 Granulometría por lavado.....	46
Tabla 16 Granulometría por hidrómetro.	47
Tabla 17 Expansiones.	48
Tabla 18 CBR de laboratorio.....	48
Tabla 19 Compactación Proctor Modificado.	49
Tabla 20 Límites de Atterberg Dosificación 3%,5%,7%.	50
Tabla 21 L.C. Estabilizante Cal.	50
Tabla 22 L.C. Estabilizante Sal.	51
Tabla 23 Estabilizante Cal.	51
Tabla 24 Estabilizante Sal.....	52
Tabla 25 CBR Óptimo de Cal.	52
Tabla 26 Porcentaje de hinchamiento en Cal.	52
Tabla 27 CBR Óptimo de Sal.....	52
Tabla 28 Porcentaje de hinchamiento en Sal.	53
Tabla 29 Estabilizante Cal.	53
Tabla 30 Estabilizante Sal.....	53
Tabla 31 Hinchamiento en campo utilizando sistema de geoceldas.	54
Tabla 32 Propiedades índice y granulometría de los suelos analizados.	56

Tabla 33 Resultados obtenidos, por compactación con cada porcentaje de agente estabilizador.	57
Tabla 34 Resultados obtenidos de Compactación con mezcla de Cal.....	58
Tabla 35 Resultados obtenidos de Compactación con mezcla de Sal.	58
Tabla 36 Parámetros para clasificar a los suelos expansivos.....	60
Tabla 37 Clasificación del potencial expansivo de los suelos ensayados.	60
Tabla 38 Comparación de resultados con agentes estabilizadores.	61
Tabla 39 Resumen de Límites de Atterberg.....	62
Tabla 40 Resultados Obtenidos con los agentes estabilizadores.	64
Tabla 41 Resultados Obtenidos de Ensayos de Expansión libre y controlada.....	66
Tabla 42 Obtención de resultados de CBR con porcentajes óptimos de Cal y Sal...68	
Tabla 43 Porcentajes de Hinchamientos Obtenidos con los agentes estabilizadores.	69
Tabla 44 Costo de m3 estabilizado con material existente.....	71
Tabla 45 Comparación entre el costo de mejoramiento vs. Porcentaje de Hinchamiento.	71
Tabla 46 Resultados Obtenidos de Ensayos.	73

INDICE DE ANEXOS

Anexo A Ensayo de Contenido de humedad.	80
Anexo B Ensayos de Límites de Atterberg.....	81
Anexo C Ensayo de Límite de Contracción.....	89
Anexo D Ensayo de Gravedad específica de los suelos.	98
Anexo E Ensayo Granulométrico.	99
Anexo F Ensayo de Expansión Libre.	101
Anexo G Ensayo de Expansión Controlada.....	110
Anexo H Ensayo de Proctor Modificado.	119
Anexo I Ensayo de CBR.	122
Anexo J Ensayo de Hinchamiento.	131
Anexo K Análisis de Precios Unitarios.	132
Anexo L Infograma.	135

ABREVIATURAS

SUCS Unified Soil Classification System (Sistema Unificado de Clasificación de los Suelos).

AASHTO American Association of State Highway and Transportation Officials (Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes).

ASTM American Society for Testing Materials (Sociedad Americana para Ensayos de materiales).

CBR California Bearing Ratio (Ensayo de Capacidad Portante del suelo).

LP Límite Plástico.

LL Límite Líquido.

IP Índice de Plasticidad.

LC Límite de Contracción.

IC Índice de Contracción.

**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL**

TEMA: “ESTUDIO COMPARATIVO DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE SUBRASANTE (SUELOS EXPANSIVOS), UTILIZANDO CAL, SAL Y GEOCELDAS, PARA IMPLEMENTACIÓN EN UNA NUEVA VÍA EN LA COMUNA BAJADITA DE COLONCHE DE LA PARROQUIA COLONCHE.”

Autores: Salinas Suárez John Edwards.
Villao Carvajal Ricardo Adrián.

Tutor: Campoverde Campoverde Daniel Rosendo.

RESUMEN

El trabajo a continuación se basa en el estudio de suelos expansivos existente en la comuna Bajadita de Colonche del cantón Santa Elena, para ser estabilizados como suelos a nivel de subrasante, utilizando tres métodos que consiste en realizar mezclas con cal y sal y también el uso de geoceldas, utilizando estos elementos para comparar el nivel de resistencia que cada uno de estos aporta, mejorando las propiedades geotécnicas del suelo de manera que se pueda disminuir su potencial expansivo, evaluando el costo-beneficio que entrega cada propuesta de estabilización. Para realizar los objetivos establecidos se realizó una calicata a cielo abierto para obtener el espesor del estrato a estudiar y se efectuaron ensayos de laboratorio para su análisis y experimentación con las combinaciones propuestas, aplicando luego porcentajes de cada estabilizante, se hicieron mezclas con cal utilizando 3%,5% y 7%, de la misma manera se procedió con la sal. Para el estudio de implementación de geocelda se procedió a una investigación de campo a pequeña escala aplicando el geosintético en el lugar de estudio, posteriormente se comprobó su resistencia como material estabilizante. Presentando algunas recomendaciones y sugerencias para mejorar el comportamiento del material expansivo y poder ser utilizado en construcciones en general.

Palabras Claves:

Calicatas: excavaciones de mediana a pequeñas profundidades que son realizadas comúnmente con herramientas manuales (pala), para reconocimientos geotécnicos o estudios pedológicos de un terreno.

Subrasante: es así como se conoce al suelo que sirve como fundación para el complemento estructural de un afirmado o pavimento.

Geocelda: producto fabricado con polietileno de alta densidad y soldadura ultrasónica que en función del calor logran un material estructural, flexible y durable para formar estructuras celulares y encierros tridimensionales.

Estrato: cuerpo o nivel generalmente tubular de roca o sedimento, con litología gradacional o homogénea, que en un intervalo de tiempo definido fue depositado.

Geotecnia: rama de la ingeniería civil e ingeniería geológica, encargada del estudio de las propiedades mecánicas, ingenieriles e hidráulicas de los materiales proveniente del medio geológico, aplicadas a las obras civiles.

Expansión: cambios que sufren los suelos cuando varían su contenido de humedad presentando hinchamiento o contracciones.

Coloides: definición que se le proporciona a la materia de tamaño submicroscópico menores de 0.002 mm, los materiales coloidales aportan al suelo gran cantidad de propiedades químicas y físicas.

**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL**

THEME: “COMPARATIVE STUDY OF SUBGRADE SOILS STABILIZATION (EXPANSIVE SOILS), USING LIME, SALT AND GEOCELLES, FOR THE IMPLEMENTATION IN A NEW HIGHWAY IN THE BAJADITA DE COLONCHE COMMUNE, COLONCHE PARISH”

Authors: Salinas Suárez John Edwards.
Villao Carvajal Ricardo Adrián.

Tutor: Campoverde Campoverde Daniel Rosendo.

SUMMARY

The work below is based on the study of expansive soils existing in the Bajadita of Colonche Commune, Santa Elena Canton, to be stabilized as subgrade soil, using three methods which consists of mixing with lime, salt and also the use of geocell, using these elements to compare the resistance level that these provide, improving soil geotechnical properties so that its expansive potential can be reduced, evaluating the cost-benefit of each stabilization proposal. For the established objectives an open pit calicatess was made to get the thickness of the stratum to study, laboratory tests were carried out for analysis and experimentation with the proposed combinations, and then applying percentages of each stabilizer, lime mixtures were made using 3 %, 5% and 7%, in the same way with the salt. For the study of geocell implementation a small-scale field research was carried out applying the geosynthetic at the place of study, subsequently its resistance was checked as a stabilizing material. Presenting some recommendations and suggestions to improve the behavior of expansive material and be used in general constructions.

Keywords:

Calicatus: excavations of medium to small depths that are commonly performed with hand tools (shovel), for geotechnical surveys or pedologists studies of a terrain.

Subgrade: this is how the soil is known as a foundation for the structural complement of a floor or pavement.

Geocell: product manufactured with high density polyethylene and ultrasonic welding that, depending on the heat, achieve a structural, flexible and durable material to form cellular structures and three-dimensional enclosures.

Stratum: generally tubular body or level of rock or sediment, with gradational or homogeneous lithology, which in a defined period of time was deposited.

Geotechnics: branch of civil engineering and geological engineering, responsible for the study of the mechanical, engineering and hydraulic properties of materials from the geological environment, applied to civil works.

Expansion: changes suffered by soils when their moisture content varies, presenting swelling or contractions.

Colloids: definition that is given to the material of submicroscopic size less than 0.002 mm, colloidal materials provide the soil with a lot of chemical and physical properties.

INTRODUCCIÓN

Para las obras de ingeniería civil el suelo es un factor muy importante debido que sobre este reposarán todo tipo de infraestructura, por ende, el territorio donde se valla a construir debe tener buenas condiciones para garantizar una buena estabilidad, durabilidad y resistencia de manera que pueda satisfacer las diversas demandas donde el material estará expuesto.

En la región costera del Ecuador algunas provincias cuentan con la presencia de suelos expansivos, estos actúan con constante inestabilidad y son perjudiciales para las obras civiles, por ende, es necesario utilizar métodos de estabilización para contrarrestar la expansión y contracción que este tipo de suelos produce debido a su alta plasticidad e inestabilidad de volumen que presenta con respecto a la variación de humedad. Para trabajar con estos suelos es indispensable modificar sus propiedades de manera que se evite que las construcciones que se realicen en estos terrenos experimenten deformaciones causadas por el cambio de volumen del suelo.

Los agrietamientos en muros y levantamiento de pisos son unos de los efectos provocados por la expansión, así como también la denominada piel de cocodrilo en las carreteras que se refiere a las fallas longitudinales o superficies onduladas que se presentan en los pavimentos, la composición y variedad de suelos que conlleva a métodos de estabilización aplicables a un cierto número de aquellos, el análisis es indispensable para conocer las características del material que requiera ser estabilizado y buscar un tratamiento oportuno para llevarle a cabo.

CAPÍTULO I

PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema

Los suelos expansivos son aquellos que muestran un cambio volumétrico significativo bajo la presencia de agua. Así, ciertas arcillas, en cuya composición entra a formar parte el mineral montmorilonita, tienen espacios entre las láminas que pueden absorber agua provocando su expansión. Estos materiales se conocen como arcillas expansivas o suelos expansivos, y son la causa de la mayoría de los problemas derivados de la construcción de carreteras o edificios en suelos que tengan esta capacidad.

En el Ecuador a lo largo de su litoral en partes de la Sierra y del Oriente existen territorios con suelos expansivos, pero sin embargo las provincias donde con mayor frecuencia se hace presente este tipo de suelos son las costeras tales como Esmeraldas, Manabí, el Oro, Guayas y Santa Elena cuya topografía y clima influyen considerablemente en la formación de dichos suelos (Crispulo, 1986)

En la Comuna Bajadita de Colonche existe terrenos con presencia de arcillas y limos expansivos las que provoca inestabilidad en las vías y cimentaciones allí existentes, El deficiente estado de conservación en el que se encuentra la vía, se debe principalmente al mal comportamiento de la subrasante, a la baja calidad de soporte ya que se encuentra frente a un material expansivo de elevada plasticidad, la sensibilidad del suelo a la humedad provoca variaciones volumétricas. Los cambios de volumen en un suelo expansivo como el que se presenta en dicha zona, pueden producir graves daños a las estructuras que se apoyan sobre este, por ello, al construir un pavimento se debe intentar en gran medida controlar las variaciones volumétricas del mismo a raíz de la humedad. La subrasante tiene la particularidad de otorgar la respuesta estructural y el comportamiento del pavimento en construcción y operación. Por tal motivo se busca contrarrestar este fenómeno para ello se debe analizar tipo de métodos estabilizadores que pueda aportar resistencia a este territorio. Existen diferentes alternativas para mejorar este material, una de estas es el remplazo del suelo por otro que no posea características expansivas o también aislamiento o reducción de potencial expansivo por medio de estabilización mecánica o química.

1.2 Alcance

El presente estudio pretende determinar las características físico-mecánicas de los suelos expansivos. El cambio en las propiedades del suelo, una vez que se haya realizado la estabilización con cal, sal y geoceldas, comparar los resultados obtenidos en el laboratorio de manera que se pueda determinar cuál es la alternativa más confiable, favorable, óptima y económica para la estabilización de suelos de subrasante para esta zona de estudio, así como también la determinación del porcentaje óptimo requerido de estabilizante para lograr la disminución del potencial de expansión o contracción del material del sitio.

En el proyecto se involucran ensayos de laboratorio como la determinación del CBR que ayudará a comprobar el grado de hinchamiento del suelo que se encuentran en el sector, ensayos de expansión, determinación de los límites de Atterberg, límites de contracción y el análisis costo-beneficio de los tres tipos de métodos que se han mencionado, estudiando sus propiedades físicas y condiciones externas para exponer a través de un análisis comparativo el comportamiento de las tres opciones de estabilización. Se usaron varias muestras de mezclas estabilizadoras con diferentes dosificaciones para evaluar su plasticidad, además de ensayos de laboratorio que respalden resultados confiables para realizar el análisis comparativo pertinente. Se realizó el ensayo de Proctor Modificado y CBR al porcentaje óptimo de sal y cal obtenido también estudiando el trabajo de la geocelda para comprobar el porcentaje de expansión que cada elemento controla en la subrasante.

1.3 **Justificación**

Es necesaria la realización de estudios geotécnicos que permitan conocer las propiedades del suelo existente, identificar su problemática y dar soluciones ingenieriles de estabilización con los tres materiales antes mencionados, analizando y escogiendo técnicamente, el mejor material que servirá para ser utilizado en vías terrestres, y a su vez los costos y beneficios de cada uno de ellos.

El mejoramiento de los suelos ha atendido a diversos requerimientos, tales como la reducción de la expansividad, la estabilidad volumétrica ante la presencia de agua, entre otros, buscando en todos los casos, un buen comportamiento del suelo y de la estructura que se coloque sobre ellos, a lo largo de su vida útil (Paul Garnica Anguas, 2002)

En el diseño de la estabilización de un suelo se deben tener presentes las variaciones que se esperan obtener en lo que se respecta a la estabilidad volumétrica, resistencia mecánica, permeabilidad, durabilidad y compresibilidad. El diseño de estabilizaciones con agentes estabilizantes, consiste en llevar a cabo una adecuada clasificación del suelo, con la cual se determina el tipo y cantidad de agente estabilizante. El método de diseño obviamente depende del uso que se pretenda dar al suelo estabilizado en este caso para subrasante.

1.4 **Objetivos**

1.4.1 **Objetivo general**

Comparar métodos de estabilización de suelos expansivos a través de muestras de suelo examinadas en el laboratorio, para evaluar su eficiencia respecto a disminuir o eliminar la expansividad del material existente.

1.4.2 **Objetivos específicos**

- Analizar en el laboratorio las propiedades de los suelos expansivos existentes en la comuna bajadita de Colonche.
- Observar la plasticidad y potencial de expansión del suelo mezclado con sal y cal.
- Analizar el proceso de estabilización que aporta la geoceldas sobre este tipo de terrenos midiendo el potencial de expansión que este geosintético controla.
- Evaluar el costo de cada método de estabilización utilizado.

1.5 **Hipótesis**

Con la estabilización de suelo mediante la mezcla con sal y sal o el uso de geoceldas se puede reducir o eliminar las propiedades expansivas de los suelos y poder construir sobre este tipo de material estabilizado.

1.6 **Operacionalización de las variables**

1.6.1 **Variable independiente**

Estudio comparativo (cal, sal y geoceldas)

1.6.2 **Variable dependiente**

Estabilización de suelos.

1.7 Metodología

Para caracterizar el suelo existente, se realizó tomas de muestras del suelo ejecutando una calicata a cielo abierto de la subrasante para verificar sus propiedades expansivas, se tomó aproximadamente 200 kg de muestra. Luego con esta se realizaron varios ensayos en el laboratorio, los mismos se describen a continuación:

- Determinación del contenido de humedad del suelo según la Norma ASTM D 2216 – 98.
- Determinación de limite líquido, limite plástico e índice de plasticidad de los suelos Norma ASTM D 4318 – 05
- Determinación de la contracción volumétrica Norma ASTM D 427 - 98.
- Granulometría de los agregados finos método hidrométrico ASTM D 422 – 63 y por lavado según ASTM C 117 – 03.
- Ensayos para determinar el CBR Norma ASTM D 1883 – 16 Método de prueba estándar para California Bearing Ratio de suelos compactados en laboratorio.
- Ensayo de expansión libre y controlada, según la Norma I.N.V.E. – 173 – 07 Método para medir el potencial de asentamiento o expansión unidimensional.
- Ensayo de proctor modificado para determinar la relación humedad – densidad de suelos y mezclas de suelo – agregado Norma ASTM D 1557 – 78.

Luego se realizó el tratamiento de estabilización del suelo con cal y sal, utilizando porcentajes de 3%, 5% y 7% correspondiente al mezclado del suelo seco con estos elementos, posterior a esto, se ejecutaron los ensayos descritos en el punto anterior. En el caso de la geocelda se estudió su comportamiento al ser sometido a un ensayo de expansión en campo y en laboratorio recubriendo el suelo con este elemento observando su cambio de volumen.

Se compararon resultados que se obtuvieron en el laboratorio del estudio de estas aleaciones con el suelo expansivo de la zona, por último, se evaluó el costo-beneficio entre las alternativas mencionadas anteriormente.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Suelos Expansivos

Aquellos suelos que llegan a presentar expansiones o contracciones en la masa de un material, es decir que tienden a producir cambios de volumen cuando varía el contenido de humedad del suelo, se los conoce como suelos expansivos. Existen materiales que contienen arcilla, los cuales ostentan la propiedad de absorber mucha humedad y retenerla debido a la estructura que poseen, la humedad que es absorbida provoca un incremento del volumen en el material, y sucede también que una vez que la humedad que había absorbido se pierde, causa una reducción del volumen y provoca las contracciones del material.

Los suelos expansivos son percibidos de tipo arcilloso inestable, específicamente cuando estos se encuentran en presencia de humedad, debido a los cambios de volumen que presentan cuando se da este fenómeno, de aquí es que provocan los daños significativos en edificaciones que estén cercanos a estos tipos de suelos, por lo que en el caso de presentar ya sea una expansión o contracción del material, causan grietas en paredes o en su defecto, un problema sumamente importante hacer fallar los edificios afectando directamente las cimentaciones.

Es muy complicado predecir cuándo se vaya a provocar una expansión y contracción en el suelo, esto se da principalmente por las características que el suelo presente y obviamente por la humedad que exista en esos suelos. La retracción, cuyo nombre específico en el ámbito de suelos, se conoce como contracción se puede evidenciar secando el suelo y calculando la relación entre el volumen y la humedad de saturación; si los resultados obtenidos son bajos en relación al límite de contracción, inducirá una mayor retracción al suelo, y para determinar el fenómeno de la expansión, esta se puede alcanzar por medio de métodos directos como son ensayos de expansión libre y presión de hinchamiento.

2.2 Origen.

Como se mencionó de forma explícita anteriormente, los suelos expansivos se los encuentra en zonas donde exista variedad del contenido de humedad; es decir de aquí su origen, se pueden presentar en lugares donde existan precipitaciones frecuentes o en su defecto, sectores donde llueva y posterior a un tiempo determinado llegue la sequía, ya que por estos motivos puedan provocar expansiones y contracciones.

El compuesto se da debido al tipo de roca a la cual se exhibió a la meteorización, razón de donde provienen los minerales arcillosos. En consecuencia, por el mineral arcilloso que se obtenga, este dependerá de las características tanto físicas como químicas de la roca madre, la topografía, las situaciones climáticas, aquellas que son las de mayor relevancia para su origen, la vegetación, entre muchos otros.

Los materiales que son originarios de la formación de suelos expansivos, se los puede clasificar en dos grupos, en la cual uno de ellos contiene a las rocas ígneas como los basaltos, los gabros, noritas y doloritas. El otro grupo consiste en rocas sedimentarias, en las que abarcan minerales montmoriloníticos, los cuales se componen en un material básico para la formación de suelos expansivos, es decir son las principales para su formación. (Ballinas Mijangos, 2006)

2.3 Tipos.

Como su nombre lo indica, los suelos expansivos se pueden identificar por su alto potencial de hinchamiento que estos suelos contienen, debidamente se le llama suelo expansivo a cualquier suelo que tiene en sus componentes minerales como caolinitas, ilitas y montmorilonitas. Los minerales activos identificados que provocan este tipo de comportamiento son la montmorilonita, la vermiculita y algunas haloisitas, estos son considerados como tal ya que poseen la capacidad de absorber moléculas de agua dentro de su propia estructura molecular. Los suelos expansivos se clasifican según su potencial de expansión como muy alto, alto, medio y bajo, esto de acuerdo a los resultados que se puedan obtener para cada suelo cuando se realizan ensayos de límite líquido, límite plástico, contenido de partículas coloidales y límite de contracción. Un suelo altamente expansivo es considerado así por tener resultados muy elevados para los primeros tres criterios y resultados bajos para el límite de contracción.

2.4 Características Generales.

El tratamiento de este tipo de suelos, se da por mostrar una gran cantidad de partículas de minerales de arcillas como ya se ha mencionado, tienen la habilidad de absorber porcentajes elevadas de agua, y de la derivación de ello sufren considerables cambios de volumen, esto debido a la humedad absorbida. La estructura mineralógica, su composición cristalina y la potestad para intercambiar cationes que posean las partículas, son particularidades por las cuales se dan estos cambios o alteraciones volumétricas.

En los suelos expansivos existen variaciones por las cuales se da el comportamiento de estos, existe el efecto de retracción de las arcillas por pérdida de humedad, la expansión o hinchamiento del suelo por aumento de humedad, o la generación de una presión de aumento de humedad que ayude a controlar el hinchamiento cuando el suelo presente agentes externos, la cual incita restricción del suelo a la expansión vertical.

Los dos efectos principales que se dan en suelos expansivos son: la retracción que se da por desecación, es decir cuando la humedad absorbida se seca, y por otro lado el efecto de expansión que se da por el agua que absorben estos suelos. De aquí la importancia del estudio, por las innumerables obras que se puedan ejecutar y tener una solución en dichos suelos.

2.5 Composición de las arcillas expansivas.

Los suelos se clasifican de forma general como grava, arena, limo o arcilla, pero esto varía de acuerdo al tamaño predominante de las partículas. Es por esta cuestión que varias organizaciones desarrollaron límites de tamaño de suelo separado para describir las partículas del suelo que la componen. La tabla 1, muestra los límites de tamaño de suelo separado desarrollados por el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT), el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA), la Asociación Americana de Funcionarios de Carreteras Estatales y del Transporte (AASHTO), el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de Estados Unidos, y la Oficina de Restauración de Estados Unidos. En esta tabla, el sistema MIT se presenta únicamente para fines ilustrativos porque juega un papel importante en la historia del desarrollo de los límites de tamaño de suelo separado. Sin embargo, en la actualidad el Sistema Unificado es casi

universalmente aceptado. El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) ha sido adoptado por la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM). (Das B. M., Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones, 2001)

Las gravas son fragmentos de rocas ocasionalmente con partículas de cuarzo, feldespato y otros minerales. Las partículas de arena están formadas principalmente de cuarzo y feldespatos, aunque también están presentes, a veces, otros granos minerales. (Das B. M., Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones, 2001)

Los limos son fracciones microscópicas de suelo que consisten en granos muy finos de cuarzo y algunas partículas en forma de escamas (hojuelas) que son fragmentos de minerales micáceos. (Das B. M., Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones, 2001)

Las arcillas en general tienen la propiedad de contraerse cuando se secan, dependiendo de la humedad absorbida, poseen una alta cohesión, son compresibles y cuando se aplica alguna carga en su superficie éstas se comprimen lentamente (Sowers, G, 1994)

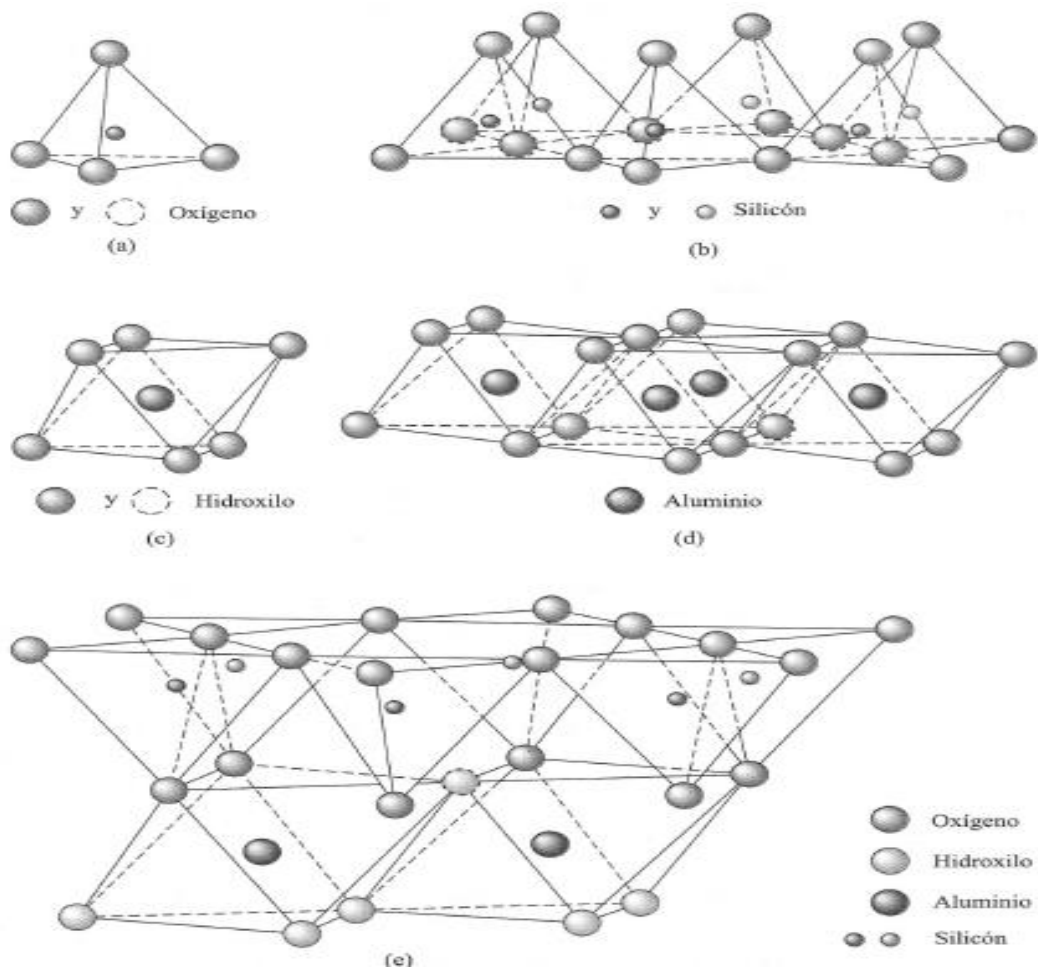
Tabla 1 Límites de tamaño de suelos separados.

Nombre de la organización	Tamaño del grano (mm)			
	Grava	Arena	Limo	Arcilla
Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT)	>2	2 a 0.06	0.06 a 0.002	< 0.002
Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA)	>2	2 a 0.05	0.05 a 0.002	< 0.002
Asociación Americana de Funcionarios del Transporte y Carreteras Estatales (AASHTO)	76.2 a 2	2 a 0.075	0.075 a 0.002	< 0.002
Sistema unificado de clasificación de suelos (U.S. Army Corps of Engineers; U.S. Bureau of Reclamation; American Society for Testing and Materials)	76.2 a 4.75	4.75 a 0.075	Finos (es decir, limos y arcillas) < 0.075	

Fuente: (Das B. M., Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones, 2001)

2.5.1 Minerales arcillosos

Los minerales arcillosos son complejos silicatos de aluminio compuestos de una o dos unidades básicas: tetraedro de sílice y octaedro de alúmina. Cada tetraedro consiste en cuatro átomos de oxígeno que rodean a un átomo de silicio (figura 1.a). La combinación de unidades de tetraedros de sílice da una lámina de sílice (figura 1.b). Tres átomos de oxígeno en la base de cada tetraedro son compartidos por tetraedros vecinos. Las unidades octaédricas consisten en seis hidroxilos que rodean un átomo de aluminio (figura 1.c), y la combinación de las unidades octaédricas de hidroxilos de aluminio dan una lámina octaédrica (también llamada lámina de gibbsita; figura 1.d). En ocasiones el magnesio reemplaza los átomos de aluminio en las unidades octaédricas; en tal caso, la lámina octaédrica se llama lámina de brucita. (Das B. M., Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones, 2001)



Fotografía 1 (a) Tetraedro de sílice; (b) lámina de sílice; (c) octaedro de alúmina (óxido de aluminio); (d) lámina octaédrica (gibbsita); (e) lámina elemental de sílice-gibbsita (según Grim, 1959).

Fuente: (Das B. M., Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones, 2001)

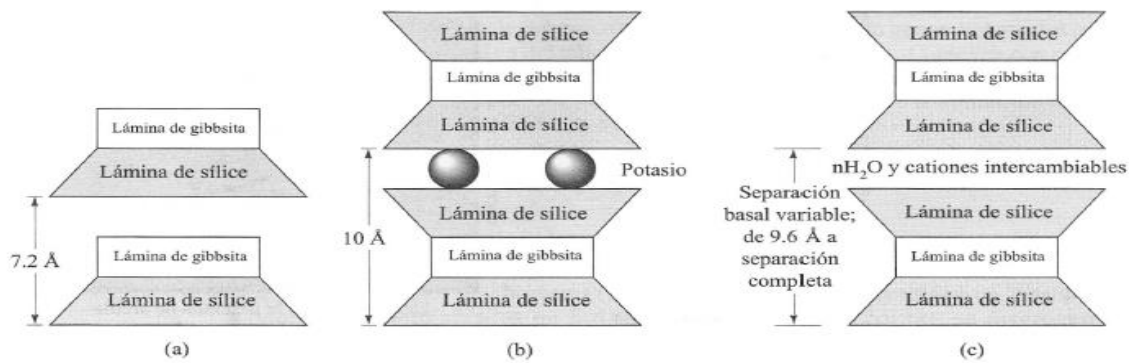
2.6 Grupo de minerales arcillosos expansivos

En una lámina de sílice, cada átomo de silicio con una valencia positiva de cuatro está unido a cuatro átomos de oxígeno con una valencia negativa total de ocho. Pero cada átomo de oxígeno en la base del tetraedro está unido a dos átomos de silicio; significa que el átomo superior de oxígeno de cada tetraedro tiene una carga de valencia negativa de uno por ser contrabalanceada. Cuando la lámina de sílice es colocada sobre la lámina octaédrica, como muestra la figura 2.e, esos átomos de oxígeno reemplazan a los hidroxilos para satisfacer sus enlaces de valencia. (Das B. M., 2001)

La caolinita consiste en capas repetidas de láminas elementales de sílice-gibbsita, como muestra la figura 2.a. Cada capa es aproximadamente de 7.2 Å de espesor y se mantienen unidas entre sí por enlaces hidrogénicos. La caolinita ocurre como placas, cada una con una dimensión lateral de 1000 a 20,000 Å Y un espesor de 100 a 1000 Å. El área superficial de las partículas de caolinita por masa unitaria es aproximadamente de 15 m²/g. El área superficial por masa unitaria se define como superficie específica. (Das B. M., 2001)

La illita consiste en una lámina de gibbsita enlazada a dos láminas de sílice, una arriba y otra abajo (figura 2.b), y es denominada a veces mica arcillosa. Las capas de illita están enlazadas entre sí por iones de potasio. La carga negativa para balancear los iones de potasio proviene de la sustitución de aluminio por silicio en las láminas tetraédricas. La sustitución de un elemento por otro, sin cambio en la forma cristalina, se conoce como sustitución isomorfa. Las partículas de illita tienen generalmente dimensiones que varían entre 1000 y 5000 Å y espesores de 50 a 500 Å. La superficie específica de las partículas es aproximadamente de 80 m²/g. (Das B. M., 2001)

La monmorilonita tiene una estructura similar a la illita, es decir, una lámina de gibbsita intercalada entre dos láminas de sílice (figura 2.c). En la monmorilonita hay sustitución isomorfa de magnesio y hierro por aluminio en las láminas octaédricas. Los iones de potasio no están aquí presentes como en el caso de la illita y una gran cantidad de agua es atraída hacia los espacios entre las capas. Las partículas de monmorilonita tienen dimensiones laterales de 1000 a 5000 Å Y espesores de 10 a 50 Å. La superficie específica es aproximadamente de 800 m²/g. (Das B. M., 2001)



Fotografía 2 Diagrama de las estructuras de (a) colinita; (b) illita; (c) monmorilonita
Fuente: (Das B. M., Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones, 2001)

2.7 Factores que influyen en el proceso de expansión

La expansión o hinchamiento es aquel fenómeno que se da por varios factores como los que se detallan a continuación.

2.7.1 Tipo de materiales y cantidad

Para poder estimar o valorar el potencial de hinchamiento que posee una muestra de suelo, lo primero que se debe realizar es determinar la cantidad de partículas de mineral arcilloso por las cuales está compuesto ese suelo, esto quiere decir, que se debe establecer la cantidad de caolinita, illita, montmorilonita o vermiculita.

Por lógica, se define que el fenómeno de expansión será considerablemente mayor, cuando existe presencia de partículas potencialmente expansivas, es decir partículas de montmorilonitas, provocando que el suelo sea propenso a un mayor cambio de volumen o hinchamiento.

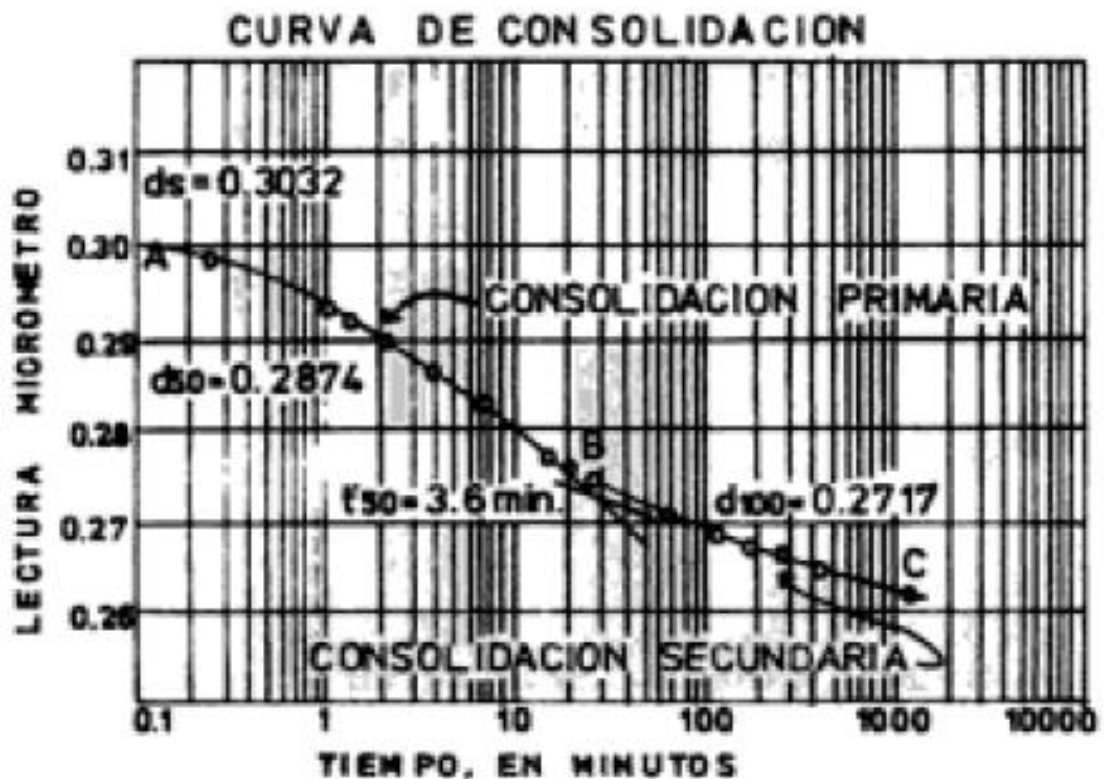
Otro factor importante para que se logre este fenómeno, se debe al tamaño de las partículas del suelo, por conceptos generales y por estudios realizados por varias organizaciones se conoce que las partículas de minerales arcillosos son por lo general menor a 2 micras, es decir, mientras que las partículas son aún más pequeñas que esta cantidad, obviamente existirá mayor posibilidad de que contenga minerales arcillosos, y por consecuencia de que se comporte como un suelo expansivo.

2.7.2 Densidad seca

Cuando el valor de la densidad seca inicial aumenta, y cuando la humedad inicial sea la menor posible, el suelo estará expuesto a este fenómeno, esto porque si su humedad incrementa progresivamente, el grado de saturación también lo hace, por consiguiente, por lo tanto, la expansión será mayor, en un suelo poco saturado.

2.7.3 Grado de pre consolidación.

La consolidación del suelo se define como la expulsión de agua y aire que se encuentran atrapados en los poros, causado por la aplicación de cargas, se conoce que estos esfuerzos son producidos, ya sea por el peso propio, o en su defecto por el peso de estructuras que se fundan sobre él.



Fotografía 3 Curva de consolidación.

Fuente: (Villalaz, 2004)

Los suelos que son de origen arcillosos son aquellos que generalmente presentan problemas de asentamientos debido a la consolidación.

Como se muestra en la figura 6, y por conocimientos previos, se sabe que existen dos tipos de consolidación, la primaria y secundaria. La consolidación primaria se debe principalmente a la eliminación de aire y agua existente en los poros, provocando la deformación del suelo cuando se aplica una carga. Por otro lado, la consolidación secundaria, se produce por la reubicación de las partículas del suelo, la cual es una teoría completamente no comprobada.

Para determinar la expansión de un suelo, existe un factor integrante como es el grado de preconsolidación, para ello se han ejecutado pruebas inalteradas y alteradas o compactadas que sobrevalúan la expansión que se podría presentar en un estudio de suelo, en el caso de suelos normalmente consolidados, de acuerdo a estas dos pruebas ejecutadas, se lograron efectos aproximados con un mismo grado de humedad, no obstante a lo sucedido con suelos pre consolidados, en donde los resultados varían, porque la compactación provoca una variación de las uniones entre partículas, que a consecuencia de ello produce una expansión mucho mayor que la que se presentaría en el terreno natural.

2.7.4 Succión.

Cuando existe succión en un determinado suelo, este por consecuente cambiará de volumen, por tanto, este problema está muy ligado al fenómeno de expansión, por conceptualidad se conoce que la succión es un fenómeno capaz de absorber agua, y mientras mayor sea la presión de absorción, existirá mayor succión.

2.7.5 Tiempo y permeabilidad.

La mayoría de minerales arcillosos con potencial de expansión alto, tienen una permeabilidad bastante baja, por lo que son impermeables. Existen arcillas con mejores propiedades de permeabilidad y que pueden generar mayor expansión que las arcillas impermeables, esto con respecto al tiempo de exposición y contacto que tengan con él agua, un ejemplo claro es cuando existen precipitaciones, la lluvia puede tener duraciones de ciertos minutos, y esto no provocará la saturación en arcillas impermeables, lo contrario sucede en arcillas poco permeables, debido a que el agua se infiltra provocando cambios de humedad, pero claro está que esto sucede solo cuando el tiempo de contacto con el agua sea considerable.

2.7.6 Humedad.

Un factor sumamente importante y por el cual se produce expansión en un suelo, se denomina humedad. Las principales problemáticas que provocan los cambios en el contenido de humedad en un suelo se especifican a continuación:

El clima: originado por situaciones en las que existen variaciones temporales muy marcadas, como son periodos de sequía y de lluvia en algunos meses, esta situación se da principalmente en países tropicales, como es el caso de nuestro país, en este caso se menciona la región costa. De acuerdo a estudios realizados, se ha comprobado que las alteraciones de humedad en el suelo afectan hasta una profundidad entre 2 y 4 metros, aquella que está comprendida en este rango se denomina capa activa y es en esta en la que se pueden producir los cambios de volumen.

Rotura de tuberías, y elevación del nivel freático: Se dan repentinamente, produciendo cambios de humedad en el suelo, y produciendo hinchamientos que pueden afectar a estructuras especialmente cuando existe un levantamiento del suelo (Jesús Ayuso Muñoz, 2010)

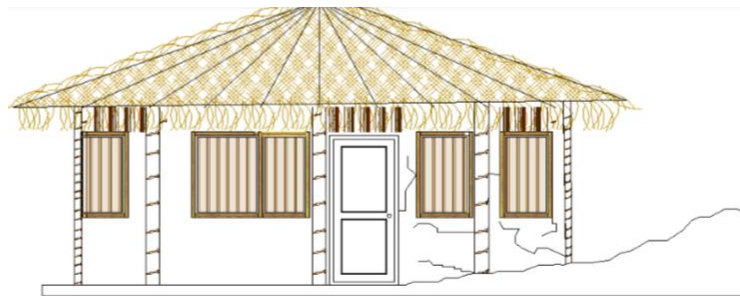
2.8 Modelos característicos de fallas en obras civiles.

Como ya se ha mencionado anteriormente los factores que producen la expansión o contracción de los suelos, también se debe recordar los cambios de humedad que producen este fenómeno, aquellos que incitan a que se generen distintos patrones de falla, debido a la excesiva humectación del suelo o por la desecación del mismo, como subsiguiente se analizarán dos temas primordiales como son la expansión y la retracción.

2.8.1 Deformación por expansión localizada.

Cuando no se posee con un buen drenaje adecuado ya sea en cualquier parte de una estructura, se producen las expansiones localizadas, esto puede ser por la escorrentía superficial que produce una ladera que se encuentre ubicada a cualquier sector del perímetro de la estructura, y que a su vez por estas circunstancias genera acumulaciones de aguas lluvias o por ende que se produzcan infiltraciones, de ahí la causa de la deformación por expansión localizada en un solo sitio. Conocer las causas

de severos daños que se producen en las estructuras, es tener en claro que esto ocurre cuando existen excavaciones para realizar cimentaciones junto a estructuras ya existentes, un claro ejemplo, se puede dar cuando se realizan excavaciones en zonas activas donde domina la presencia de suelos expansivos y a su vez mencionadas excavaciones se las mantienen por un determinado tiempo sin considerar estas zonas activas provocan estos grandes daños estructurales.



Fotografía 4 Definición por expansión localizada.

Fuente: (Ballinas Mijangos, 2006)

2.8.2 Deformación por contracción localizada.

Este fenómeno se da cuando se produce la desecación del suelo, es decir la humedad que había absorbido se seca por factores naturales, como se mencionó anteriormente puede ser por el clima que exista en tal lugar, situación que produce el secado natural del suelo, provocando la contracción localizada que se extiende aproximadamente a lo largo de las raíces, debido a esta situación se generan daños estructurales o de la mampostería de la vivienda por los asentamientos diferenciales en uno o varios sectores colindantes.



Fotografía 5 Deformación por contracción localizada.

Fuente: (Ballinas Mijangos, 2006)

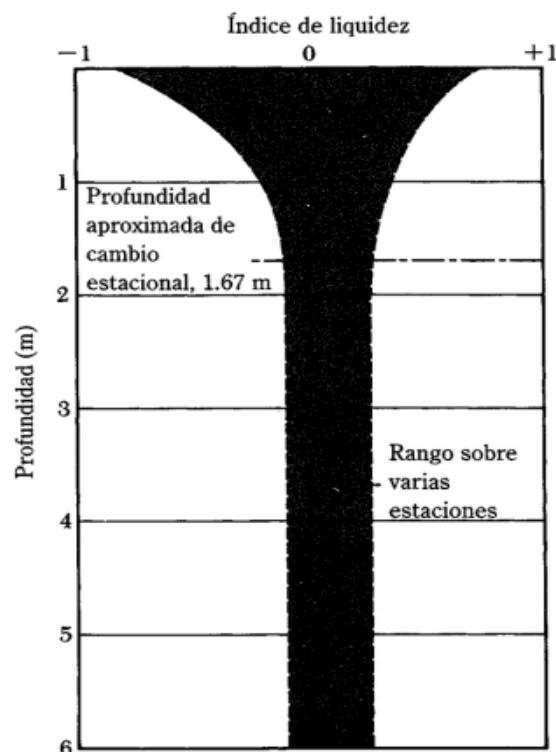
2.9 Definición de la zona crítica y humedad de equilibrio.

2.9.1 Zona activa o crítica

Un concepto sumamente que importante en el momento de evaluar las diferentes problemáticas que causan los suelos expansivos, es el de la profundidad de la zona activa, que se establece como la máxima profundidad en la que se producen cambios estacionales de humedad.

Cuando se producen estos cambios, se supone que por debajo de este nivel existirá y se obtendrá un contenido de humedad constante, en la cual se evita que se produzcan los fenómenos de expansión y contracción. Si se produce un exceso de agua en la superficie o si existe un cambio en la evotranspiración, variará el contenido de humedad, lo que conlleva a provocar expansiones en el suelo. Graficando el Índice de liquidez vs. La profundidad del perfil del suelo a lo largo de varias estaciones, se puede determinar la profundidad de la zona activa, la cual varía dependiendo de la ubicación.

Por último, hay que tomar en cuenta un factor importante como es la profundidad del nivel freático, que se conoce que la expansión finaliza por debajo de la posición del nivel freático, pero puede afectar si existen o se producen fluctuaciones del mismo a causa de las condiciones climáticas, esto dependiendo del lugar.



Fotografía 6 Zona activa en una formación Beaumont del área de Houston.
Fuente: (Das B. M., Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones, 2001)

2.9.2 Humedad de equilibrio

La humedad de equilibrio es otro factor muy importante en el estudio de los suelos expansivos, que se identifica como la insaciabilidad natural del suelo con el agua, es decir que, si la humedad natural que posee el suelo es menor a la humedad de equilibrio, el suelo logrará aquella humedad de equilibrio, lo que provoca el proceso de expansión. Dependiendo de la profundidad del suelo se obtiene un equilibrio del contenido de humedad del mismo.

2.10 Identificación de arcillas expansivas

Por avances y estudios que ya se han realizado hasta la actualidad, existen muchos criterios para identificar la expansión de un suelo detallados a continuación:

- ✓ Identificación de campo.
- ✓ Métodos mineralógicos.
- ✓ Métodos indirectos.
- ✓ Métodos directos

2.10.1 Identificación de campo

Es un método que requiere principalmente de la experiencia, debido a que se debe tener en cuenta algunos indicadores solo haciendo un reconociendo visual.

Se detallan los siguientes indicadores a tener en cuenta en una identificación de campo:

Grietas por secado. – En periodos de sequía se pueden observar en la superficie del suelo grietas y que una vez agrupadas tienen la forma de polígonos, este es un indicador para determinar que son suelos expansivos.

Plasticidad. – Su comportamiento es como la plastilina.

Textura. - Los suelos expansivos cuando están expuestos al agua son resbaladizos, y suelen adherirse a llantas o zapatos.

Daños estructurales. – Cuando se pueden observar hinchamientos de superficies, grietas, o alguna otra falla, este es un indicador importante para aseverar que existen suelos expansivos (Oswaldo, 2006).

2.10.2 Métodos mineralógicos

Cuando se estudian las propiedades mineralógicas de las arcillas, se torna complejo debido a que no se trata de la misma manera con respecto a suelos gruesos, en este caso las arcillas se comportan de acuerdo a la influencia que tienen su estructura en general y su constitución mineralógica en particular.

De acuerdo a lo conocido sobre la estructura reticular de los minerales de arcilla, se consideran en tres grupos básicos; caolinitas, ilitas, vermiculitas y montmorilonitas, siendo estas últimas el mineral que mediante ensayos se intentan revelar ya que es el mineral más expansivo. Los métodos que existen son varios, sin embargo, entre los más importantes se tiene:

Difracción de RX. – Su función principal es establecer los porcentajes de minerales de arcillas por los que se encuentra compuesto el suelo, es el más utilizado en este tipo de métodos

Análisis térmico diferencial. - El objetivo es visualizar los cambios que sufre la muestra de suelo en estudio pues una arcilla registra claros cambios debido a la temperatura ya sean estas pérdidas de peso, reacciones endotérmicas, dilataciones, contracciones, y transformaciones mineralógicas.

Microscopio electrónico de barrido SEM. - por medio de este equipo y la ayuda de su haz de electrones se puede obtener información microestructural de materiales sólidos estudiándolos con una capacidad de tres dimensiones su morfología, tamaño del grano y composición de superficie. (Oswaldo, 2006)

2.10.3 Métodos indirectos

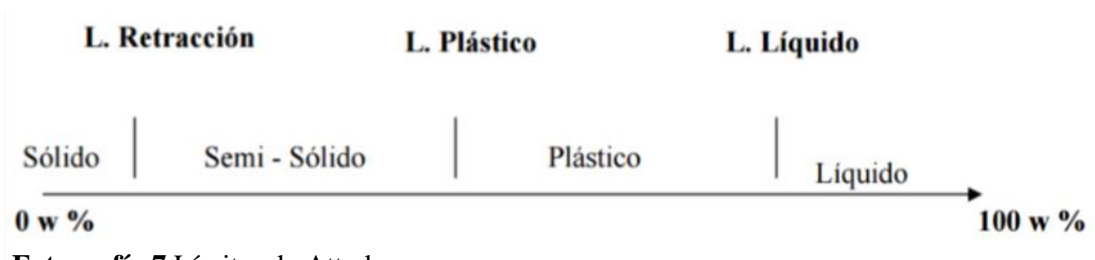
Como todo estudio, existen ventajas y desventajas sobre los métodos indirectos. La desventaja es que los datos son muy inestables, es decir son los resultados cualitativos, y la ventaja es la facilidad con la que se puede obtener estas propiedades, porque los equipos con que se realizan estas prácticas se los pueden encontrar en todos los laboratorios de suelos.

2.10.4 Parámetros y propiedades.

Estos métodos se basan en la determinación de algunas propiedades de los suelos las mismas que son:

Límites de consistencia de Atterberg.

Los suelos arcillosos en general poseen de media a alta plasticidad, propiedad de los suelos cohesivos para deformarse hasta cierto punto sin romperse. Para poder determinar el valor de la plasticidad se hace uso de los denominados límites de Atterberg, denominados así por su autor, el cual se encargó de diferenciar los estados de consistencia en los que se encuentra un suelo, que son: sólido, semisólido, plástico y líquido. (Oswaldo, 2006)



Fotografía 7 Límites de Atterberg.

Fuente: (Villalaz, 2004)

Límite líquido (L.L): Se define como el porcentaje de humedad, con relación al peso seco de la muestra, con el cual se produce el cambio de estado de la muestra, del líquido al plástico. La cohesión es casi nula cuando el suelo se encuentra en su límite líquido.

Límite plástico (L.P): Es el porcentaje de humedad con relación al peso seco de la muestra, con el cual los suelos cohesivos pasan de un estado plástico a semisólido.

Índice de plasticidad (I.P): Es la diferencia numérica entre el límite líquido y plástico.

Límite de contracción (L.C): Porcentaje de humedad con relación al peso seco de la muestra, con el que, al disminuir el agua en cierta cantidad, ya no se ocasiona más reducción del volumen de la muestra. Es el porcentaje de humedad, en el cual el suelo pasa de estado semisólido a sólido. (Oswaldo, 2006)

Contenido de Coloide, partículas menores a 0.002mm.

El contenido de partículas menores a 0.002 mm, como se mencionó anteriormente es un factor influyente en su comportamiento, porque mientras posea un mayor contenido de partículas coloidales menor a 2 micras, la probabilidad de que el suelo mantenga un potencial de hinchamiento relativamente alto es mucho mayor. La actividad de las arcillas está relacionada con la fracción de arcilla existente en el suelo, ya que se ha determinado que mientras mayor sea el I.P del suelo, existen más propiedades coloidales en la arcilla. (Skempton, 1993, (Oswaldo, 2006)), desarrollo esta ecuación para determinar la actividad coloidal de una arcilla:

$$Actividad = \frac{I.P}{\% \text{ partículas } < 2\mu} \quad (1)$$

La actividad que poseen los minerales importantes en los suelos se muestra en la tabla 2.

Tabla 2 Actividad de algunos minerales constituyentes de los suelos.

MINERAL	ACTIVIDAD
Cuarzo	0.00
Halloysita	0.02-0.07
Metahalloysita	0.07-0.16
Calcita	0.18
Mica (moscovita)	0.23
Colinita	0.01-0.41
Illita	0.23-0.80
Atapulgita	0.57-1.23
Montmorillonita (Ca, Mg, K, NH ₄)	0.32-3.09
Montmorillonita (Na, Li)	1.12-11.5

Fuente: (Jimenez Salas, J.A., y De Justo Jalapeños, J.L., 1975)

2.10.5 Métodos comúnmente utilizados.

Una vez, mencionados las propiedades y parámetros sobre los métodos indirectos, se detallan a continuación las metodologías que permiten tener conocimiento sobre el grado de expansión de los suelos:

Método de Holtz y Gibbs.

Este método utiliza el índice de plasticidad, el contenido de coloides y el límite de contracción para calificar el grado de expansividad como se da a conocer en la Tabla 3. (Oswaldo, 2006)

Tabla 3 Método de Holtz y Gibbs en función del índice de plasticidad

Contenido Coloidal (%)	≤15	13-23	20-31	>28
Índice Plástico (%)	≤18	15-28	25-41	>35
Límite de Contracción (%)	≥15	16-10	12-7	<11
Grado de expansión	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto

Fuente: (Das B. , 2012)

Método U.S. Army Waterways Experiment Station.

Es un método indirecto que emplea los límites de Atterberg y la expansión potencial, para una mejor interpretación se muestra la tabla N° 4.

Tabla 4 Método U. S Army Waterways Experiment Station.

Límite Líquido	Índice de Plasticidad	Expansión Potencial (%)	Clasificación de la expansión potencial
<50	<25	<0.5	Baja
50-60	25-35	0.5-1.5	Marginal
>60	>35	>1.5	Alta
Expansión potencial= Expansión vertical bajo una presión igual a la presión de sobrecarga			

Fuente: (Jesús Ayuso Muñoz, 2010)

Método de Seed, Woodward, y Lundgren.

Estos autores en 1962, llegan a una correlación entre el porcentaje de hinchamiento y el índice de plasticidad, esto bajo una sobrecarga de 1 psi, de muestra compactada

basada en el ensayo del Proctor Modificado y la humedad óptima, para lo cual determinaron la siguiente ecuación:

$$S = 60K(IP)^{2.44} \quad (2)$$

De donde:

S= Potencial de expansión de hinchamiento.

K= 3.6×10^{-5}

IP= Índice de Plasticidad del suelo.

Tabla 5 Método de Seed Woodward y Lundgren.

Potencial de expansión	0-1.5	1.5-5	5-25	>25
Índice de Plasticidad	0-15	10-35	20-55	>55
Potencial de Hinchamiento	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto

Fuente: (Jimenez Salas, 1980)

Este método es de gran utilidad y es aplicable a suelos con contenidos de arcilla que varía del 8% al 65%, estos autores también plantearon un método basado en la actividad de la arcilla y el porcentaje de coloides. La actividad de la arcilla se la deduce utilizando la siguiente relación:

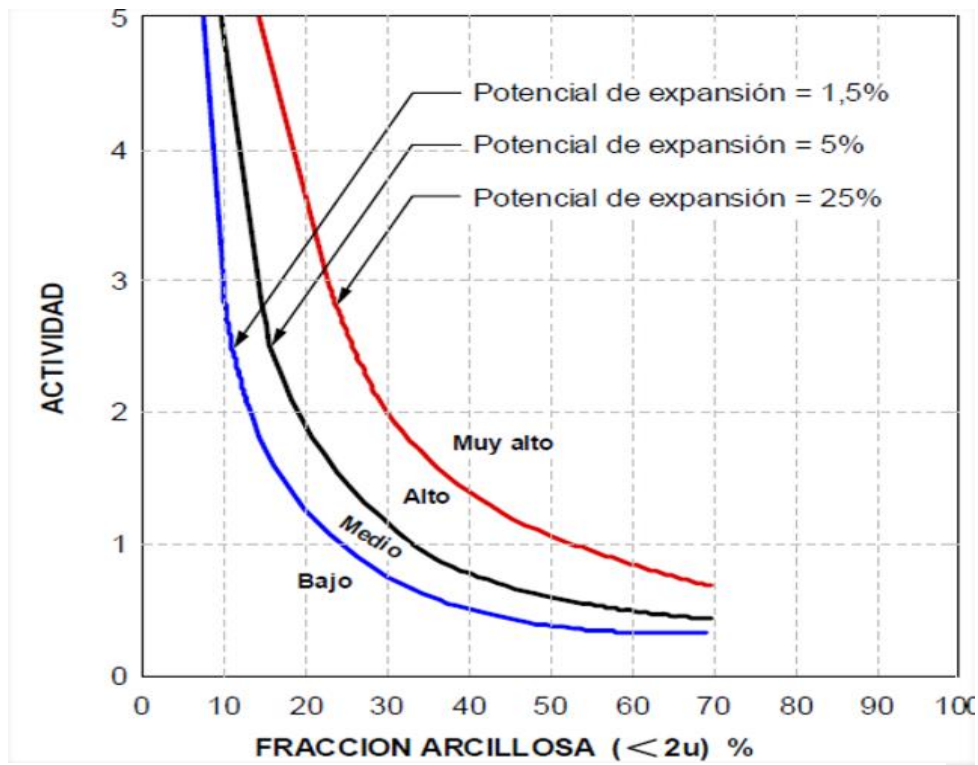
$$Actividad = \frac{IP}{C - 10} \quad (3)$$

Dónde:

IP= Índice de Plasticidad del suelo.

C= Porcentaje de arcilla menor a 0.002mm.

Con el uso de esta relación, se desarrolla una carta, la cual se muestra, por consiguiente:



Fotografía 8 Potencial de hinchamiento en función de la actividad de las arcillas.
Fuente: (Oswaldo, 2006)

Método de Raman (1967).

Método que utiliza el índice de plasticidad de los suelos y que calcula un índice de contracción, basado en la diferencia de humedad entre el límite líquido y al límite de contracción, utilizándose la siguiente expresión:

$$IC = LL - LC \quad (4)$$

Dónde:

IC= Índice de contracción.

LL= Límite líquido.

LC= Límite de contracción.

Tabla 6 Método de Raman (1967).

Índice Plástico (%)	<12	12-23	23-32	>32
Índice de contracción (%)	<15	15-30	30-40	>40
Grado de expansión (%)	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto

Fuente: (Das B. , 2012)

Método de Chen (1988).

Metodología que utiliza simplemente el índice plástico, para la determinación del grado de expansión.

Tabla 7 Método de Chen (1988).

Índice Plástico (%)	≤ 15	10-35	20-55	≥ 35
Grado de expansión (%)	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto

Fuente: (Das B. , 2012)

Método de Altmeyer (1955).

Método en el que para determinar el grado de expansión se debe conocer la contracción lineal, el límite de contracción, y la expansión probable, con base en una muestra remodelada con su contenido óptimo de humedad y la densidad máxima seca, sumergida bajo una sobrecarga de 6.9 KPa.

Tabla 8 Método de Altmeyer(1955).

Contracción Lineal (%)	<5	5-8	>8
Límite de contracción (%)	<12	10-12	>10
Expansión Probable (%)	<0.5	0.5-1.5	>1.5
Grado de expansión (%)	No crítica	Marginal	Crítica

Fuente: (Das B. , 2012)

Método de Elvin F. Henry (1965).

Al igual que el método de Chen, se basa en pruebas realizadas y permite determinar el potencial de hinchamiento de un suelo a través de su índice de plasticidad.

Tabla 9 Método de Henry (1965).

Índice Plástico (%)	0-14	14-25	25-40	>40
Grado de expansión (%)	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto

Fuente: (Ballinas Mijangos, 2006)

2.10.6 Métodos directos.

Por último, punto en la identificación de arcillas expansivas, se presenta este tipo de metodología que contribuyen datos más reales en cuanto al grado de expansión de un suelo, por lo que es más preciso, la única problemática que por lo común presenta este tipo de métodos es el tiempo. Los ensayos más comunes son los de hinchamiento libre y presión de expansión.

2.10.7 Expansión libre.

Basado en la norma I.N.V. E – 173-07, este se define como el porcentaje de elevación máximo de presión que sufre un suelo sin restricciones externas. Mediante el uso de una muestra inalterada de suelo y un edómetro, se encera el lector del deformímetro y se sumerge la muestra, posterior a eso se mide el hinchamiento final expresado en porcentaje con respecto a la altura inicial, sin la aplicación de ningún tipo de carga a esto se denomina hinchamiento libre.

2.10.8 Presión de expansión.

La presión de expansión se define como la fuerza vertical que ejerce el suelo, cuando aumenta su volumen al aumentar su grado de saturación.

Este ensayo se elabora prácticamente de la misma manera que el anterior mencionado, la diferencia radica en que, la presión de expansión se determina de dos formas, aplicando cargas sobre el suelo que está saturándose en el edómetro, con el objeto de no permitir su expansión libre, por tanto, la lectura del consolidómetro se mantendrá

en 0, y el incremento de carga cesará al mismo tiempo que culmine la expansión libre del suelo.

La otra metodología de determinar la presión de expansión consiste en permitir que el suelo logre su expansión primaria, durante un lapso aproximado de 24 horas, o hasta que esta se complete, y luego aplicar cargas sobre el suelo con la finalidad que la relación de vacíos sea igual o menor a la inicial, luego de lograr que el suelo retorne a su estado inicial, se determina la carga final y se presión de expansión tomando en cuenta el brazo de palanca del consolidómetro.

La ventaja de este tipo de ensayos, es que se logran obtener resultados dobles, ya que se ensaya para la expansión libre como la presión de expansión en una misma muestra de suelo. (Oswaldo, 2006)

Ensayo para determinar la expansión libre y presión de expansión.

Cuya base se encuentra en la normativa AASHTO T 258 – 81 y también llamada prueba de expansión con carga modificada, se lo realiza con muestras inalteradas que se ensayan luego en el consolidómetro, esta normativa presenta tres opciones que determinan la expansión de un suelo.

Opción A: Determina

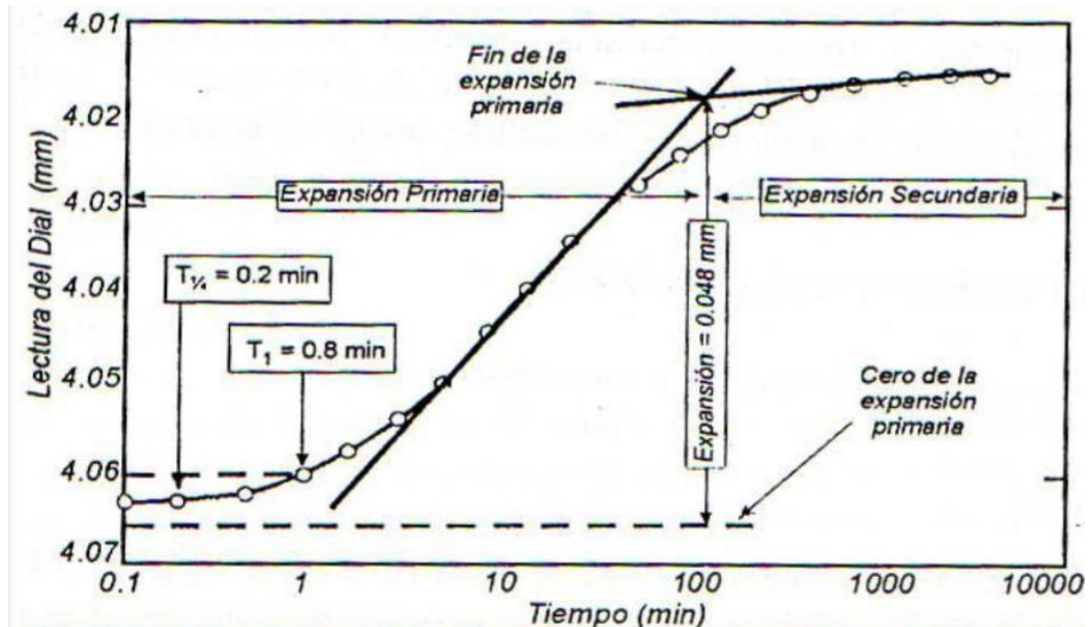
- ✓ Expansión libre.
- ✓ Presión de expansión.
- ✓ Porcentaje de levantamiento bajo carga vertical.

Opción B: Determina

- ✓ Presión de expansión.
- ✓ Porcentaje de levantamiento bajo carga vertical igual a la sobrecarga in situ.

Opción C: Determina

- ✓ Presión de pre consolidación.
- ✓ Presión de expansión.
- ✓ Porcentaje de levantamiento.



Fotografía 9 Curva de expansión primaria y secundaria.
Fuente: (Oswaldo, 2006)

De acuerdo al gráfico y la ejecución de estos ensayos se visualizan dos tipos de expansiones que son primaria y secundaria, la primaria se da a corto plazo, mientras que la secundaria se da a largo plazo. Para la determinación de las expansiones primaria y secundaria, se usa la Figura 6, en la que se trazan tangentes a las curvaturas con pendientes suaves y abruptas, la intersección de estas tangentes determina el tramo de expansión primario y secundario.

Estas alternativas se diferencian debido a la aplicación de cargas y en las lecturas que se realizan, utilizándose los suelos inalterados que son moldeados de la misma forma que se realiza un ensayo de consolidación, se toma la muestra, se aplica la presión de carga in situ, luego de 5 minutos de aplicada la carga se encera la lectura y se procede igual que al realizar un ensayo de consolidación normal.

En la alternativa A, se registra la deformación inicial, se sumerge la muestra y se toman las lecturas de las deformaciones, esto hasta que se complete la expansión primaria, luego se aplica incrementos sucesivos de carga, la duración en cada incremento debe asegurar el 100% de consolidación primaria.

Para la alternativa B, la presión que se aplica debe ser mayor a la sobrecarga inicial, luego de transcurridos los 5 minutos, se lee la deformación, se sumerge la muestra y se realiza las lecturas hasta que culmine la expansión primaria, se aplica los incrementos de carga igual a la alternativa A.

En la alternativa C, la presión que se aplica debe ser equivalente a la que se estima hay in situ, pasados 5 minutos se hace la lectura de la deformación inicial, e inmediatamente se sumerge la muestra, y se realiza los incrementos de carga que sean necesarios con el objetivo de no permitir la expansión de la muestra.

El porcentaje de expansión libre se determina con la siguiente expresión:

$$\%E = \frac{\Delta h}{h_o} \times 100 = \frac{e_{sc} - e_o}{1 + e_o} \times 100 \quad (9)$$

De dónde:

Δh = Cambio de altura de muestra.

h_o = Altura inicial.

e_{sc} = índice de vacíos luego de estabilizada la expansión a una cierta presión.

e_o = índice de vacíos inicial.

$(\Delta h/h_o) \times 100$ = Porcentaje de levantamiento.

2.11 Estabilización de Suelos

Sin lugar a dudas, siempre existirá la problemática, de poder encontrar las soluciones más beneficiosas, cuando se trata de estudiar suelos con plasticidades altas y de baja capacidad portante en construcciones de carreteras, se encarecía el diseño por dar soluciones a esta gran problemática, debido a los estudios que se tienen que realizar para así lograr obtener un suelo mejorado y de buenas capacidades. Las opciones siempre eran de hacer supuestamente lo más fácil y práctico, retirar dicho material malo y reemplazarlo por uno de mejor calidad, pero esto con el pasar del tiempo, lo que provoca son más problemas con respecto a la relación beneficio/costo, que será explicado de acuerdo con los resultados que se obtengan.

Tratar sobre la estabilización de suelos, es mencionar específicamente que es una técnica que busca mejorar las propiedades físicas y mecánicas de aquellos suelos que no cumplan satisfactoriamente con las características necesarias para sus usos. Cabe

recalcar también que esto genera poco o quizás ningún impacto ambiental, requerimiento primordial que se debe a tomar en cuenta cuando se realiza una construcción, porque evita el transporte de excavaciones y de igual manera ahorra la traída de material importado.

El proceso de reutilizar el suelo que se encuentre en el sitio y mejorarlo a través de agentes estabilizadores para incrementar su capacidad portante, disminuir su plasticidad, o modificar alguna característica para asegurar un aumento de la durabilidad de la capa a tratar (subrasante), de esto trata la estabilización de suelos.

Existen diferentes tipos de estabilizaciones dependiendo de los materiales para estabilizar, o dependiendo de la propiedad a mejorar en el suelo, entre ellos consta la siguiente clasificación:

1.- Según la propiedad a mejorar

- ✓ Estabilización Física

Se usa para poder estabilizar el suelo produciendo cambios físicos. Hay varios métodos como lo son: Mezclas de suelos, Geotextiles, Geomallas, Consolidación Previa.

- ✓ Estabilización mecánica

Es cuando se logra estabilizar considerablemente el suelo sin producir reacciones químicas de importancia.

- ✓ Estabilización Volumétrica

- ✓ Vibroflotación

Es cuando se trata de estabilizar el suelo con el fin de evitar la expansión volumétrica, esto sucede en suelos arcillosos.

2.- Según el material a utilizar

- ✓ Estabilización a través de productos químicos

Los productos químicos que más son usados como estabilizadores de vías no pavimentadas son: cloruros de calcio (CaCl_2), óxidos de calcio e hidróxidos de calcio, cloruro de sodio (NaCl), cloruros férricos, silicato férrico, resinas y cloruro de magnesio.

- ✓ Estabilización Material bituminoso

El uso de los productos bituminosos es destinado para pavimento, su tratamiento superficial consiste de una o varias capas del producto con árido debidamente compactado. La forma de aplicación del producto puede ser en caliente o en forma de emulsiones, donde la forma de emulsión se ha vuelto tendencia a nivel mundial.

✓ Estabilización por materiales pétreos

La estabilización con material pétreo se lo usa con el objetivo de proporcionar un reforzamiento a la obra básica que se va a construir.

Los materiales a usar deberán estar constituidos por material pétreo o pedazos de rocas de un tamaño aproximadamente entre 10 a 30 cm, sin presencia de material arcilloso, con un contenido no mayor del 20% de pasante del tamiz de 2" (50mm) y el 5% de pasante del tamiz N°4.

Área	Clase de Suelo	Tipo de estabilizador Aditivo recomendado	Restricción en LL e IP del suelo	Restricción en porcentaje pasando la malla No. 200	Comentarios
1A	SW ó SP	(1) Bituminosos (2) Cemento Portland (3) Cal-cemento-ceniza volante	IP no exceda a 25		
1B	SW-SM ó SP-SM ó SW-SC ó SP-SC	(1) Bituminosos (2) Cemento Portland (3) Cal (4) Cal-cemento-ceniza volante	IP no exceda a 10 IP no exceda a 30 IP no exceda a 12 IP no exceda a 25		
1C	SM ó SC ó SM-SC	(1) Bituminosos (2) Cemento Portland (3) Cal (4) Cal-cemento-ceniza volante	IP no exceda a 10 IP no menor de 12 IP no exceda a 25	No exceda 30% por peso	
2A	GW ó GP	(1) Bituminosos (2) Cemento Portland (3) Cal-cemento-ceniza volante	IP no exceda a 25		Material bien graduado. Debe contener al menos 45% por peso del material pasando la malla No. 4
2B	GW-GM ó GP-GM ó GW-GC ó GP-GC	(1) Bituminosos (2) Cemento Portland (3) Cal (4) Cal-cemento-ceniza volante	IP no exceda a 10 IP no exceda a 30 IP no menor de 12 IP no exceda a 25		Material bien graduado. Debe contener al menos 45% por peso del material pasando la malla No. 4
2C	GM ó GC ó GM-GC	(1) Bituminosos (2) Cemento Portland (3) Cal (4) Cal-cemento-ceniza volante	IP no exceda a 10 IP no exceda a 12 IP no exceda a 25	No exceda 30% por peso	Material bien graduado solamente
3	CH ó CL ó MH ó ML ó OH ó OL ó ML-CL	(1) Portland (2) Cal	LL menor de 40 e IP menor de 10 IP no menor de 12		Materiales orgánicos y altamante ácidos que se encuentran dentro de esta área no son susceptibles a la estabilización por mecanismos ordinarios.

Fotografía 10 Recomendaciones del tipo de estabilización según el tipo de suelo.

Fuente: (Elizondo Arrieta, 2008)

2.12 Métodos de Estabilización de Suelos.

2.12.1 Suelo estabilizado con Cal

Se han mencionado las problemáticas existentes en suelos que contienen un porcentaje de minerales arcillosos en su composición, como son cambios de estado, deformabilidad o algo característico de los suelos arcillosos como son las variaciones volumétricas, por tal situación es imprescindible realizar un mejoramiento sobre este tipo de material para que así pueda ser utilizado en las obras de ingeniería que se requieran; la estabilización de suelos especialmente de grano fino con un agente estabilizador como es la cal, es una de las técnicas más antiguas y conocida

ampliamente por técnicos para estabilizar suelos; fue a inicios de la década de 1950 cuando se empezó a utilizar este material, obteniendo resultados idóneos.

Lograr una estabilización adecuada y con resultados óptimos es llegar a que los suelos inestables se transformen en suelos utilizables, al agregar cal a los suelos expansivos se generan reacciones químicas como son el intercambio catiónico, la floculación y aglomeración de las partículas. Estos suelos modificados con porcentajes de cal, mejoran las propiedades de dichos suelos como la resistencia, aumentan la durabilidad y provocan variaciones de las características de la fracción fina en suelos granulares, la cal puede ser utilizada en el tratamiento de suelos, en varios grados o porcentajes, dependiendo de los requerimientos que sean necesarios.

Con el avance del desarrollo de equipos de construcción y el mejoramiento de la calidad de la cal, este tipo de tratamientos por razones descritas han sido mejoradas y mayormente empleadas en las grandes obras de ingeniería como por ejemplo autopistas, aeropuertos, vías férreas, plataformas de zonas industriales, etc.; la gran accesibilidad de este producto, el bajo costo y los factores ambientales favorables, hacen que el interés de utilizar este tipo de agente estabilizador, sea un excelente socio para la estabilización en suelos desfavorables y así evitar el alto costo de suelos de préstamo importado.

Según Montejo Fonseca (1998), las áreas donde la cal obtiene considerables beneficios son en tratamiento de subrasantes y subbases, para caminos construidos sobre suelos arcillosos pesados.

2.12.2 Tipos de Cal

La Cal está compuesto principalmente por óxidos e hidróxidos de calcio y magnesio, que se originan de la calcinación de minerales calizos y dolomíticos. También existen cal que contienen hidróxidos de silicio, hierro y aluminio en función de su material de procedencia, entre los tipos de cal se encuentran los siguientes:

Cales aéreas: compuestas principalmente por óxido e hidróxido de calcio y magnesio, aquellas que endurecen por acción del CO₂ que se encuentra en el aire, no contienen propiedades hidráulicas, por ende, no se endurecen al contacto con el agua. Se obtienen a partir de la calcinación de rocas calizas con contenidos de carbonatos superiores al 95%. Se describen a continuación los siguientes tipos según su contenido de cal:

- ✓ Cales aéreas cálcicas (CL), cuando su contenido de óxido de magnesio (MgO) está por debajo del 5%. Estas también se dividen en **Cal Viva** que se obtienen de la calcinación de la caliza que al desprender dióxido de carbono se transforma en óxido de calcio, se presenta en forma de grano o molidas (polvo).

La **Cal Apagada** procede de la cal viva que, al estar en contacto con el agua, pasa a transformarse de óxido a hidróxido de calcio y una vez apagada (hidratada), se aplica en las obras que se requieran, Se presenta en forma de pasta, lechada o incluso en forma de polvo seco.

- ✓ Cales aéreas dolomíticas (DL), cuando el contenido de óxido de magnesio (MgO), se encuentra en el rango de 5 y 30%. Este tiene menor reactividad con los suelos que la cal cálcica, por tal motivo es unas de las cales que no se usan como estabilizantes en suelos expansivos.
- ✓ Cales hidráulicas, la diferencia con las aéreas persiste, debido a que se endurecen cuando están en contacto con el agua. Se obtienen en base a calizas que tienen un contenido de arcillas como sílice y alúmina. Cuando están en el proceso de calcinación y posterior hidratación se forman silicatos y aluminatos cálcicos, aquellos que les brindan las propiedades hidráulicas.

Como ya se ha mencionado los tipos de cal existentes y conociendo sus características, la cal que se debe usar como estabilizador en suelos expansivos son cales aéreas en especial el uso de la Cal Viva.

2.12.3 Efectos de la Cal

Cuando ya se haya mezclado el material lógicamente con la cal, la cal viva tiene la característica de absorber agua lo cual produce un desprendimiento de calor, y debido a esto dependiendo de las cantidades de cal añadidas al suelo, la humedad se reduce drásticamente por hidratación y evaporación, la cal provoca un intercambio de los cationes que estabilizan la estructura laminar de las arcillas.

Otro factor favorable del tratamiento con cal, es que su índice de plasticidad IP, se reduce, por lo que el suelo pasa rápidamente de un estado plástico fácilmente deformable y pegajoso a un estado sólido más rígido. Por el descenso del IP, también es provocado un mejoramiento de la estabilidad volumétrica reduciendo los índices de expansión de los suelos tratados.

También produce un aumento de la resistencia a esfuerzo cortante del suelo, lo que se entiende o traduce en una mejora de la capacidad portante del suelo. La densidad máxima se consigue con menor energía de compactación, al mismo tiempo que la humedad óptima para dicha densidad máxima incrementa.

Los efectos favorables que se pueden llegar a obtener a largo plazo, se producen con cales hidráulicas, que al estar en contacto tanto la cal y la arcilla forman silicatos y aluminatos cálcicos hidratados. Por dicha combinación se obtiene una reacción puzolánica, que genera un incremento de la resistencia a la compresión simple, aumento en el índice de CBR y una mayor estabilidad al incremento volumétrico del material.

2.12.4 Criterios de dosificación

Para poder obtener una cantidad mínima con la que debe empezar el tratamiento, en primer lugar, se deberá tomar en cuenta cuales son las exigencias o usos que estará sometido el suelo a tratar, ya sea en terraplenes, formación de explanadas, conformación de bases y subbases para pavimentos, etc. Obviamente se debe considerar el efecto que se requiere lograr en el suelo, en este caso una estabilización de la subrasante a largo plazo. La cal que se utiliza en la estabilización debe cumplir con los requisitos establecidos en las Normas INEN 247 y 248.

Anticipadamente se debe realizar un análisis del suelo que se vaya a estabilizar para determinar si el tratamiento con Cal es el más óptimo. A continuación, se detallan los ensayos necesarios para la determinación de las características del material:

- ✓ Clasificación del suelo mediante el método S.U.C.S y AASHTO.
- ✓ Determinación de las propiedades índice de los suelos, como son: límite líquido (INEN 0691), límite plástico (INEN 0692), índice de plasticidad.
- ✓ Ensayos de hinchamiento (Expansión).
- ✓ Ensayos de comportamiento, esencialmente evaluar los parámetros de compactación (Ensayo Proctor Modificado ASTM D-4829) y la capacidad portante (Ensayo CBR).

Una vez que se obtengan los resultados de los ensayos detallados en el apartado anterior (ensayos al suelo natural), se puede valorar cual es el comportamiento del material ante el estabilizante (Cal), y en función de esto se determinará el porcentaje óptimo para lograr un cambio en el comportamiento del material. Cuando se posee un

material con un índice de plasticidad mayor a 10 y su porcentaje de partículas finas de alto, el tratamiento con cal es el más beneficioso que pueda existir.

Para lograr un óptimo porcentaje de cal, después que se hayan analizadas las propiedades del suelo ensayado, se deben realizar mezclas con diferentes porcentajes de cal añadidas al suelo, de esta manera se podrá comprobar el efecto que la cal provoca sobre el suelo y obtener el porcentaje necesario para alcanzar los objetivos de mejoramiento del suelo a tratar.

2.13 Suelo estabilizado con Sal

Por concepto y conocimientos técnicos se conoce que el cloruro de sodio se produce mediante tres métodos. Uno de ellos es el método más antiguo que emplea el calor solar para producir la evaporación del agua salada, de aquí que se obtienen los residuos de sal. El segundo método consiste en la extracción directa de las minas de sal y por último el método más reciente trata sobre la evaporación del agua de mar mediante la utilización de hornos.

El cloruro de sodio se muestra en forma de cristales, de fácil solución en agua, los cuales son higroscópicos y se consigue en el mercado en forma de cristales grandes o en polvo fino y diferentes grados de pureza. Con la adición de sal al agua, se puede disminuir la temperatura de congelamiento de ésta última. Existen resultados de casos que de acuerdo al uso del 2 al 3% de sal abatió el punto de congelamiento de un suelo hasta 2°C.

En relación con el uso del Cloruro de Sodio como estabilizador existen muchos parámetros de discusión en lo concerniente al cambio volumétrico de una arcilla con la adición de esta sal, debido a que unos investigadores aseguran un pequeño incremento, otros no han encontrado dichos resultados; pero existe unanimidad o acuerdo, es en que la adición de sal hace que se disminuya la humedad óptima. Principalmente en la parte práctica no se han logrado evidenciar resultados de que la arcilla se estructure en forma dispersa, produciendo así un crecimiento entre las partículas y en consecuencia un mayor peso volumétrico como se indica teóricamente, por tal motivo no se debe generalizar.

Al adicionar la sal se considera que se disminuye la evaporación del agua debido a un aumento de la tensión superficial. Pero, cuando la contribución de agua a la superficie expuesta es menor que la evaporación, la superficie se comienza a secar y la sal se

cristaliza notablemente en la superficie y en los vacíos, lo que contribuye a formar una barrera que impedirá posteriores evaporaciones.

Existen casos donde se evidencian resultados óptimos al adicionar sal a los suelos a tratar, existe el caso en México en las terracerías de las salinas de Guerrero Negro, California, en donde éstas están constituidas por arenas de mar compactadas con agua de mar y cuya condición salina se mantiene siempre constante, pero también existen casos desfavorables como las de las aeropistas de Loreto e Islas Marías, en las cuales las bases fueron compactadas con agua de mar y los tratamientos superficiales (estabilizaciones suelo-sal), posteriormente colocados, se han desprendido formando ámpulas, en nuestro contexto en forma de ampollas que se destruyen con mucha facilidad por los efectos abrasivos de los neumáticos.

Por lo expuesto anteriormente, se concluye que es de suma importancia tener mucho conocimiento de la reacción íntima que puede existir directamente entre la sal y el suelo, así como la permanencia a través del tiempo de la estabilización lograda y sus efectos colaterales que pueden llegar a causar, en algunos de los elementos estructurales del pavimento.

Pero no todo, es controversia cuando se usa una estabilización con sal, se tiene que se han logrado mayor efectividad y durabilidad de los efectos de la sal a medida que el límite líquido es más alto. Según las investigaciones hechas por técnicos, manifiestan que la adición de sal en una arcilla produce una disminución en la contracción volumétrica o lineal y estos cambios son notables físicamente, la formación de costra superficial es evidente y la reducción de la variación de la humedad, mantienen más unidas las partículas no arcillosas y cuando estas se observan superficialmente, se desprenden con menor facilidad cuando sufren los ataques abrasivos del tránsito.

El desarrollo técnico que se emplea para la adición de sal a un suelo desfavorable, son generalmente las mismas técnicas empleadas en otros tipos de aditivos y varían desde la sofisticada mezcla en plantas con un alto grado de control, hasta con una simple mezcla en el lugar donde se va a estabilizar con el equipo tradicional en la construcción de pavimentos.

Como se indicó anteriormente cuando el mezclado se hace en planta ha sido práctico añadir la sal en forma de solución (líquido), y cuando se intente la estabilización con sal se deberá tomar en cuenta lo siguiente:

- ✓ El Cloruro de Sodio es muy útil en climas con problemas de congelamiento.

- ✓ Se puede estimar resultados óptimos si el suelo contiene material fino que reaccione con la sal.
- ✓ La materia orgánica prohíbe la labor de la sal.
- ✓ Una situación desfavorable es la compactación con rodillo pata de cabra, el cual no es recomendada como en otros tipos de estabilizantes cuando el suelo tiene sal adicionada.
- ✓ Para obtener una solución favorable de estabilización, se requiere de manera indispensable de un técnico especializado en el tratamiento de la estabilización con sal, está de más la inclusión de las pruebas de calidad.

2.13.1 Comportamientos de Suelos estabilizados con Cloruro de Sodio.

Hay evidencias principalmente físicas, de varios autores que han estudiado el efecto del cloruro de sodio en las propiedades de los suelos, a continuación, se detallan algunas de ellas:

- ✓ Existe un incremento de hasta un 3% del peso volumétrico y la resistencia a la compresión al añadir cloruro de sodio. El límite líquido y el índice de plasticidad disminuyen al adicionar cloruro de sodio.
- ✓ La cohesión y el ángulo de fricción interna disminuyen al adicionar cloruro de sodio y en especímenes en los que no se permita la pérdida de humedad. Parece que si se permite el secado antes de ensayar los especímenes tanto la cohesión como el ángulo de fricción incrementan de manera considerable.
- ✓ Las partículas de roca caliza parecen ser solubles.
- ✓ La capacidad de retención de humedad aumenta.

El investigador El-Sekelly, 1987, en su trabajo doctoral, estudio tres tipos de mezclas de suelo, de las cuales en todas obtuvo mejorías respecto a valores de resistencia a la compresión, tensión, de valor relativo e incluso en los valores de módulo de resiliencia. Pero además de esto, el investigador no solo adicionó cloruro de sodio, sino también un 2% de cal, otro factor es que, dos de las tres mezclas estudiadas correspondían a suelos gruesos, clasificados como SC y GC según el sistema S.U.C.S.

La otra muestra de suelo tratada por El-Sekelly se clasificó como MH, con un límite líquido mayor al 50% y un índice plástico de 38%, además de un 28% de arcilla, con una gran proporción de limo y arena. El hecho determinante se basa fundamentalmente es que llama la atención estas mejoras obtenidas cuando los especímenes de suelo

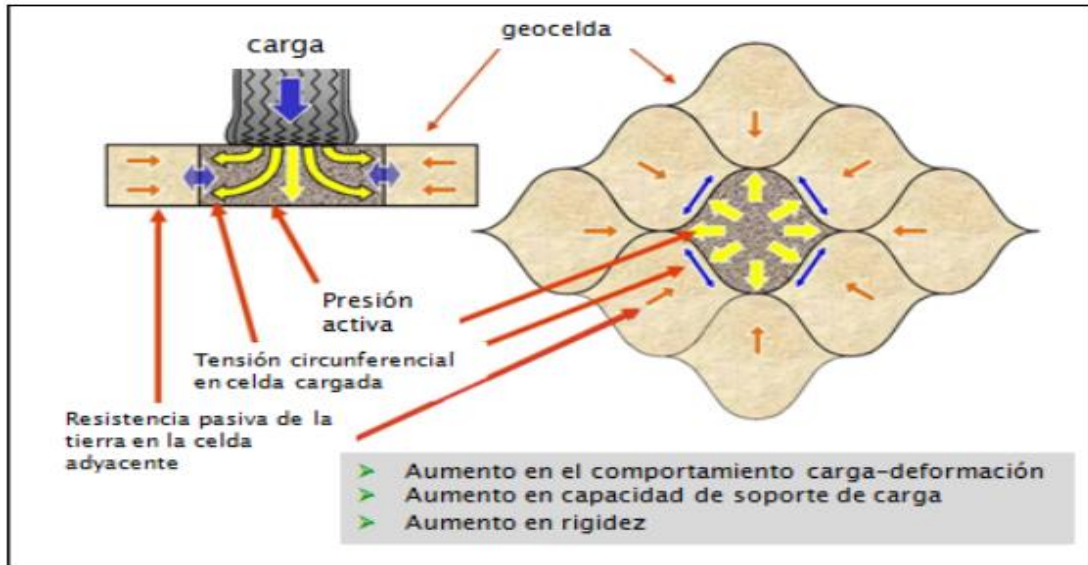
tuvieron secado previo a la ejecución de los ensayos correspondientes, por tal motivo no hay manera de diferenciar si esa aquella mejoría de propiedades se obtuvo debido a que decreció el contenido de agua del espécimen o por una real ayuda en el tratamiento del suelo con cloruro de sodio. (Paul Garnica Anguas, 2002)

2.14 Suelo estabilizado con un Sistema de Geoceldas

Una nueva tecnología de trabajo, que no ha sido muy utilizada por falta de conocimiento o no muy reconocida en el país, es hablar sobre el geosintético denominado geocelda, aquellas que son estructuras tridimensionales dispuestas en forma de panel, son permeables, y conformadas a base de polímeros (sintéticos o naturales), interconectadas, las cuales internan completamente un tipo de relleno, debido a esto suministran de confinamiento a toda la estructura, con la finalidad clara de proveer la extensión lateral del material de relleno. En el caso de la aplicación de cargas verticales a este sistema, las tensiones circunferenciales en las paredes de las celdas y las resistencias de las celdas contiguas se movilizan. Por tal situación de dichas resistencias y tensiones, estas reducen la deformación lateral del material de relleno. Como resultado la rigidez aumenta provocando que la capa de material de relleno y el sistema de geoceldas actúen como una matriz rígida y distribuya así las cargas verticales del tráfico sobre un área más grande que la del suelo de la subrasante.

Según Meyer & Emersleben, (2005), el principal efecto que tiene un sistema de geoceldas, consiste en que en su interior poseen el suelo aislado reteniéndolo horizontalmente, por lo tanto, restringen la deformación lateral bajo presión, para que el comportamiento del suelo mejore ante las fuerzas de deformación. Cuando se tiene un suelo estabilizado con un sistema de geoceldas este es sometido a fuerzas o presiones, la dilatación lateral del material de relleno es restringida por las fuerzas del anillo de tracción de la geocelda y por la resistencia pasiva de las celdas contiguas.

Todo este sistema de geoceldas, que es un sistema de funcionamiento conjunto, se muestra en la siguiente figura. Se debe destacar que, para lograr una estabilización óptima y efectiva, esta debe funcionar como un sistema y no con una sola geocelda.



Fotografía 11 Esquema de funcionamiento de un sistema de geoceldas (Meyer & Emersleben, 2005).

Este sistema de confinamiento está formado por láminas de polietileno de Alta densidad las cuales pueden ser unidas por procesos de ultrasonido o termofusión, en forma de paneles (conocido también como un panal de abejas). De esta forma se obtiene una estructura muy resistente que confina y retiene el relleno utilizado en el sistema. Se puede utilizar bien sea material de relleno o puede ser también rellena con cualquier tipo de material (tierra, grava, arena, hormigón, entre otros).

CAPÍTULO III

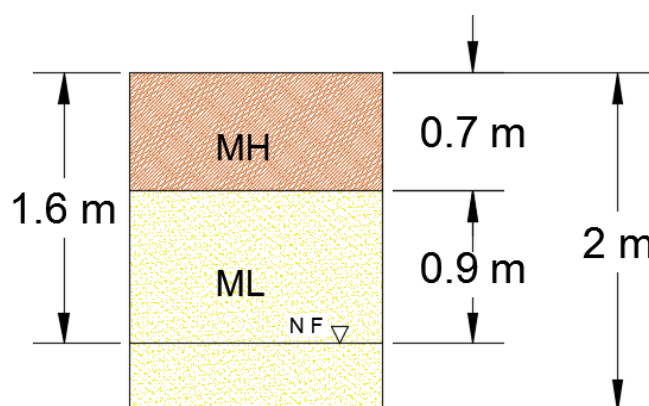
TRABAJOS DE LABORATORIO

En el presente capítulo se detallará todos los ensayos y procedimientos que se realizaron en el laboratorio de suelos, siguiendo las respectivas normas establecidas para cada tipo de método que permite el análisis del terreno natural como las mezclas propuestas, de la misma manera evaluando el uso de la geocelda para este tipo de material.

3.1 Suelo natural - Muestreo de suelo

La extracción del material se ejecutó en la comuna Bajadita de Colonche de la parroquia Colonche de cantón Santa Elena mediante la ejecución de una calicata de 1,50 x 1,00 metros por 2 metros de profundidad, encontrando nivel freático a una profundidad de 1,60 metros

Teniendo como resultados de estratos 0,70 m de suelo clasificado de acuerdo al sistema S.U.C.S como MH que comprende a limos inorgánicos de alta compresibilidad, y su clasificación AASTHO corresponde al sub grupo A-7-5 (suelos arcillosos con presencia de materia orgánica y pueden ser elásticos y expansivos), seguido de 0,90 m de estrato clasificado de acuerdo al sistema S.U.C.S como ML que comprende a limos inorgánicos arenoso ligeramente plásticos y según el sistema AASTHO clasificado en el grupo A-4 que corresponde a suelos limosos. Estudiando para este proyecto el estrato correspondiente a MH por sus características expansivas.



Fotografía 12 Estratigrafía de la Calicata realizada.

Fuente: John Salinas – Ricardo Villao

3.2 Contenido de humedad

Metodología: Norma ASTM D 2216 – 98 Método de prueba estándar para la determinación de laboratorio del contenido de agua (humedad) de suelo y roca.

Especificaciones: Para determinar la humedad natural que el material a ensayar poseía se realizó su estudio según la norma mencionada que tiene como objetivo determinar el porcentaje de humedad evaporable por secado en una muestra de áridos, el correspondiente a la humedad superficial como la humedad contenida en los poros del árido. La cantidad de agua evaporada que se expresa en porcentaje con respecto a la masa seca es la humedad del material.

Resultado:

Tabla 10 Contenido de humedad.

MATERIAL MH	
PROFUNDIDAD	CONTENIDO DE HUMEDAD %
0,70 metros	15,63

Fuente: John Salinas - Ricardo Villao

3.3 Límites de Atterberg

Metodología: Norma ASTM D 4318 – 05 Metodología de prueba estándar para límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelos.

Especificaciones: Para conocer el contenido mínimo de agua del suelo realizamos el ensayo de límite plástico, el tamaño del intervalo de contenido de agua es el que conocemos como el índice de plasticidad del suelo, expresado como un porcentaje de la masa seca del mismo y es la diferencia que existe entre el límite plástico y el límite líquido.

Límite líquido LL: permite la separación del estado plástico del semisólido, se obtiene del amasado del suelo seco con cierta cantidad de agua que es expandido en un recipiente conocido como Cuchara de Casagrande, dividiendo posteriormente el material unos 2mm de ancho con un acanalador en su parte inferior, cuando a los 25 golpes de la Cuchara de Casagrande haya cerrado el surco se tomara como LL esa humedad proporcionada en la muestra.

Límite Plástico LP: separa el estado semisólido del plástico, para este procedimiento el material es amasado y se le da forma de rollos de diámetros de 3mm con longitud

que va de 25 a 30 mm, se los ejecuta con la palma de la mano, apoyado sobre una superficie lisa, cuando se observe las formaciones de fisuras en fracciones cerca de 6 mm el LP será correspondiente a esa humedad.

Dados los datos de límite líquido y plástico ya podemos detallar el IP índice de plasticidad el cual representa el término de humedades para pasar del estado semisólido al semilíquido.

Tras la realización de varios estudios Casagrande definió que aquellos suelos con un $LL > 50$ son de “alta plasticidad” es decir que pueden experimentar deformaciones plásticas grandes y admiten mucha agua. Valores inferiores de LP consideran a los suelos de “baja plasticidad” (ALBÁN, 2014).

Resultados:

Tabla 11 Límites de Atterberg.

MATERIAL MH	
LÍMITE LÍQUIDO	76,61
LÍMITE PLÁSTICO	41,09
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	35,51

Fuente: John Salinas - Ricardo Villao

3.4 Gravedad de sólidos (Peso específico relativo) Gs.

Metodología: Norma ASTM D854 - 10: Método de prueba estándar para la gravedad específica de sólidos por picnómetro de agua.

Especificaciones: Este estudio se determina en el laboratorio midiendo el volumen que ocupa un ejemplar de partículas secas, disgregadas a las que se conoce su peso por el desplazamiento de un volumen de líquido en un recipiente conocido como picnómetro que ya está previamente calibrado, obteniendo el valor medio de los correspondientes a las diversas partículas sólidas de suelo.

Resultado:

Tabla 12 Gravedad de sólidos.

MATERIAL MH	
PROFUNDIDAD	GRAVEDAD ESPECÍFICA
0,70 metros	2,79

Fuente: John Salinas - Ricardo Villao

3.5 Límites de contracción

Metodología: Norma ASTN 427 -98 Metodología de prueba para suelos con factor de contracción.

Especificaciones: Los factores de contracción únicamente se determinan en suelos básicamente finos los cuales presenten resistencias cuando son secados a temperatura ambiente, el límite de contracción de un suelo se define como el contenido máximo humedad, bajo el cual una disminución en el contenido de humedad no causa una reducción del volumen de la masa del suelo (Ing. Carmen Terreros de Varela, 1995).

Límite de contracción o retracción LC. Proceso que separa el estado semisólido y el seco, este puede ser definido como la humedad que sujeta el suelo combinado cuando obtiene su volumen mínimo teórico al estar seco viniendo del estado de saturación. En el transcurso del proceso de retracción los poros van disminuyendo su tamaño y la tensión capilar potencial máxima acrecienta, el suelo es más susceptible a cambio de volumen cuando el límite de contracción es menor.

El índice de contracción o IC es definido como la diferencia del contenido de agua entre el estado plástico y el límite de contracción ($IC = LP - LC$)

Resultados:

Tabla 13 Límites de contracción.

MATERIAL MH	
PROFUNDIDAD	Límite de contracción %
0,70 metro	11,68

Fuente: John Salinas - Ricardo Villao

Tabla 14 Índice de contracción

MATERIAL MH	
PROFUNDIDAD	Índice de contracción %
0,70 metro	29,41

Fuente: John Salinas - Ricardo Villao

3.6 Granulometría

3.6.1 Granulometría por lavado

Metodología: ASTM C117-03 Método de ensayo normalizado para materiales más finos que unacriba No. 200 (75 μ m) en agregados minerales mediante lavado

Especificaciones: Este procedimiento permite determinar por medio de lavado la cantidad de material más fino que el tamiz 200 correspondiente a 75 µm. Durante este ensayo las partículas de arcillas y otras partículas se destituyen lavándolas las veces que sea necesaria hasta que el agua que está lavando el material se muestre clara, a través de este proceso el material resultante como más fino que el No 200 por lavado es el porcentaje de la pérdida de masa con respecto a la masa original.

Resultado:

Tabla 15 Granulometría por lavado.

MATERIAL MH	
Profundidad	% Finos
0,70 m	99,65

Fuente: John Salinas - Ricardo Villao

3.6.2 Granulometría por hidrómetro

Metodología: ASTM D 422 – 63 Método de ensayo estándar para el análisis granulométrico.

Especificaciones: Mediante este ensayo se puede conocer el porcentaje de partículas de suelos dispersados que perduran en suspensión durante un determinado tiempo. Para el caso de las partículas pasantes del tamiz 200 pueden ser determinadas por el proceso de sedimentación usando un hidrómetro y agentes dispersantes como es el hexametafosfato de sodio que aseveren los datos solicitados. Como indica la norma para este ensayo en nuestro caso para suelos limosos y arcillosos se utiliza 50 gramos de muestra seca.

La solución de hexametafosfato de sodio que es el agente dispersante que se prepara mezclando 40 gramos de hexametafosfato de sodio en 1000 cm³ de agua destilada dejándola preparada unos 15 días con anterioridad para ser utilizada.

Se realiza el ensayo tomando lecturas de hidrómetro y con la ayuda de un termómetro tomamos lectura de temperatura, previamente a realizar los cálculos correspondientes se realiza correcciones por menisco, temperatura, punto cero y floculante.

Corrección por menisco: esta corrección se obtiene sumergiendo en agua destilada el hidrómetro y anotando la altura que el menisco se eleva por encima de la superficie del líquido.

Corrección por punto cero y floculante: las correcciones por este método se realizan tomando la misma cantidad del agente floculante utilizada en el ensayo llenado con agua destilada en un cilindro graduado de 1000 ml, la lectura del hidrómetro se toma en la parte superior del menisco y con el termómetro se toma la temperatura de la solución.

Corrección por temperatura: puede ser positivo o negativo este factor de corrección dependiendo de la temperatura de la suspensión al instante de tomar cada lectura, esta corrección se realiza en caso de no disponer de un cuarto de temperatura constante o un baño de agua que consienta efectuar el ensayo a 20°C de temperatura y a cada lectura del hidrómetro se deberá sumar algebraicamente el factor de corrección.

Resultado:

Tabla 16 Granulometría por hidrómetro.

MATERIAL MH				
Profundidad	% Finos	% Limo	% Arcilla	% Coloides
0,70 m	99,65	49,82	33,22	16,61

Fuente: John Salinas - Ricardo Villao

3.7 Expansión

Metodología: Norma I.N.V.E. – 173 – 07 Método para medir el potencial de asentamiento o expansión unidimensional.

Expansión libre: el proceso consiste en colocar la muestra de suelo seco de volumen conocido en una probeta cilíndrica sumergiéndola en agua durante 60 a 120 minutos (1 o 2 horas) sin aplicación de ningún tipo de sobrecarga y controlando las lecturas de deformación. La expansión libre será considerada como la diferencia entre el volumen final e inicial indicado como un porcentaje del volumen inicial. Para empezar el ensayo el dial se deberá colocar con un mínimo de diez vueltas de anticipación, de manera que las agujas del dial giraran en sentido contrario. El porcentaje de deformación estará dada por la diferencia de lectura fraccionada para la altura inicial, ($3/4'' = 0,75''$) y multiplicada por 100.

Expansión Controlada: Para este ensayo se aplican cargas en el consolidómetro de modo que estas controlen que la aguja del mismo se mantenga en cero durante un lapso de media hora o más hasta que finalmente deja de moverse. Concluyendo el proceso

se procede anotar la carga final con la que ha sido conservada la muestra en cero y se determina el esfuerzo de expansión según el brazo de palanca del equipo del consolidómetro. Hay que determinar con anterioridad la humedad inicial y final con la que se observa el porcentaje de agua que fue absorbida por la muestra.

Resultados:

Tabla 17 Expansiones.

Expansión	
MATERIAL MH	
MÉTODO	EXPANSIÓN %
LIBRE	10,30

MATERIAL MH	
MÉTODO	CARGA APLICADA
CONTROLADA	2,31 Kg/cm ²

Fuente: John Salinas - Ricardo Villao

3.8 Relación de soporte de suelo (CBR de laboratorio)

Metodología: Norma ASTM D 1883 – 16 Método de prueba estándar para California Bearing Ratio (CBR) de suelos compactados en laboratorio

Especificaciones: Este ensayo permite evaluar la calidad del material en base de su resistencia a la penetración, puede ser medida mediante un ensayo de escala o de placa, dicha norma describe la manera que se ensaya un suelo para determinar su resistencia, CBR (California Bearing Ratio) es un método proyectado, pero no limitado para evaluación de resistencia de materiales cohesivos que contengan menos de 19mm (3/4”) de partículas como tamaño máximo.

Resultado:

Tabla 18 CBR de laboratorio.

MATERIAL MH		
METODO	CBR 95%	Hinchamiento (%)
Natural	2,19	40,37

Fuente: John Salinas - Ricardo Villao

3.9 Compactación Proctor Modificado

Metodología: Norma ASTM D 1557 – 78 Método de ensayos estándar para determinar la relación humedad – densidad de suelos y mezclas de suelo – agregado usando un martillo de 4.54 kg (10 lb) y una caída de 457 mm (18 pulg).

Especificaciones: El proctor modificado permite determinar la relación entre la humedad y la masa unitaria de los suelos compactados en un molde de un tamaño específico dado, con un matillo de compactación de 4.54 kg que cae de una altura de 18 pulgadas. Los métodos de compactación a continuación permiten determinar la relación que existe entre el contenido de humedad y la densidad de suelos y mezclas de suelo- agregado, se tiene cuatro métodos denominado A, B, C y D, la importancia de este ensayo reside en el aumento de resistencia y disminución de la capacidad de deformación de los suelos compactados en un prototipo que permite obtener la densidad seca máxima del suelo y la humedad óptima para ser compactado.

- **Método A** se utiliza el molde de 4 pulgadas de diámetro con material que pasa por el tamiz número 4.
- **Método B** utilizando un molde de 6 pulgadas de diámetro con material que pasa por el tamiz número 4.
- **Método C** empleando un molde de 4 pulgadas de diámetro con material que pasa por el tamiz $\frac{3}{4}$ ".
- **Método D** empleando un molde de 6 pulgadas de diámetro con material que pasa por el tamiz $\frac{3}{4}$ ".

Nota: Para nuestro estudio utilizamos el método A que utiliza un molde de diámetro 101.6 mm (4") con el material de suelo que pase el tamiz de 4.75 mm o también llamado tamiz No 4

Resultado:

Tabla 19 Compactación Proctor Modificado.

MATERIAL MH		
MÉTODO	Máxima Densidad seca (gr/cm ³)	Óptimo Contenido de Humedad (%)
Natural	1,483	26,15

Fuente: John Salinas - Ricardo Villao

3.10 Dosificaciones para sal y cal con 3%, 5% y 7%

Una vez obtenido los datos del terreno natural se procedió a realizar el proceso de mezclado incluyendo al suelo diferentes porcentajes de material estabilizantes como sal y cal para observar y analizar su comportamiento y modificación de sus características físicas - mecánicas.

3.11 Límites de Atterberg Dosificación 3%,5%,7%.

Con los diferentes porcentajes de cal se analiza el cambio de plasticidad que este provoca en el suelo.

Resultados.

Tabla 20 Límites de Atterberg Dosificación 3%,5%,7%.

MEZCLAZ EN MATERIAL MH							
PORCENTAJE DE MEZCLA	LIMITE LIQUIDO		LIMITE PLASTICO		INDICE DE PLASTICIDAD		
	cal	sal	cal	sal	cal	sal	
3%	59,08	90,14	45,96	44,54	13,13	45,60	
5%	48,01	67,93	38,98	40,51	9,03	27,41	
7%	51,29	69,05	41,54	42,21	9,75	26,83	

Fuente: John Salinas - Ricardo Villao

3.12 Límites de contracción Dosificación 3%,5%,7%.

Así como los límites de Atterberg se utilizó la misma dosificación para evaluar el comportamiento de estos elementos estabilizantes en el ensayo de límites de contracción.

3.12.1 Límites de contracción estabilizante cal.

Resultados:

Tabla 21 L.C. Estabilizante Cal.

ESTABILIZANTE CAL EN MATERIAL MH	
Porcentaje de mezcla	Límite de contracción %
3	3,5
5	12,74
7	28,13

Fuente: John Salinas - Ricardo Villao

3.12.2 Límites de contracción estabilizante sal.

Resultados:

Tabla 22 L.C. Estabilizante Sal.

ESTABILIZANTE SAL EN MATERIAL MH	
Porcentaje de mezcla	Límite de contracción %
3	17,64
5	19,36
7	33,34

Fuente: John Salinas - Ricardo Villao

3.13 Proctor Modificado en dosificaciones.

Una vez que se obtiene la humedad óptima y la densidad máxima seca se utiliza esos valores para realizar los demás ensayos de comprobación. Al utilizar el método A para la compactación utilizando el martillo de peso de 4,54 kg simulando la energía de compactación del rodillo compactadores o también conocidos como pata de cabra que son más eficaces en la compactación de los suelos arcillosos.

3.13.1 Cal como estabilizante:

Resultados:

Tabla 23 Estabilizante Cal.

ESTABILIZANTE CAL EN MATERIAL MH		
% ESTABILIZANTE	Contenido de Humedad añadida (%)	Máxima Densidad seca (gr/cm ³)
3	26,00	1,498
5	25,63	1,526
7	24,43	1,516

Fuente: John Salinas - Ricardo Villao

3.13.2 Sal como estabilizante:

Resultados:

Tabla 24 Estabilizante Sal.

ESTABILIZANTE SAL EN MATERIAL MH		
% ESTABILIZANTE	Contenido de Humedad añadida (%)	Máxima Densidad seca (gr/cm³)
3	19,05	1,574
5	16,57	1,628
7	24,66	1,564

Fuente: John Salinas - Ricardo Villao

3.14 Valor Óptimo de CBR

3.14.1 Valor Óptimo de CBR estabilizante cal

Resultados:

Tabla 25 CBR Óptimo de Cal.

MATERIAL MH - MEZCLADO CON CAL	
MÉTODO	CBR 95%
Cal	15,98

Fuente: John Salinas - Ricardo Villao

Tabla 26 Porcentaje de hinchamiento en Cal.

MATERIAL MH - MEZCLADO CON CAL	
MÉTODO	% de Hinchamiento
Cal	20,29

Fuente: John Salinas - Ricardo Villao

3.14.2 Valor Óptimo de CBR estabilizante sal

Resultados:

Tabla 27 CBR Óptimo de Sal.

MATERIAL MH - MEZCLADO CON SAL	
METODO	CBR 95%
Sal	11,56

Fuente: John Salinas - Ricardo Villao

Tabla 28 Porcentaje de hinchamiento en Sal.

MATERIAL MH - MEZCLADO CON SAL	
MÉTODO	% de hinchamiento
Sal	12,16

Fuente: John Salinas - Ricardo Villao.

3.15 Expansión con porcentajes de estabilizantes

3.15.1 Expansión estabilizante cal

Resultados:

Tabla 29 Estabilizante Cal.

MATERIAL MH - ESTABILIZANTE CAL		
PORCENTAJE	LIBRE	CONTROLADA
3	5,35	1,39
5	1,55	0,64
7	1,43	0,47

Fuente: John Salinas - Ricardo Villao

3.15.2 Expansión estabilizante sal

Resultados:

Tabla 30 Estabilizante Sal.

MATERIAL MH - ESTABILIZANTE SAL		
PORCENTAJE	LIBRE	CONTROLADA
3	2,12	0,96
5	2,04	0,859
7	3,11	1,003

Fuente: John Salinas - Ricardo Villao

3.16 Geoceldas como estabilizante:

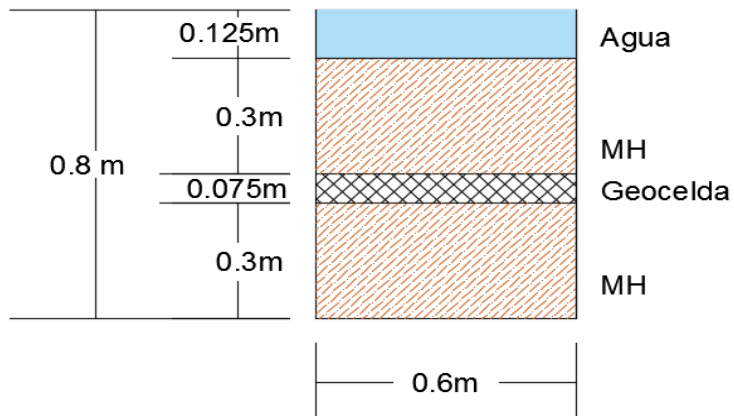
Para el uso de este material se realizó un ensayo en campo, detallado a continuación:
El ensayo se realizó en campo adaptando en un área de $0.36 m^2$ un sistema de geocelda y compactando el mismo material del lugar (terreno expansivo) sobre las aberturas del geosintético, depositado el material en tres capas como se muestra a continuación, la figura detalla gráficamente el ensayo realizado en campo aplicando un sistema de geoceldas.

Resultado:

Tabla 31 Hinchamiento en campo utilizando sistema de geoceldas.

MATERIAL MH – ESTABILIZANTE GEOCELDA	
METODO	% de hinchamiento
Sistema de Geocelda	7,11

Fuente: John Salinas - Ricardo Villao



Fotografía 13 Ensayo en campo usando un sistema de geocelda.

Fuente: John Salinas - Ricardo Villao

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS Y COSTO-BENEFICIO

4.1 Clasificación S.U.C.S Y AASHTO

Basados en las clasificaciones de los suelos, se ha determinado su respectiva clasificación de acuerdo a las metodologías existentes como es la clasificación de Casa grande modificada, conocida en la actualidad como S.U.C.S (Sistema Unificado de Clasificación de los Suelos), en Ingles se lo conoce como USCS (Unified Soil Classification System), sistema de clasificación adoptado por la ASTM (American Society of Testisng Materials), como parte de sus métodos normalizados y la clasificación AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) de aplicación más directa en la ingeniería de carreteras.

Según el sistema S.U.C.S., existe una clara distinción entre 3 grandes grupos de suelos: suelos de grano grueso (G y S) aquellos formados por gravas y arenas con menos del 50 % de contenidos de finos, empleando el tamiz de 0.075 mm (Nº 200 ASTM); suelos de grano fino (M y C) suelos con al menos un 50 % de contenido de limos y arcillas y suelos orgánicos (O, Pt) constituidos fundamentalmente por materia orgánica. Son inservibles como terreno de cimentación. Se debe destacar, que dentro de la tipología indicada pueden existir casos intermedios, para lo cual se emplea una doble nomenclatura. Por ejemplo; una grava bien graduada que contenga entre un 5 y 12 % de finos se clasificará como GW-GM.

AASHTO, al igual que el SUCS, basa la clasificación de los suelos en los resultados de la determinación en laboratorio de la distribución del tamaño de partículas (granulometría), el límite líquido y el límite plástico. La evaluación de los suelos dentro de cada grupo se realiza por medio de un índice de grupo (IG), que es un valor calculado a partir de una ecuación empírica. El comportamiento geotécnico de un suelo varía inversamente con su índice de grupo, es decir que un suelo con índice de grupo igual a cero indica que es material “bueno” y un índice de grupo igual a 20 o mayor, indica un material “muy malo” para la construcción de carreteras.

Se consideran 7 grupos básicos de suelos, numerados desde A-1 hasta el A-7, algunos de estos grupos presentan subdivisiones; así, el A-1 y el A-7 tienen 2 subgrupos y el A-2 tiene 4 subgrupos. Los únicos ensayos requeridos para encuadrar un suelo dentro

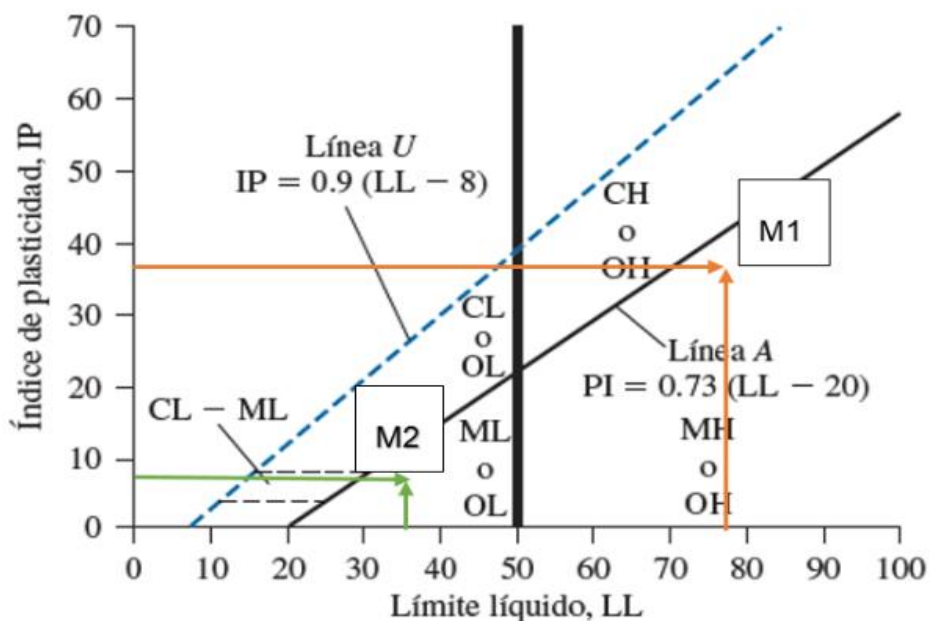
de un grupo u otro son el análisis granulométrico y los límites de Atterberg. Si queremos determinar su posición relativa dentro del grupo, es necesario introducir el concepto de Índice de Grupo (IG), expresado como un número entero con valor comprendido entre 0 y 20 en función del porcentaje de suelo que pasa a través del tamiz N° 200 ASTM.

Tabla 32 Propiedades índice y granulometría de los suelos analizados.

PROPIEDADES INDICE Y CARACTERISTICAS GRANULOMÉTRICAS DE LOS SUELOS EN ESTADO NATURAL							
CALICATA 1	LL	LP	IP	LC	% GRAVA	S.U.C.S.	AASHTO
M1 0,7m	76,61	41,09	35,51	11,68	0	OH	A-7-5
M2 0,9 m	35,04	30,76	4,28	20,18	0	OL	A-4

Fuente: John Salinas – Ricardo Villao.

El sistema S.U.C.S. permite clasificar a la muestra 1 según la carta de plasticidad, la cual se encuentra por debajo de la línea A, en este sector están MH, que corresponde a limos de alta compresibilidad; debido a la intersección entre el límite líquido y el índice de plasticidad y se encuentra por debajo de la línea A en la carta de plasticidad de Casa grande. De igual manera la muestra 2 se clasifica de acuerdo al sistema S.U.C.S como ML que corresponde a limos de baja compresibilidad.



Fotografía 14 Clasificación de las muestras mediante el sistema S.U.C.S.

Fuente: (Das B. , 2012)

Con relación al sistema de clasificación AASHTO, la muestra 2 es denominado en el grupo A-4 que son suelos limosos, la muestra 1 es clasificado bajo el grupo A-7 que pertenece a los suelos arcillosos, el subgrupo A-7-5 (suelos arcillosos con presencia de materia orgánica y pueden ser elásticos y expansivos) debido a que más del 35% de sus partículas pasa el tamiz No 200, su $LL \geq 41$, $IP \geq 11$ e $IP \leq LL-30$, lo que con lleva a un suelo con un potencial expansivo alto.

4.2 Estudio de Suelos

Concluidos los ensayos de laboratorio, realizando las mezclas mencionadas con los agentes estabilizadores, es imprescindible interpretar los resultados obtenidos en la práctica, comprobando los requisitos de cumplimiento con especificaciones técnicas y las respectivas normativas.

4.3 Compactación Proctor Modificado

En función del ensayo de compactación de Proctor modificado, se han generado cambios de acuerdo a la densidad seca máxima y la humedad óptima, esto con relación a los porcentajes añadidos de agentes estabilizantes, se realizó con cada porcentaje de agente estabilizador dicho ensayo, obteniendo resultados como los detallados a continuación:

Tabla 33 Resultados obtenidos, por compactación con cada porcentaje de agente estabilizador.

MUESTRA ESTABILIZANTE CAL			MUESTRA ESTABILIZANTE SAL		
% Estabilizante	Optimo Contenido de Humedad (%)	Máxima Densidad seca (gr/cm ³)	% Estabilizante	Optimo Contenido de Humedad (%)	Máxima Densidad seca (gr/cm ³)
NATURAL	26.15	1.483	NATURAL	26.15	1.483
3	26,00	1,498	3	19,05	1,574
5	25,63	1,526	5	16,57	1,628
7	24,43	1,516	7	24,66	1,564

Fuente: John Salinas – Ricardo Villao.

Una vez obtenidos estos resultados se logró determinar para cada agente estabilizador el porcentaje óptimo tanto de cal como de sal, con el cual los suelos expansivos logran estabilizarse y por ende disminuir su potencial expansivo alto, sin embargo, los ensayos que determinan realmente el potencial de expansión de un suelo, son los ensayos de expansión libre y presión de hinchamiento. Una vez detallado esto, se demuestran los siguientes resultados.

Tabla 34 Resultados obtenidos de Compactación con mezcla de Cal.

Ensayo de Compactación - Proctor		
Descripción	Máxima Densidad Seca (gr/cm ³)	Óptimo Porcentaje de Cal
Mezcla de suelo expansivo y porcentajes de cal (3%,5% y 7%)	1,528	5,53

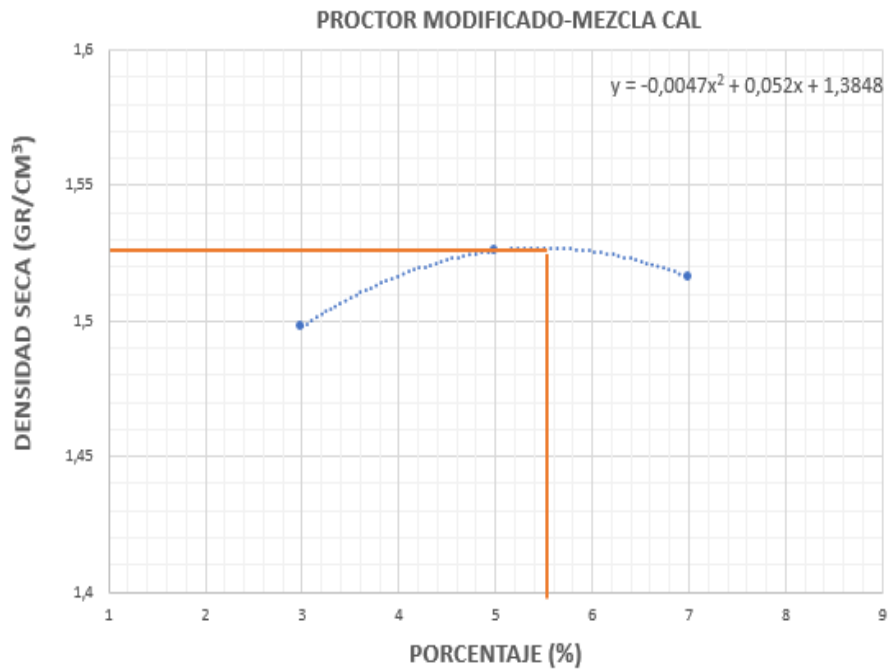
Fuente: John Salinas – Ricardo Villao.

Tabla 35 Resultados obtenidos de Compactación con mezcla de Sal.

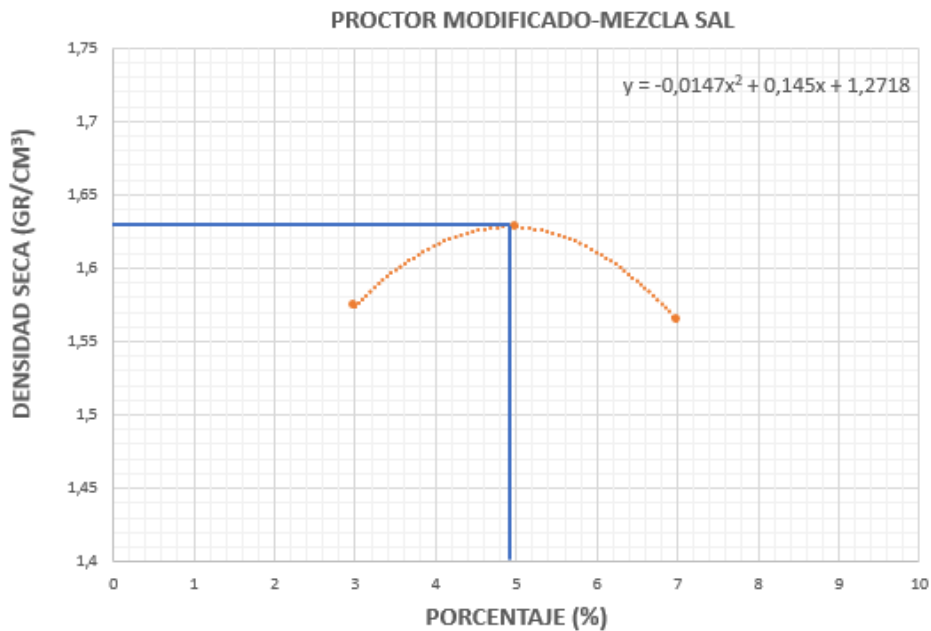
Ensayo de Compactación - Proctor		
Descripción	Máxima Densidad Seca (gr/cm ³)	Óptimo Porcentaje de Sal
Mezcla de suelo expansivo y porcentajes de sal (3%,5% y 7%)	1,63	4,93

Fuente: John Salinas – Ricardo Villao.

Como se demuestran en las tablas anteriores, los resultados del ensayo de compactación, de acuerdo a los porcentajes añadidos (3%, 5% y 7%), determinan los porcentajes óptimos de cal y sal, obteniendo así el valor exacto con el que se debe estabilizar este tipo de suelos, se evidencian estos resultados en las siguientes curvas de compactación de cada uno de los agentes estabilizadores.



Fotografía 15 Curva de Compactación - Mezcla con Cal.
Fuente: John Salinas – Ricardo Villao



Fotografía 16 Curva de Compactación - Mezcla con Sal.
Fuente: John Salinas – Ricardo Villao.

4.4 Límites de Atterberg

En este ensayo se puede definir si el suelo en cuestión tiene un potencial expansivo elevado, lo cual no determina con exactitud, debido a que son métodos indirectos.

Varios autores como Seed, Woodward y Lundgren (1962), Holtz (1969), Land y Lambe (1992), determinan una clasificación a los suelos expansivos en función de su porcentaje de arcilla, sus límites de consistencia, para determinar por ende su índice de expansión.

Tabla 36 Parámetros para clasificar a los suelos expansivos.

	POTENCIAL DE EXPANSIÓN	BAJO	MEDIO	ALTO	MUY ALTO
Seed, Woodward y Lundgren, Land y Lambe	ÍNDICE DE PLASTICIDAD	0-15	10-35	20-55	>55
Holts, Gibbs	ÍNDICE DE PLASTICIDAD	≤18	15-28	25-41	>35
	LÍMITE DE CONTRACCIÓN	≥15	16-10	12-07	<11

Fuente: John Salinas – Ricardo Villao.

En función de lo anterior, se puede clasificar a los suelos analizados de la siguiente manera:

Tabla 37 Clasificación del potencial expansivo de los suelos ensayados.

PROFUNDIDAD	MUESTRA	ÍNDICE DE PLASTICIDAD	LÍMITE DE CONTRACCIÓN	LÍMITE LÍQUIDO	POTENCIAL DE EXPANSIÓN
0m - 0,70 m	1	35,51	11,68	76,61	ALTO
0,70m - 1,60 m	2	4,28	20,18	35,04	BAJO

Fuente: John Salinas – Ricardo Villao.

Los suelos han sido clasificados mediante su índice de expansión, en el caso de la muestra 1 que es la muestra ensayada, debido a que cumple con los requerimientos como una arcilla expansiva, de acuerdo a esto se ha logrado definir que se trata de un potencial expansivo alto en base a sus límites de consistencia, pero como se mencionó son métodos indirectos, por lo cual deben ser corroborados estos resultados de acuerdo al ensayo de expansión libre.

Para determinar el comportamiento de la plasticidad del suelo, se realizaron los ensayos para determinar los límites de Atterberg con la inclusión de agentes

estabilizadores en porcentajes crecientes, como se mencionó se trabajó con la muestra 1, en la cual se utilizaron cal y sal como estabilizantes.

Se han podido determinar variaciones con respecto al límite líquido y por ende su índice de plasticidad a medida que se incrementa el porcentaje de estabilizante a utilizar, se muestran así las siguientes comparaciones de resultados tras haber realizado los ensayos con cal y sal respectivamente:

Tabla 38 Comparación de resultados con agentes estabilizadores.

DOSIFICACIONES CAL 3%,5%,7%	
Límites de Atterberg NATURAL	
LÍMITE LÍQUIDO	76,61
LÍMITE PLÁSTICO	41,09
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	35,51

DOSIFICACIONES SAL 3%,5%,7%	
Límites de Atterberg NATURAL	
LÍMITE LÍQUIDO	76,61
LÍMITE PLÁSTICO	41,09
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	35,51

Límites de Atterberg 3% CAL

MUESTRA	
LÍMITE LÍQUIDO	59,08
LÍMITE PLÁSTICO	45,96
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	13,13

Límites de Atterberg 3% SAL

MUESTRA	
LÍMITE LÍQUIDO	90,14
LÍMITE PLÁSTICO	44,54
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	45,60

Límites de Atterberg 5% CAL

MUESTRA	
LÍMITE LÍQUIDO	48,01
LÍMITE PLÁSTICO	38,98
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	9,03

Límites de Atterberg 5% SAL

MUESTRA	
LÍMITE LÍQUIDO	67,93
LÍMITE PLÁSTICO	40,51
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	27,41

Límites de Atterberg 7% CAL

MUESTRA	
LÍMITE LÍQUIDO	51,29
LÍMITE PLÁSTICO	41,54
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	9,75

Límites de Atterberg 7% SAL

MUESTRA	
LÍMITE LÍQUIDO	69,05
LÍMITE PLÁSTICO	42,21
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	26,83

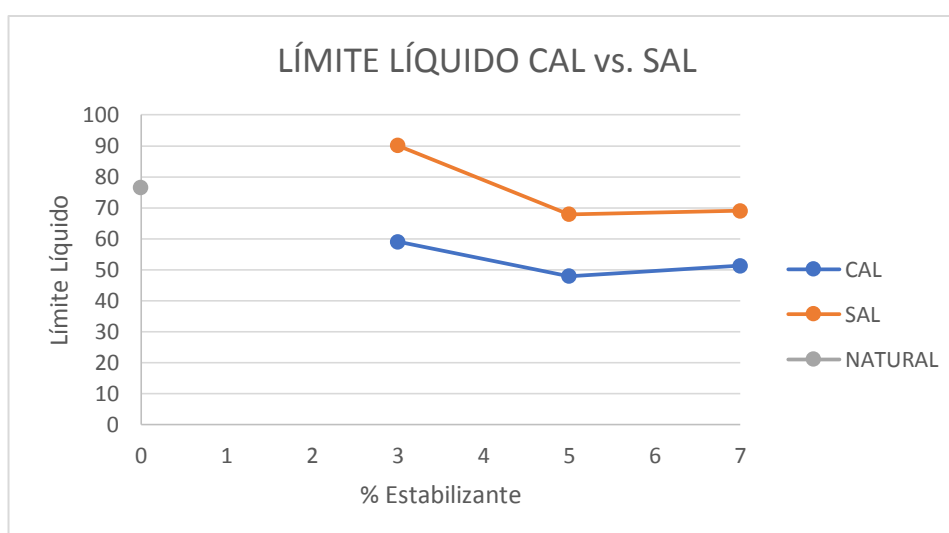
Fuente: John Salinas – Ricardo Villao.

A continuación, se observa la comparación de resultados luego de haber realizado los ensayos con cal y sal.

Tabla 39 Resumen de Límites de Atterberg.

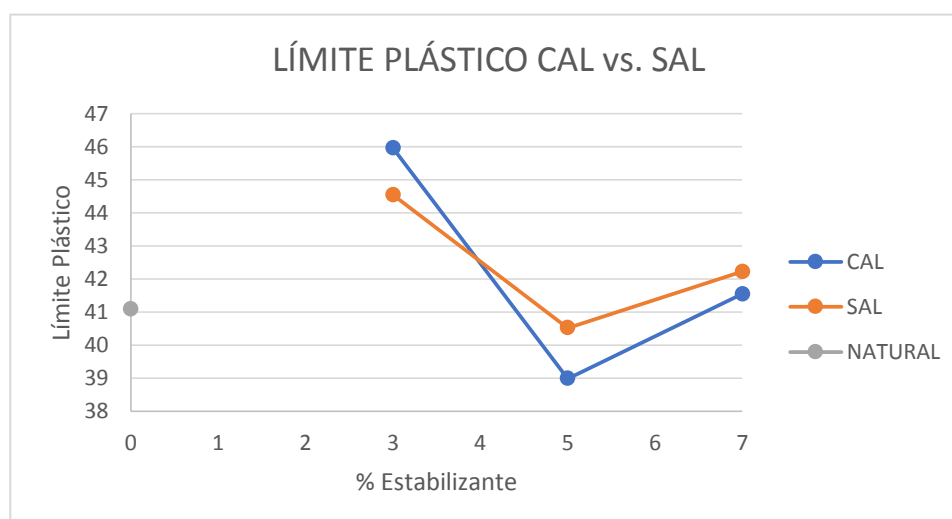
MUESTRA 1						
PORCENTAJE	LÍMITE LÍQUIDO		LÍMITE PLÁSTICO		ÍNDICE DE PLASTICIDAD	
	CAL	SAL	CAL	SAL	CAL	SAL
Natural	76,61		41,09		35,51	
3%	59,08	90,14	45,96	44,54	13,13	45,60
5%	48,01	67,93	38,98	40,51	9,03	27,41
7%	51,29	69,05	41,54	42,21	9,75	26,83

Fuente: John Salinas – Ricardo Villao.



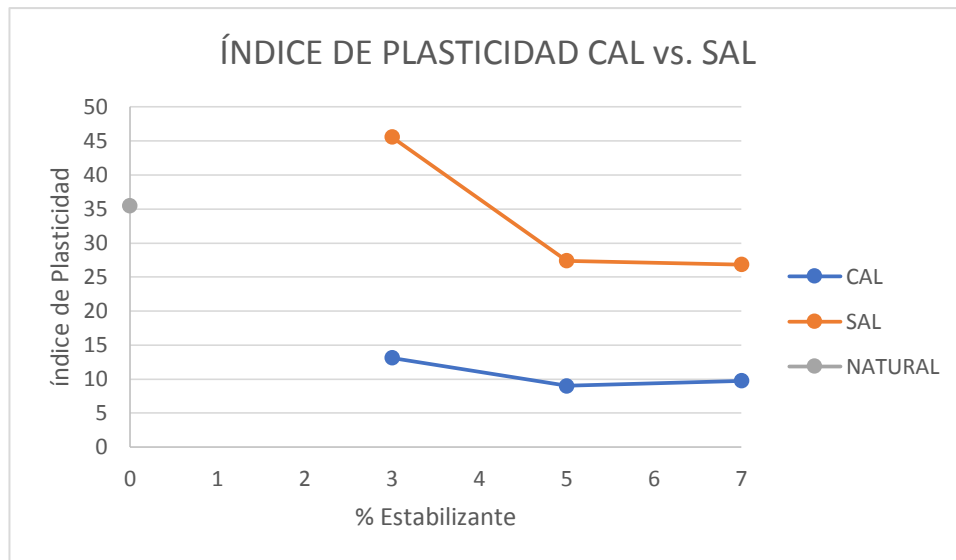
Fotografía 17 Comparación Límite Líquido Cal vs. Sal.

Fuente: John Salinas – Ricardo Villao.



Fotografía 18 Comparación Límite Plástico Cal vs. Sal.

Fuente: John Salinas – Ricardo Villao.



Fotografía 19 Comparación Índice de Plasticidad Cal vs. Sal.
Fuente: John Salinas – Ricardo Villao.

Con cal como agente estabilizador, se determina que a medida que se va incrementando el porcentaje añadido se reduce el índice de plasticidad, se puede notar en el caso cuando se añade el 5%, pero se vuelve a incrementar añadiendo un 7%, cabe recalcar que de acuerdo al ensayo de compactación se determinó un óptimo porcentaje, el cual corrobora estos resultados siendo el 5,5% el óptimo porcentaje para que se disminuya el índice de plasticidad y por ende su límite líquido. De igual manera se trabajó con la sal, en este caso el porcentaje óptimo definido es 4,9% para llegar a un índice de plasticidad bajo como también al límite líquido, todo esto relacionado al suelo natural, en el cual se obtuvieron resultados tanto de índice de plasticidad y límite líquido elevados.

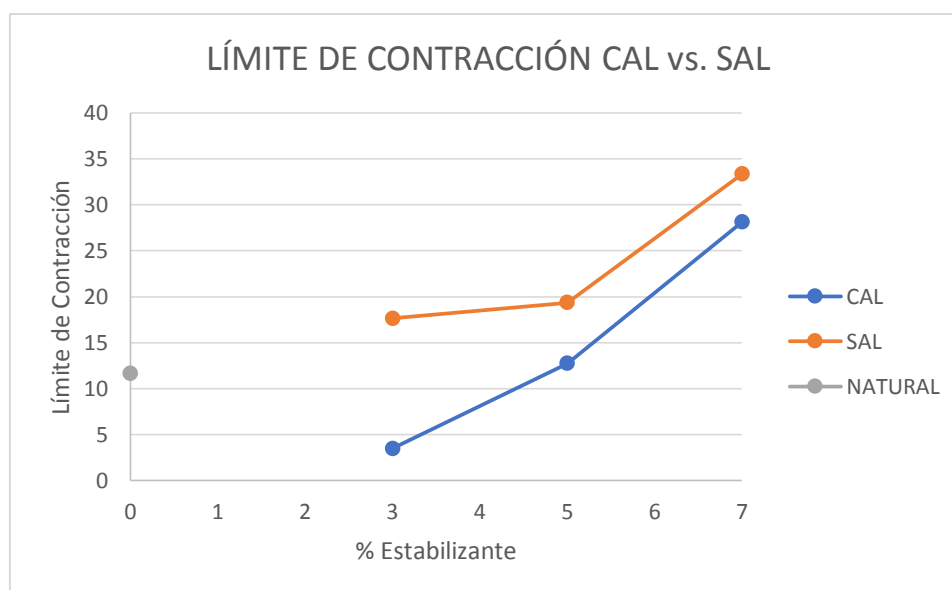
4.5 Límite de Contracción

Uno de los métodos indirectos también utilizados para poder definir el índice de expansión de un suelo, es el ensayo de contracción de los suelos, el suelo natural ensayado determinó un porcentaje de contracción de 11,68, el cual conlleva a un índice expansivo alto, para este ensayo de acuerdo a las dosificaciones añadidas, se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 40 Resultados Obtenidos con los agentes estabilizadores.

MUESTRA ESTABILIZANTE CAL		MUESTRA ESTABILIZANTE SAL	
Porcentaje %	Límite de contracción %	Porcentaje %	Límite de contracción %
NATURAL	11,68	NATURAL	11,68
3	3,50	3	17,64
5	12,74	5	19,36
7	28,13	7	33,34

Fuente: John Salinas – Ricardo Villao.



Fotografía 20 Comparación de Límite de Contracción Cal vs. Sal.

Fuente: John Salinas – Ricardo Villao.

En el caso de estudio, su objetivo principal es poder estabilizar estos suelos con alguno de estos agentes estabilizadores, la cal como estabilizante, funciona efectivamente, se debe obtener un porcentaje de contracción elevado para que la contracción no afecte al suelo, como se mencionó en tablas anteriores, existen autores que determinan porcentajes para poder clasificar los suelos de acuerdo a su límite de contracción, en este caso se logra evidenciar que añadiendo entre el 5% y 7% se logra obtener un porcentaje de contracción elevado que a su vez determina un índice de expansión bajo,

por ende el porcentaje óptimo obtenido (5,5%) si cumple para poder obtener un porcentaje de contracción elevado y por consecuencia un suelo expansivo bajo. El mismo caso sucede como la sal como estabilizante, pero con un pequeño inconveniente, el cual se evidencia que con un 5% de sal añadida al suelo se obtiene un porcentaje de contracción elevado que ayuda a su vez a conseguir un índice de expansión bajo, quiere decir que el porcentaje óptimo (4,9%) es correcto, pero si se añade poca o demasiada sal se obtiene un suelo muy expansivo.

4.6 Expansión Libre y Controlada

En base al porcentaje de agente estabilizante añadido al suelo, éste muestra una disminución del porcentaje de hinchamiento tanto como el uso de cal y sal.

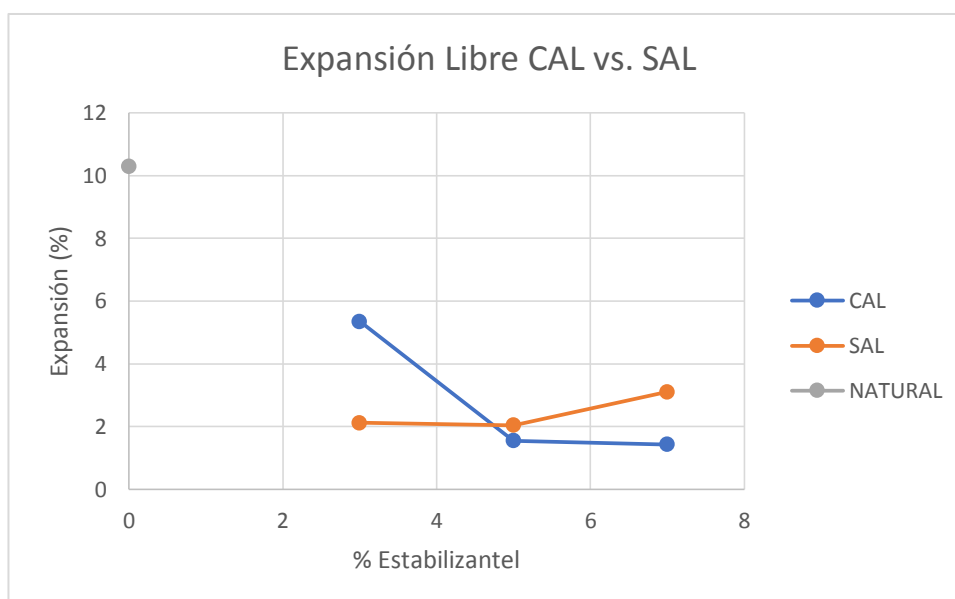
El ensayo de expansión libre es el ensayo más representativo, es un método directo que ayuda a determinar con exactitud el potencial expansivo de un suelo, como indica su nombre, este ensayo logra que el suelo se expanda o hinche a su libertad, una vez que se logra la saturación completa de la muestra ensayada, lo contrario pasa con el ensayo de expansión controlada, en el cual se deben colocar pesos para que de acuerdo a la normativa lograr siempre controlar la expansión en el tiempo indicado y todo el peso añadido es la carga que puede resistir ese tipo de suelos.

Se hace mención que, para obtener un suelo expansivo, se determina mediante el porcentaje que arroje el ensayo de expansión libre, en este caso si se obtiene un porcentaje mayor al 3%, este tipo de suelos no sirve para la construcción de una vía, por ende, es un suelo con potencial alto de expansividad. A continuación, se detalla una tabla de valores con los resultados del suelo natural y con los porcentajes añadidos al suelo estudiado.

Tabla 41 Resultados Obtenidos de Ensayos de Expansión libre y controlada.

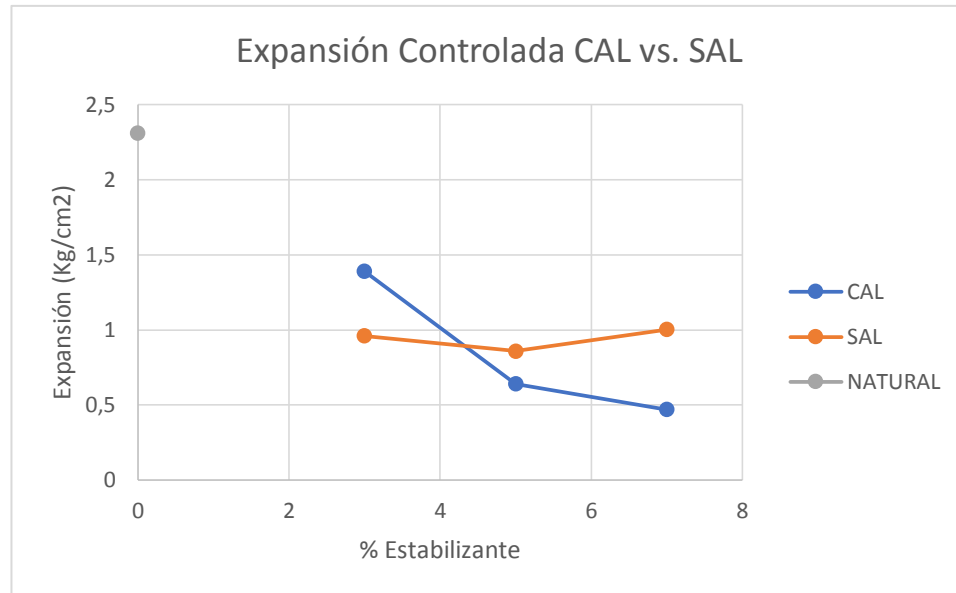
MUESTRA ESTABILIZANTE CAL			MUESTRA ESTABILIZANTE SAL		
Porcentaje %	Libre (%)	Controlada (kg/cm2)	Porcentaje %	Libre (%)	Controlada (kg/cm2)
Natural	10,30	2,31	Natural	10,30	2,31
3	5,35	1,39	3	2,12	0,96
5	1,55	0,64	5	2,04	0,859
7	1,43	0,47	7	3,11	1,003

Fuente: John Salinas – Ricardo Villao.



Fotografía 21 Variaciones de Índice de Expansión Libre Cal vs. Sal.

Fuente: John Salinas – Ricardo Villao.



Fotografía 22 Variaciones de Índice de Expansión Controlada Cal vs. Sal.

Fuente: John Salinas – Ricardo Villao.

Obtenidos estos resultados, se puede definir que al agente estabilizante cal, el porcentaje que debe ser añadido tiene que ser mayor al 5%, para obtener un porcentaje bajo y por consecuencia un suelo que sirva para la construcción de una vía, como anterior se mencionó el porcentaje óptimo de cal, este ensayo corrobora aquel resultado para poder obtener una disminución de expansión, a su vez la carga que puede soportar ese suelo, lo determina el ensayo de expansión controlada.

En el caso de la sal como estabilizante, se logra evidenciar que el suelo natural obtenido poseía un porcentaje mayor al 3%, lo cual determina un suelo malo, con los porcentajes incrementados, se logra obtener una disminución de porcentaje de expansión con el 5%, lo cual es correcto y cumple con el porcentaje óptimo obtenido mediante el ensayo de compactación Proctor modificado.

4.7 Relación de soporte de suelo (California Bearing Ratio)

El aumento del valor CBR con el suelo tratado o estabilizado es muy significativo, se obtuvieron resultados de acuerdo al porcentaje óptimo obtenido por medio de la compactación tanto de cal (5,53%), y de sal (4,93%), de los cuales se puede añadir que si se aumentase un mayor porcentaje de cal pero no en demasiada cantidad, específicamente hasta un 20% de acuerdo a investigaciones realizadas por el Ingeniero Byron Fernando Castillo Parra (2016), con la finalidad de reducir el límite líquido y

por ende su índice de plasticidad, para poder ser utilizado un suelo debe tener un $IP \leq 12$ de acuerdo a la normativa NEVI-12, el suelo tratado con estos valores indican como el CBR aumenta significativamente en relación con el suelo natural ensayado, el cual fue una muestra obtenida en sitio, es decir inalterada, a continuación, el detalle.

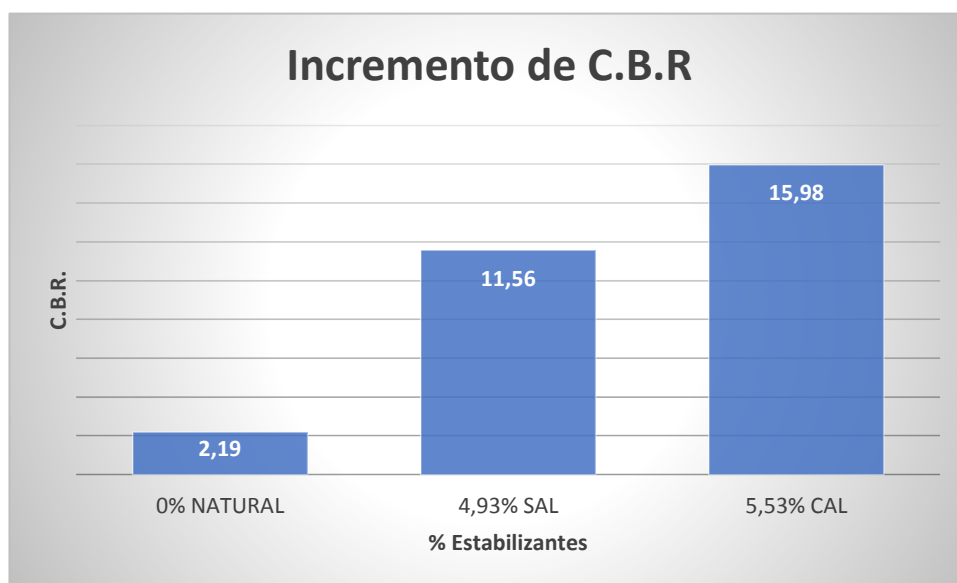
Tabla 42 Obtención de resultados de CBR con porcentajes óptimos de Cal y Sal.

MUESTRA NATURAL	
METODO	CBR 95%
M. INALTERADA	2,19

MUESTRA	
METODO	CBR CBR 95%
Cal Óptimo	15,98

MUESTRA	
METODO	CBR CBR 95%
Sal Óptimo	11,56

Fuente: John Salinas – Ricardo Villao.



Fotografía 23 Incremento del Porcentaje de C.B.R, utilizando los agentes estabilizadores óptimos.

Fuente: John Salinas – Ricardo Villao.

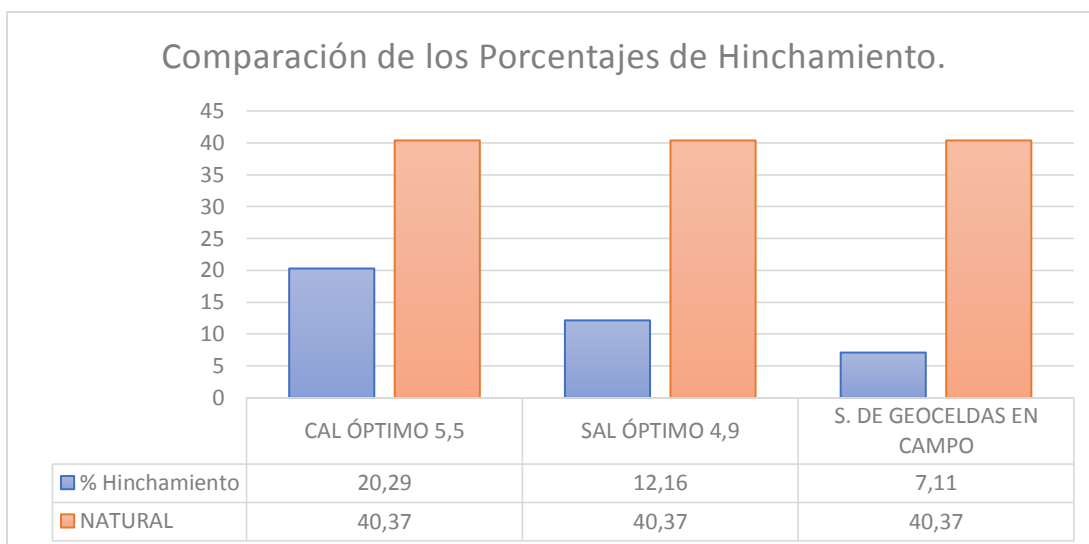
Se obtiene de acuerdo a estos resultados, que, con un aumento significativo de cal, se obtiene un aumento del porcentaje de CBR, mayor a 10 como indican las normas ecuatorianas, cabe mencionar que utilizando el porcentaje óptimo de sal se logra obtener un porcentaje también mayor que 10, lo cual cumple satisfactoriamente con este requisito, ver Anexos.

Con relación al estudio de los geosintéticos, en este caso con la geocelda, el cual es un producto fabricado con polietileno de alta densidad HDPE, este sistema de confinamiento está formado por láminas de polietileno de Alta densidad las cuales pueden ser unidas por procesos de ultrasonido o termofusión, en forma de paneles. El ensayo que se realizó a mencionado estabilizante, fue un ensayo en sitio, simulando el trabajo como se debe realizar en obra con un sistema de geoceldas, se realizó una excavación de largo 60 cm x 60 cm de ancho y altura 70 cm, se realizó una capa de 20 cm de material expansivo, luego se colocó el sistema de geoceldas, con dimensiones de 15cm x 25cm, compactando el interior de cada geocelda, y por último una capa de 15 cm de material compactado, se saturó el material para comprobar su porcentaje de hinchamiento alcanzado, para poder ser utilizado como estabilizante, de acuerdo a esto se obtuvieron resultados del porcentaje de hinchamiento, saturando al material durante 7 días, los resultados obtenidos se muestran a continuación, detallando el porcentaje de hinchamiento obtenido tanto en estado natural, como con el uso de los agentes estabilizantes.

Tabla 43 Porcentajes de Hinchamientos Obtenidos con los agentes estabilizadores.

MUESTRA AGENTES ESTABILIZANTES		
PORCENTAJE %	% Hinchamiento	% de Reducción
NATURAL	40,37	100
CAL ÓPTIMO 5,53	20,29	49,74
SAL ÓPTIMO 4,93	12,16	69,88
S. DE GEOELDAS EN CAMPO	7,11	82,39

Fuente: John Salinas – Ricardo Villao.



Fotografía 24 Variaciones de porcentajes de hinchamiento con los diferentes agentes estabilizadores.

Fuente: John Salinas – Ricardo Villao.

De acuerdo a los resultados, sobre el hinchamiento causado por los agentes estabilizadores, se determina que en estado natural el suelo poseía un hinchamiento del 40,37%, el cual es muy alto y para contrarrestar esta situación desfavorable se utilizaron las mezclas con sus porcentajes óptimos en el caso de la cal y la sal, por el contrario con el uso del geosintético, se realizó un ensayo en campo, los resultados con la adición de cal al suelo lograron una reducción de este porcentaje en un 49,74%, de la misma manera con el agente estabilizador (sal), se obtuvo una reducción del 69,88% del valor inicial, en el ensayo con el sistema de geocelda utilizado en campo, se determinó una reducción considerable del 89,32%, del porcentaje de hinchamiento inicial, el cual fue el agente estabilizador de mayor reducción que se obtuvo en la realización de este ensayo.

4.8 Análisis de Costo-Beneficio.

A continuación, se detalla la comparación de los parámetros económicos y beneficios, tomando en cuenta que el factor económico es el principal componente, cuando se deba tomar una decisión de seleccionar el mejor tratamiento para estabilizar al material estudiado, y evaluar los beneficios de cada uno de ellos.

Cabe destacar que el análisis una vez presentado no se proyecta para determinar con exactitud los costos para ejecutar un diseño vial, sino por lo contrario tiene como

finalidad, dar una referencia para identificar el costo del mejoramiento del material en función de reducir la expansividad del suelo.

El rubro que se analiza se trata sobre la estabilización de material existente, en cada caso se ha añadido el porcentaje de estabilizante requerido para poder estabilizar el material, los porcentajes que se describen en el análisis de costos, son los porcentajes óptimos obtenidos previamente en laboratorio como son 5,53% de cal y 4,93% de sal y el uso de un sistema de geoceldas.

A continuación, se presenta un resumen detallado del costo por m³ que representa la estabilización del material existente, con cada porcentaje de estabilizante y el uso de las geoceldas.

Tabla 44 Costo de m³ estabilizado con material existente.

	Costo por m ³
CAL ÓPTIMO 5,53%	\$ 11,52
SAL ÓPTIMO 4,93%	\$ 7,13
SISTEMA DE GEOCELDAS	\$ 18,86

Fuente: John Salinas – Ricardo Villao.

Tabla 45 Comparación entre el costo de mejoramiento vs. Porcentaje de Hinchamiento.

MUESTRA AGENTES ESTABILIZANTES		
PORCENTAJE %	% Hinchamiento	COSTO
CAL ÓPTIMO 5,5	20,29	\$ 11,52
SAL ÓPTIMO 4,9	12,16	\$ 7,13
S. DE GEOCELDAS EN CAMPO	7,11	\$ 18,86

Fuente: John Salinas – Ricardo Villao.

Si se toma en consideración la tabla 45, sobre el porcentaje de hinchamiento y el costo del tratamiento, se puede observar que con el porcentaje óptimo de cal 5,53%, se obtiene un porcentaje de hinchamiento bajo en comparación con el natural, esto indica que, con poco porcentaje de cal, no se logra disminuir considerablemente la expansión

en este tipo de suelo, si se observa el porcentaje óptimo de sal 4,93%, se logra un porcentaje aceptable, mejor que la cal y tomando en cuenta los costos, el estabilizante que resulta mejor económicamente, sin duda alguna se trata del estabilizante (sal), de aquí que se llega a la conclusión, que tanto técnica como económicamente resulta conveniente utilizar al cloruro de sodio como el mejor estabilizante.

En el caso del sistema de geoceldas, como se realizó un ensayo en campo para comprobar su porcentaje de hinchamiento, se logra evidenciar que, por sus características, resulta siendo el agente estabilizador que mayor reduce el hinchamiento, ensayo que únicamente se logró realizar con este geosintético, por tal razón, no se puede escoger como el mejor estabilizador, debido a que no se le realizaron todos los ensayos pertinentes como el caso de los otros métodos, otro motivo es el costo del tratamiento que posee, y por ser una nueva tecnología innovadora en nuestro país.

A continuación, se presenta un resumen de los resultados de los ensayos de laboratorio realizados.

Tabla 46 Resultados Obtenidos de Ensayos.

	Contenido de Humedad	Gravedad Específica	Límites de Atterberg			Gran. Por Lavado Pasante No 200 (%)	Límite de Contracción	Proctor Modificado		Expansión Libre %	Expansión Controlada kg/cm2
			Límite Líquido	Límite Plástico	índice de Plasticidad			Óptimo Cont. Humedad	Dens. Seca. Máxima		
Suelo Natural	15,63	2,79	76,61	41,09	35,51	99,65	11,68	26,15	1,483	10,30	2,31
Mezcla Cal 3%			59,08	45,96	13,13		3,50	26,00	1,498	5,35	1,39
Mezcla Cal 5%			48,01	38,98	9,03		12,74	25,63	1,526	1,55	0,64
Mezcla Cal 7%			51,29	41,54	9,75		28,13	24,43	1,516	1,43	0,47
Mezcla Sal 3%			90,14	44,54	45,60		17,64	19,05	1,574	2,12	0,96
Mezcla Sal 5%			67,93	40,51	27,41		19,36	16,57	1,628	2,04	0,859
Mezcla Sal 7%			69,05	42,21	26,83		33,34	24,66	1,564	3,11	1,003
	Ensayo Método del Hidrómetro					Límite de Contracción	C.B.R (95%)	Expansión Libre %	Expansión Controlada kg/cm2	Hinchamiento %	
	Profundidad	% Finos	% Limo	% Arcilla	% Coloides						
Suelo Natural	0,70 m	99,65	49,82	33,22	16,61	11,68	2,19	10,30	2,31	40,37	
Mezcla Cal Óptimo 5,53%						16,58	15,98	1,52	0,59	20,29	
Mezcla Sal Óptimo 4,93%						19,27	11,56	2,044	0,86	12,16	
Sistema de Geoceldas										7,11	

Fuente: John Salinas – Ricardo Villao.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

El suelo de subrasante de la Comuna Bajadita de Colonche, fue seleccionado una vez que se ejecutaron los ensayos de laboratorio pertinentes, determinando que el material y el espesor del estrato es clasificado según la carta de plasticidad de Casagrande como limo arcilloso de alta plasticidad MH, observando resultados como: contenido de plasticidad de 35,51%, límite de contracción de 11,68%, expansión libre de 10,30% y expansión controlada de 2,31 kg/cm², valores que autores como Holtz, Chen, Army Waterways, Raman, entre otros, evalúan de manera numérica para conocer el grado de expansión de un suelo, concluyendo según métodos directos e indirectos que el material de la zona de estudio contiene un alto grado de expansividad, pudiendo afectar futuras obras tanto viales como cimentaciones en general.

Basándose en todos los análisis ejecutados y al estudio comparativo de los métodos propuestos se concluye que la opción más favorable para estabilizar este territorio según los resultados obtenidos en el laboratorio correspondiente al índice de plasticidad, límites de contracción, hinchamiento y expansión analizados, entre los tres métodos estudiados el más accesible corresponde al suelo estabilizado con sal tanto en condiciones técnica como económica, seguido del tratamiento con cal y teniendo como tercera opción la estabilización con geoceldas.

La evaluación realizada con los tres porcentajes propuestos para esta investigación, según los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio, se pudo observar que para el método de estabilizante cal con una adición del 5,53 % como porcentaje óptimo, produce variaciones mecánicas con respecto al suelo natural reduciendo significativamente su índice de plasticidad, límite de contracción y su índice de expansibilidad, consiguiendo reducir el porcentaje de expansión catalogada como alta, pasando a ser considerada baja, reduciendo en un 49,74% el hinchamiento que el terreno natural presentaba originalmente, mejorando así la capacidad de soporte del suelo de una manera aceptable para ser utilizada en función de subrasante.

Estudiando el cloruro de sodio como método estabilizante luego de ser evaluado los tres porcentajes descritos, se obtiene de igual manera un porcentaje óptimo para uso

en este tipo de suelo, añadiendo 4,93% de este elemento al terreno natural, obteniendo resultados positivos para estabilización mejorando las características del suelo original en mayor grado, observando según resultados obtenidos más control de contracción y expansividad, reduciendo un 69,88% el hinchamiento, aumentando la capacidad de soporte del suelo y reduciendo en gran medida el potencial expansivo pasándole a ser catalogado como bajo.

Para el análisis del uso de la geocelda como estabilizante, este material geosintético, solo pudo ser evaluado en condiciones de reducción de hinchamiento en un 82,39%, aportando positivamente una disminución muy favorable para controlar este parámetro que es uno de los más puntuales que poseen estos tipos de suelos expansivos y verificando que se convierte en la resistencia oculta de la carretera, diseñada para propagar horizontalmente los esfuerzos verticales de las grietas y disiparlos efectivamente como lo mencionan sus proveedores con respecto a las características que aporta este material para estabilización.

Realizado el proceso de estabilización con los métodos sugeridos para este estudio de investigación se tiene el análisis de costos para cada uno de los métodos mencionados. Para el suelo estabilizado con cal utilizando el porcentaje óptimo se considera un costo por metro cúbico de \$11,52, de la misma manera con la implementación del porcentaje óptimo del cloruro de sodio se tiene un valor por metro cúbico de \$7,13 y para el caso del uso del geosintético se considera un valor de \$18,86 por metro cúbico de estabilización.

5.2 Recomendaciones

Se recomienda tomar en cuenta la mineralogía del material debido que este es un factor muy importante a evaluar, porque dependiendo del mineral dominante del sector se estudiará el método más accesible para lograr su estabilización, en caso de encontrar un terreno con diferentes características de expansividad se realice un nuevo estudio correspondiente a la adición de mayor o menor porcentaje de estabilizantes o en caso contrario optar por otro método que pueda ayudar a contrarrestar este fenómeno.

Se debe tener en consideración la estratigrafía del terreno para la estabilización del suelo o reemplazo del mismo, si el terreno previamente evaluado es clasificado como expansivo y presenta espesores menores a un metro, para estos casos se puede considerar la eliminación del material o el reemplazo total o parcial del terreno y si el volumen sobrepasa esta medida se podría optar por los métodos utilizados en esta investigación u otros según el requerimiento del proyecto.

En cuestión de implementación en obra para el estabilizante sal que es considerado el más accesible para este proyecto, se debe tomar en cuenta que el material del sitio debe ser recortado y pulverizarlo con la máquina recuperadora de asfalto, que cumple la función de triturar el material, luego extenderlo y posterior a este proceso, se recomienda que el porcentaje óptimo obtenido se debe emplear diluyendo el cloruro de sodio en el tanquero que se encarga de hidratar el material extendido, simulando el proceso ensayado en el laboratorio, se debe compactar en capas máximo de 25 cm hasta alcanzar el 95% de la densidad óptima del material. Por otro lado, se recomienda evaluar este tipo de estabilización a largo plazo sabiendo que los resultados presentados fueron evaluados a corto plazo.

Con relación a la evaluación costo-beneficio, se recomienda el uso de estos métodos dependiendo del área que se pretenda estabilizar tomando en consideración que el presupuesto realizado por metro cúbico no varía en gran cantidad sus valores, observando que el uso del geosintético aporta mayor control al hinchamiento, siendo utilizada en un área pequeña o en lugares donde la sal excede su costo de acarreo, podría ser considerada como mejor alternativa de estabilización.

BIBLIOGRAFÍA

- 07, N. I.-1. (s.f.). *ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR MEDIO DEL HIDRÓMETRO.*
- 07, N. I.-1. (s.f.). *DETERMINACIÓN DE LOS FACTORES DE CONTRACCIÓN DE LOS SUELOS.*
- 07, N. I.-1. (s.f.). *Determinación ene el laboratorio del contenido de agua (humedad) del suelo, roca y mezclas de suelo - agregado .*
- 07, N. I.-1. (s.f.). *Limite plástico e índice de plasticidad de suelos.*
- 07, N. I.-1. (s.f.). *MÉTODO PARA MEDIR EL POTENCIAL DE ASENTAMIENTO O EXPANSIÓN UNIDIMENSIONAL DE SUELOS COHESIVOS.*
- 07, N. I.-1. (s.f.). *RELACIÓN DE SOPORTE DEL SUELO EN EL LABORATORIO (CBR DE LABORATORIO).*
- ALBÁN, M. A. (2014). *ESTABILIZACIÓN DE SUELOS EXPANSIVOS CON CAL Y CEMENTO EN EL SECTOR CALCICAL DEL CANTÓN TOSAGUA PROVINCIA DE MANABÍ.* Obtenido de <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/11180/TESIS-PUCE-S%c3%a1nchez%20Alb%c3%a1n%20Mar%c3%ada.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- ALBÁN, M. A. (2014). *ESTABILIZACIÓN DE SUELOS EXPANSIVOS CON CAL Y CEMENTO EN EL SECTOR CALCICAL DEL CANTÓN TOSAGUA PROVINCIA DE MANABÍ.* Obtenido de <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/11180/TESIS-PUCE-S%c3%a1nchez%20Alb%c3%a1n%20Mar%c3%ada.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- ALBÁN, M. A. (2014). *ESTABILIZACIÓN DE SUELOS EXPANSIVOS CON CAL Y CEMENTO EN EL SECTOR CALCICAL DEL CANTÓN TOSAGUA PROVINCIA DE MANABÍ.* Obtenido de <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/11180/TESIS-PUCE-S%c3%a1nchez%20Alb%c3%a1n%20Mar%c3%ada.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

S% C3% A1nchez% 20Alb% C3% A1n% 20Mar% C3% ADa.pdf?sequence=1&isAllowed=y

ALBÁN, M. A. (2014). *ESTABILIZACIÓN DE SUELOS EXPANSIVOS CON CAL Y CEMENTO EN EL SECTOR CALCICAL DEL CANTÓN TOSAGUA PROVINCIA DE MANABÍ*. Obtenido de <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/11180/TESIS-PUCE-S% C3% A1nchez% 20Alb% C3% A1n% 20Mar% C3% ADa.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

ASTM D4546, A. (1996). *Método de prueba estándar para la expansión*.

Ballinas Mijangos, R. J. (2006). *Suelos expansivos. Tesis de Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México*. México, D.F.

Br. Genaro José Altamirano Navarro, B. A. (19 de junio de 2015). *Estabilización de suelos cohesivos por medio de Cal en las Vías de la comunidad de San Isidro del Pegón, municipio Potosí- Rivas*. Obtenido de <http://repositorio.unan.edu.ni/6456/1/51667.pdf>

Das, B. (2012). *Principios de Ingeniería de Cimentaciones. 7ma edición*. México, D.F: Cengage Learning Editores, S.A.

Das, B. M. (s.f.). 4ta edición.

Das, B. M. (2001). *Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones*. 4ta edición.

Elizondo Arrieta, F. &. (2008). *Guía para la Estabilización o Mejoramiento de Rutas no Pavimentadas*. San José: Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales.

I.N.V.E, N. (s.f.). *LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS*.

Ing. Carmen Terreros de Varela, I. V. (1995). *MECÁNICA DE SUELOS LABORATORIO*. Guayaquil: Universidad De Guayaquil.



Jesús Ayuso Muñoz, C. L. (2010). *Cimentaciones y estructuras de contención de tierras*. Madrid.

- Jimenez Salas, J. (1980). *Geotecnia y Cimientos III. Cimentaciones, excavaciones y aplicaciones de la geotecnia*. Madrid:Rueda.
- Jimenez Salas, J.A., y De Justo Jalapeños, J.L. (1975). *Geotecnia y Cimientos I, Propiedades de los Suelos y rocas*. Madrid: Rueda.
- Oswaldo, E. M. (2006). *Caracterización de arcillas expansivas en el sector Salapa*. Loja - Ecuador.
- Paul Garnica Anguas, A. P. (2002). *ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CLORURO DE SODIO PARA SU USO EN LAS VÍAS TERRESTRES*. Obtenido de ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CLORURO DE SODIO PARA SU USO EN LAS VÍAS TERRESTRES: <https://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt201.pdf>
- Sowers, G. (1994). *Introducción a la Mecánica de Suelos y Cimentaciones*. México D.F.
- Villalaz, I. C. (2004). *Mecánica de Suelos y Cimientos*. México: Limusa Noriega Editores, Quinta Edición.

ANEXOS

Anexo A Ensayo de Contenido de humedad.

Anexo A.1 Contenido de humedad de la muestra MH.

	UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL		
TESIS:	ESTUDIO COMPARATIVO DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE SUBRASANTE (SUELOS EXPANSIVOS), UTILIZANDO CAL, SAL Y GEOCELDAS, PARA IMPLEMENTACIÓN EN UNA NUEVA VÍA, EN LA COMUNA BAJADITA DE COLONCHE DE LA PARROQUIA COLONCHE.		
TUTOR:	ING. DANIEL CAMPOVERDE. Mg.	UBICACIÓN:	BAJADITA DE COLONCHE
TESISTAS:	JOHN SALINAS Y RICARDO VILLAO	COORDENADAS:	NORTE: 9771886 ESTE: 536314
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HÚMEDAD DE LOS SUELOS			
 CALICATA N° 1 1 			
	Muestra: MH		
N° de recipiente			0
Peso de recipiente (Wr)			57,66 gr
Peso de Rec + Peso de Suelo Húm. (W1)			805 gr
Peso de Rec + Peso de Suelo Seco. (W2)			704 gr
Peso de agua (Ww=W1-W2)			101 gr
Peso de suelo seco (Ws=W2-Wr)			646,34 gr
Contenido de Humedad $\omega=(Ww/Ws)\times 100$			15,63 %
Realizado por: John Salinas y Ricardo Villao		Revisado por Ing. Daniel Campoverde. Mg.	FECHA ENSAYO 29 de mayo de 2019

Anexo B Ensayos de Límites de Atterberg.

Anexo B.1 Límite líquido y límite plástico de la muestra 1 (MH).



UNIVERSIDAD ESTADAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS, HORMIGONES Y ASFALTO

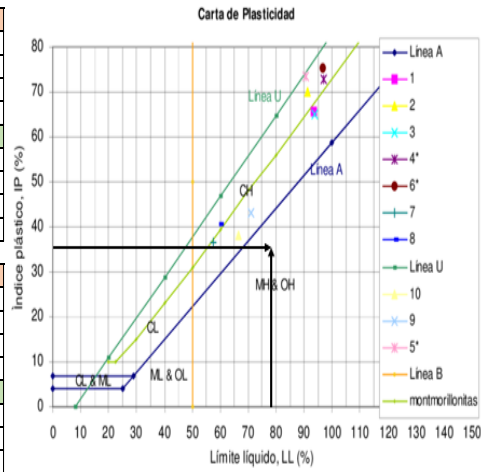


DETERMINACIÓN DE LÍMITES DE ATTERBERG.

TESIS:	ESTUDIO COMPARATIVO DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE SUBRASANTE (SUELOS EXPANSIVOS), UTILIZANDO CAL, SAL Y GEOCELADAS, PARA IMPLEMENTACIÓN EN UNA NUEVA VÍA, EN LA COMUNA BAJADITA DE COLONCHE DE LA PARROQUIA COLONCHE.		
TUTOR:	ING. DANIEL CAMPOVERDE. Mg.	UBICACIÓN:	BAJADITA DE COLONCHE - MUESTRA 1
TESISTAS:	JOHN SALINAS Y RICARDO VILLAO	COORDENADAS:	NORTE: 9771886
		ESTE: 536314	

Nº ENSAYOS	LÍMITE LÍQUIDO			
	1	2	3	4
Nº de recipiente	W4	3	4	L4
Peso de recipiente (Wr)	9,14	9,22	9,23	9,11
Peso de recipiente. + Peso de Suelo húmedo (W1)	22,6	24,09	23,64	22,14
Peso de recipiente + Peso de suelo seco (W2)	16,5	17,71	17,58	16,65
Peso de agua (Ww=W1-W2)	6,1	6,38	6,06	5,49
Peso de suelo seco (Ws = W2 -Wr)	7,36	8,49	8,35	7,54
Contenido de Humedad (w=(Ww/Ws)x100)	82,88	75,15	72,57	72,81
Nº de Golpes	12	23	32	42

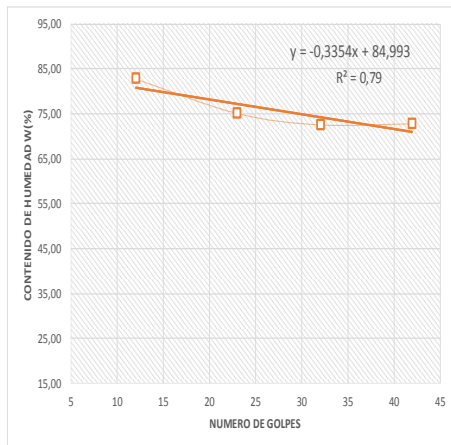
Nº ENSAYOS	LÍMITE PLÁSTICO			
	1	2	3	4
Nº de recipiente	L3	1	S	14
Peso de recipiente (Wr)	9,11	9,2	9,29	9,11
Peso de recipiente. + Peso de Suelo húmedo (W1)	11,71	12,86	13,03	12,66
Peso de recipiente + Peso de suelo seco (W2)	10,99	11,81	11,89	11,61
Peso de agua (Ww=W1-W2)	0,72	1,05	1,14	1,05
Peso de suelo seco (Ws = W2 -Wr)	1,88	2,61	2,6	2,5
Contenido de Humedad (w=(Ww/Ws)x100)	38,30	40,23	43,85	42,00



CARTA DE PLASTICIDAD	
LÍMITE LÍQUIDO	76,61
LÍMITE PLÁSTICO	41,09
INDICE DE PLASTICIDAD	35,51
N	25

CLASIFICACIÓN SUCS: MH: Arcillas Orgánicas de media a alta plasticidad.
OK ALTO EXPANSION

POTENCIAL DE EXPANSIÓN	WC	IP
Muy Alto	< 10	> 32
Alto	6 - 12	23 - 45
Medio	8 - 18	12 - 34
Bajo	> 13	< 20



Realizado por:	Revisado por:	Fecha ensayo:
John Salinas y Ricardo Villao	Ing. Daniel Campoverde. Mg.	22 de mayo de 2019

Anexo B.2 Límite líquido y límite plástico de la muestra 2.



UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS, HORMIGONES Y ASFALTO



DETERMINACIÓN DE LÍMITES DE ATTERBERG.

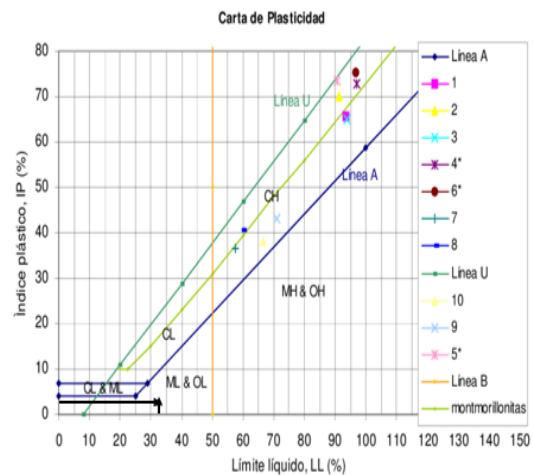
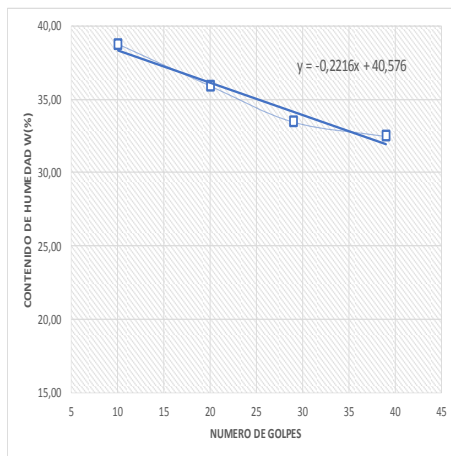
TESIS: ESTUDIO COMPARATIVO DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE SUBRASANTE (SUELOS EXPANSIVOS), UTILIZANDO CAL, SAL Y GEOCELAS, PARA IMPLEMENTACIÓN EN UNA NUEVA VÍA, EN LA COMUNA BAJADITA DE COLONCHE DE LA PARROQUIA COLONCHE.			
TUTOR:	ING. DANIEL CAMPOVERDE, Mg.	UBICACIÓN:	BAJADITA DE COLONCHE - MUESTRA 2
TESISTAS:	JOHN SALINAS Y RICARDO VILLAO	COORDENADAS:	NORTE: 9771886 ESTE: 536314

Nº ENSAYOS	LÍMITE LÍQUIDO			
	1	2	3	4
Nº de recipiente	5	2	R	L4
Peso de recipiente (Wr)	9,32	9,32	9,54	9,1
Peso de recipiente. + Peso de Suelo humedo (W1)	20,92	19,35	20,83	21,95
Peso de recipiente + Peso de suelo seco (W2)	17,68	16,7	18,00	18,80
Peso de agua (Ww= W1-W2)	3,24	2,65	2,83	3,15
Peso de suelo seco (Ws = W2 -Wr)	8,36	7,38	8,46	9,7
Contenido de Humedad (w= (Ww/Ws)x100)	38,76	35,91	33,45	32,47
Nº de Golpes	10	20	29	39

Nº ENSAYOS	LÍMITE PLÁSTICO			
	1	2	3	4
Nº de recipiente	11	5	W1	L2
Peso de recipiente (Wr)	9,28	9,5	9,07	9,47
Peso de recipiente. + Peso de Suelo humedo (W1)	15,45	15,9	15,56	15,75
Peso de recipiente + Peso de suelo seco (W2)	13,99	14,39	14,04	14,28
Peso de agua (Ww= W1-W2)	1,46	1,51	1,52	1,47
Peso de suelo seco (Ws = W2 -Wr)	4,71	4,89	4,97	4,81
Contenido de Humedad (w= (Ww/Ws)x100)	31,00	30,88	30,58	30,56

CARTA DE PLASTICIDAD	
LÍMITE LÍQUIDO	35,04
LÍMITE PLÁSTICO	30,76
INDICE DE PLASTICIDAD	4,28
N	25

CLASIFICACIÓN SUCS: OL: Arcillas Limosas Orgánicas de Baja Plasticidad.



Realizado por:	Revisado por:	Fecha ensayo:
John Salinas y Ricardo Villao	Ing. Daniel Campoverde, Mg.	25 de mayo de 2019

Anexo B.3 Límite líquido y límite plástico de la muestra 1 (MH) con 3% de Cal.



UNIVERSIDAD ESTADAL PENINSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS, HORMIGONES Y ASFALTO



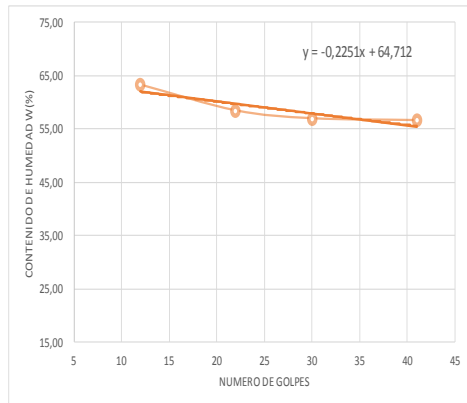
DETERMINACIÓN DE LÍMITES DE ATTERBERG (MEZCLA 3% CAL).

TESIS:				ESTUDIO COMPARATIVO DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE SUBRASANTE (SUELOS EXPANSIVOS), UTILIZANDO CAL, SAL Y GEOCELAS, PARA IMPLEMENTACIÓN EN UNA NUEVA VÍA, EN LA COMUNA BAJADITA DE COLONCHE DE LA PARROQUIA COLONCHE.							
TUTOR:		ING. DANIEL CAMPOVERDE, Mg.		UBICACIÓN:		BAJADITA DE COLONCHE					
TESISTAS:		JOHN SALINAS Y RICARDO VILLAO		COORDENADAS:		<table border="1"> <tr> <td>NORTE:</td> <td>9771886</td> </tr> <tr> <td>ESTE:</td> <td>536314</td> </tr> </table>		NORTE:	9771886	ESTE:	536314
NORTE:	9771886										
ESTE:	536314										

LÍMITE LÍQUIDO				
Nº ENSAYOS	1	2	3	4
Nº de recipiente	7	P5	M1	41
Peso de recipiente (Wr)	9,28	9,00	9,10	9,21
Peso de recipiente. + Peso de Suelo humedo (W1)	17,95	18,03	18,72	19,56
Peso de recipiente + Peso de suelo seco (W2)	14,59	14,7	15,23	15,82
Peso de agua (Ww= W1-W2)	3,36	3,33	3,49	3,74
Peso de suelo seco (Ws = W2 -Wr)	5,31	5,7	6,13	6,61
Contenido de Humedad (w= (Ww/Ws)x100)	63,28	58,42	56,93	56,58
Nº de Golpes	12	22	30	41

LÍMITE PLÁSTICO				
Nº ENSAYOS	1	2	3	4
Nº de recipiente	12	15	9	3
Peso de recipiente (Wr)	9,46	9,22	9,45	9,23
Peso de recipiente. + Peso de Suelo humedo (W1)	12,99	12,80	12,95	14,17
Peso de recipiente + Peso de suelo seco (W2)	11,89	11,68	11,84	12,60
Peso de agua (Ww= W1-W2)	1,1	1,12	1,11	1,57
Peso de suelo seco (Ws = W2 -Wr)	2,43	2,46	2,39	3,37
Contenido de Humedad (w= (Ww/Ws)x100)	45,27	45,53	46,44	46,59

CARTA DE PLASTICIDAD	
LÍMITE LIQUIDO	59,08
LÍMITE PLASTICO	45,96
INDICE DE PLASTICIDAD	13,13
N	25



POTENCIAL DE EXPANSIÓN	WC	IP
Muy Alto	< 10	> 32
Alto	6 - 12	23 - 45
Medio	8 - 18	12 - 34
Bajo	> 13	< 20

Realizado por:	Revisado por:	Fecha ensayo:
John Salinas y Ricardo Villao	Ing. Daniel Campoverde, Mg.	19 de julio de 2019

Anexo B.4 Límite líquido y límite plástico de la muestra 1 (MH) con 5% de Cal.



UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
 FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA
 CARRERA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS, HORMIGONES Y ASFALTO



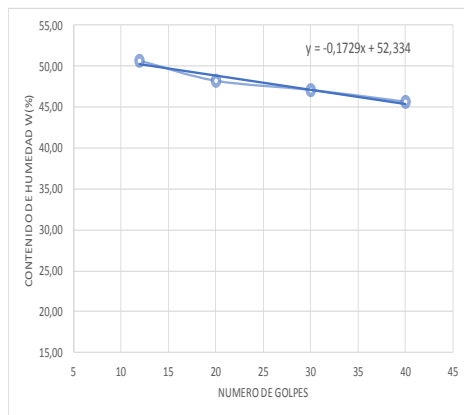
DETERMINACIÓN DE LÍMITES DE ATTERBERG (MEZCLA 5% CAL).

TESIS: ESTUDIO COMPARATIVO DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE SUBRASANTE (SUELOS EXPANSIVOS), UTILIZANDO CAL, SAL Y GEOCELAS, PARA IMPLEMENTACIÓN EN UNA NUEVA VÍA, EN LA COMUNA BAJADITA DE COLONCHE DE LA PARROQUIA COLONCHE.			
TUTOR:	ING. DANIEL CAMPOVERDE, Mg.	UBICACIÓN:	BAJADITA DE COLONCHE
TESISTAS:	JOHN SALINAS Y RICARDO VILLAO	COORDENADAS:	NORTE: 9771886
			ESTE: 536314

Nº ENSAYOS	LÍMITE LÍQUIDO			
	1	2	3	4
Nº de recipiente	PL	W4	W5	1
Peso de recipiente (Wr)	9,25	9,16	9,71	9,20
Peso de recipiente. + Peso de Suelo húmedo (W1)	16,47	18,01	20,61	18,87
Peso de recipiente + Peso de suelo seco (W2)	14,04	15,13	17,12	15,84
Peso de agua (Ww= W1-W2)	2,43	2,88	3,49	3,03
Peso de suelo seco (Ws = W2 -Wr)	4,79	5,97	7,41	6,64
Contenido de Humedad (w= (Ww/Ws)x100)	50,73	48,24	47,10	45,63
Nº de Golpes	12	20	30	40

Nº ENSAYOS	LÍMITE PLÁSTICO			
	1	2	3	4
Nº de recipiente	N1	N4	L	31
Peso de recipiente (Wr)	9,12	9,28	9,32	9,21
Peso de recipiente. + Peso de Suelo húmedo (W1)	13,93	13,74	14,80	14,94
Peso de recipiente + Peso de suelo seco (W2)	12,57	12,52	13,25	13,32
Peso de agua (Ww= W1-W2)	1,36	1,22	1,55	1,62
Peso de suelo seco (Ws = W2 -Wr)	3,45	3,24	3,93	4,11
Contenido de Humedad (w= (Ww/Ws)x100)	39,42	37,65	39,44	39,42

CARTA DE PLASTICIDAD	
LÍMITE LÍQUIDO	48,01
LÍMITE PLÁSTICO	38,98
INDICE DE PLASTICIDAD	9,03
N	25



POTENCIAL DE EXPANSIÓN	WC	IP
Muy Alto	< 10	> 32
Alto	6 - 12	23 - 45
Medio	8 - 18	12 - 34
Bajo	> 13	< 20

Realizado por: John Salinas y Ricardo Villao	Revisado por: Ing. Daniel Campoverde, Mg.	Fecha ensayo: 19 de julio de 2019
--	---	---

Anexo B.5 Límite líquido y límite plástico de la muestra 1 (MH) con 7% de Cal.



UNIVERSIDAD ESTADAL PENINSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS, HORMIGONES Y ASFALTO



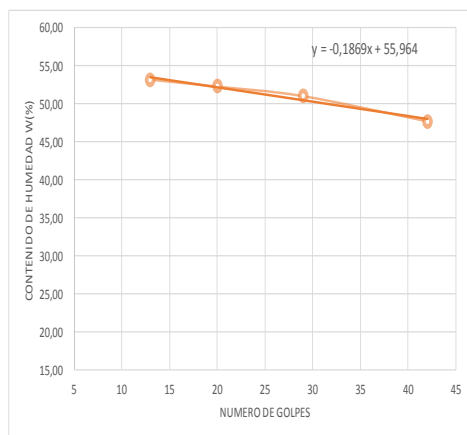
DETERMINACIÓN DE LÍMITES DE ATTERBERG (MEZCLA 7% CAL).

TESIS:			
ESTUDIO COMPARATIVO DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE SUBRASANTE (SUELOS EXPANSIVOS), UTILIZANDO CAL, SAL Y GEOCELSDAS, PARA IMPLEMENTACIÓN EN UNA NUEVA VÍA, EN LA COMUNA BAJADITA DE COLONCHE DE LA PARROQUIA COLONCHE.			
TUTOR:	ING. DANIEL CAMPOVERDE, Mg.	UBICACIÓN:	BAJADITA DE COLONCHE
TESISTAS:	JOHN SALINAS Y RICARDO VILLAO	COORDENADAS:	NORTE: 9771886
			ESTE: 536314

Nº ENSAYOS	LÍMITE LÍQUIDO			
	1	2	3	4
Nº de recipiente	N3	4	W3	V2
Peso de recipiente (Wr)	9,27	9,23	9,16	9,16
Peso de recipiente. + Peso de Suelo humedo (W1)	19,49	18,75	20,37	19,89
Peso de recipiente + Peso de suelo seco (W2)	15,94	15,48	16,58	16,42
Peso de agua (Ww= W1-W2)	3,55	3,27	3,79	3,47
Peso de suelo seco (Ws = W2-Wr)	6,67	6,25	7,42	7,26
Contenido de Humedad (w= (Ww/Ws)x100)	53,22	52,32	51,08	47,80
Nº de Golpes	13	20	29	42

Nº ENSAYOS	LÍMITE PLÁSTICO			
	1	2	3	4
Nº de recipiente	5	L3	P	14
Peso de recipiente (Wr)	9,49	9,12	9,55	9,11
Peso de recipiente. + Peso de Suelo humedo (W1)	14,36	14,92	14,77	14,08
Peso de recipiente + Peso de suelo seco (W2)	12,92	13,24	13,21	12,64
Peso de agua (Ww= W1-W2)	1,44	1,68	1,56	1,44
Peso de suelo seco (Ws = W2-Wr)	3,43	4,12	3,66	3,53
Contenido de Humedad (w= (Ww/Ws)x100)	41,98	40,78	42,62	40,79

CARTA DE PLASTICIDAD	
LÍMITE LIQUIDO	51,29
LÍMITE PLASTICO	41,54
INDICE DE PLASTICIDAD	9,75
N	25



POTENCIAL DE EXPANSIÓN	WC	IP
Muy Alto	< 10	> 32
Alto	6 - 12	23 - 45
Medio	8 - 18	12 - 34
Bajo	> 13	< 20

Realizado por: John Salinas y Ricardo Villao	Revisado por: Ing. Daniel Campoverde, Mg.	Fecha ensayo: 19 de julio de 2019
--	---	---

Anexo B.6 Límite líquido y límite plástico de la muestra 1 (MH) con 3% de Sal.



UNIVERSIDAD ESTADAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS, HORMIGONES Y ASFALTO



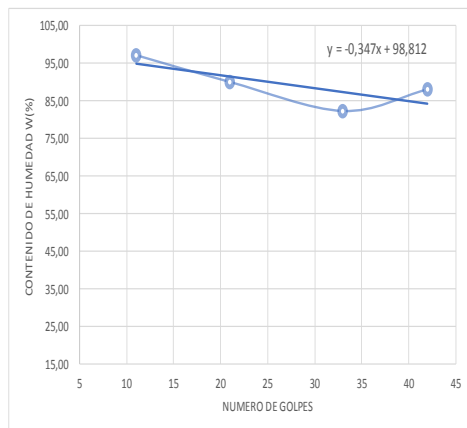
DETERMINACIÓN DE LÍMITES DE ATTERBERG (MEZCLA 3% SAL).

TESIS:	ESTUDIO COMPARATIVO DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE SUBRASANTE (SUELOS EXPANSIVOS), UTILIZANDO CAL, SAL Y GEOCELAS, PARA IMPLEMENTACIÓN EN UNA NUEVA VÍA, EN LA COMUNA BAJADITA DE COLONCHE DE LA PARROQUIA COLONCHE.						
TUTOR:	ING. DANIEL CAMPOVERDE. Mg.	UBICACIÓN:	BAJADITA DE COLONCHE				
TESISTAS:	JOHN SALINAS Y RICARDO VILLAO	COORDENADAS:	<table border="1"> <tr> <td>NORTE:</td> <td>9771886</td> </tr> <tr> <td>ESTE:</td> <td>536314</td> </tr> </table>	NORTE:	9771886	ESTE:	536314
NORTE:	9771886						
ESTE:	536314						

Nº ENSAYOS	LÍMITE LÍQUIDO			
	1	2	3	4
Nº de recipiente	P3	P8	V1	W2
Peso de recipiente (Wr)	9,29	9,08	9,08	9,04
Peso de recipiente. + Peso de Suelo humedo (W1)	19,00	17,39	19,24	17,17
Peso de recipiente + Peso de suelo seco (W2)	14,21	13,45	14,65	13,36
Peso de agua (Ww=W1-W2)	4,79	3,94	4,59	3,81
Peso de suelo seco (Ws = W2 -Wr)	4,92	4,37	5,57	4,32
Contenido de Humedad (w= (Ww/Ws)x100)	97,36	90,16	82,41	88,19
Nº de Golpes	11	21	33	42

Nº ENSAYOS	LÍMITE PLÁSTICO			
	1	2	3	4
Nº de recipiente	S	W	7	P4
Peso de recipiente (Wr)	9,29	9,16	9,09	9,16
Peso de recipiente. + Peso de Suelo humedo (W1)	13,46	12,58	12,71	13,48
Peso de recipiente + Peso de suelo seco (W2)	12,16	11,50	11,61	12,18
Peso de agua (Ww=W1-W2)	1,3	1,08	1,1	1,3
Peso de suelo seco (Ws = W2 -Wr)	2,87	2,34	2,52	3,02
Contenido de Humedad (w= (Ww/Ws)x100)	45,30	46,15	43,65	43,05

CARTA DE PLASTICIDAD	
LÍMITE LÍQUIDO	90,14
LÍMITE PLÁSTICO	44,54
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	45,60
N	25



POTENCIAL DE EXPANSIÓN	WC	IP
Muy Alto	< 10	> 32
Alto	6 - 12	23 - 45
Medio	8 - 18	12 - 34
Bajo	> 13	< 20

Realizado por: John Salinas y Ricardo Villao	Revisado por: Ing. Daniel Campoverde. Mg.	Fecha ensayo: 23 de julio de 2019
--	---	---

Anexo B.7 Límite líquido y límite plástico de la muestra 1 (MH) con 5% de Sal.



UNIVERSIDAD ESTADAL PENINSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS, HORMIGONES Y ASFALTO



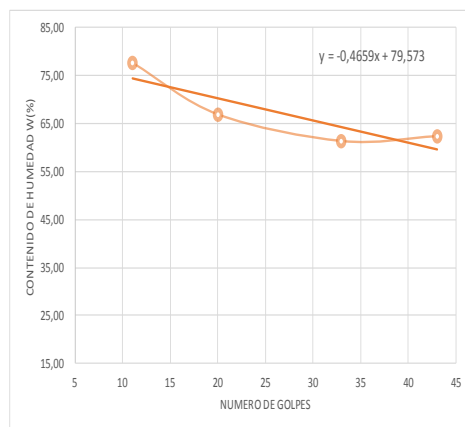
DETERMINACIÓN DE LÍMITES DE ATTERBERG (MEZCLA 5% SAL).

TESIS:	ESTUDIO COMPARATIVO DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE SUBRASANTE (SUELOS EXPANSIVOS), UTILIZANDO CAL, SAL Y GEOCELIDAS, PARA IMPLEMENTACIÓN EN UNA NUEVA VÍA, EN LA COMUNA BAJADITA DE COLONCHE DE LA PARROQUIA COLONCHE.						
TUTOR:	ING. DANIEL CAMPOVERDE, Mg.	UBICACIÓN:	BAJADITA DE COLONCHE				
TESISTAS:	JOHN SALINAS Y RICARDO VILLAO	COORDENADAS:	<table border="1"> <tr> <td>NORTE:</td> <td>9771886</td> </tr> <tr> <td>ESTE:</td> <td>536314</td> </tr> </table>	NORTE:	9771886	ESTE:	536314
NORTE:	9771886						
ESTE:	536314						

LÍMITE LÍQUIDO				
Nº ENSAYOS	1	2	3	4
Nº de recipiente	6	P6	W6	6
Peso de recipiente (Wr)	9,28	9,20	9,48	9,34
Peso de recipiente. + Peso de Suelo humedo (W1)	18,93	17,68	18,34	20,14
Peso de recipiente + Peso de suelo seco (W2)	14,71	14,28	14,97	15,99
Peso de agua (Ww= W1-W2)	4,22	3,4	3,37	4,15
Peso de suelo seco (Ws = W2 -Wr)	5,43	5,08	5,49	6,65
Contenido de Humedad (w= (Ww/Ws)x100)	77,72	66,93	61,38	62,41
Nº de Golpes	11	20	33	43

LÍMITE PLÁSTICO				
Nº ENSAYOS	1	2	3	4
Nº de recipiente	N1	L1	W1	N2
Peso de recipiente (Wr)	9,19	9,33	9,07	9,34
Peso de recipiente. + Peso de Suelo humedo (W1)	13,67	14,65	14,18	14,38
Peso de recipiente + Peso de suelo seco (W2)	12,36	13,09	12,74	12,94
Peso de agua (Ww= W1-W2)	1,31	1,56	1,44	1,44
Peso de suelo seco (Ws = W2 -Wr)	3,17	3,76	3,67	3,6
Contenido de Humedad (w= (Ww/Ws)x100)	41,32	41,49	39,24	40,00

CARTA DE PLASTICIDAD	
LÍMITE LÍQUIDO	67,93
LÍMITE PLÁSTICO	40,51
INDICE DE PLASTICIDAD	27,41
N	25



POTENCIAL DE EXPANSIÓN	WC	IP
Muy Alto	< 10	> 32
Alto	6 - 12	23 - 45
Medio	8 - 18	12 - 34
Bajo	> 13	< 20

Realizado por:	Revisado por:	Fecha ensayo:
John Salinas y Ricardo Villao	Ing. Daniel Campoverde, Mg.	23 de julio de 2019

Anexo B.8 Límite líquido y límite plástico de la muestra 1 (MH) con 7% de Sal.



UNIVERSIDAD ESTADAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS, HORMIGONES Y ASFALTO



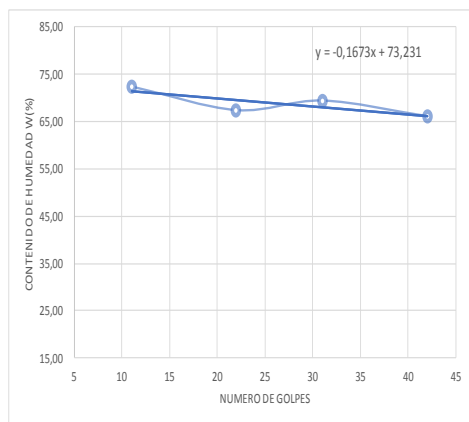
DETERMINACIÓN DE LÍMITES DE ATTERBERG (MEZCLA 7% SAL).

TESIS: ESTUDIO COMPARATIVO DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE SUBRASANTE (SUELOS EXPANSIVOS), UTILIZANDO CAL, SAL Y GEOCELADAS, PARA IMPLEMENTACIÓN EN UNA NUEVA VÍA, EN LA COMUNA BAJADITA DE COLONCHE DE LA PARROQUIA COLONCHE.			
TUTOR:	ING. DANIEL CAMPOVERDE, Mg.	UBICACIÓN:	BAJADITA DE COLONCHE
TESISTAS:	JOHN SALINAS Y RICARDO VILLAO	COORDENADAS:	NORTE: 9771886 ESTE: 536314

Nº ENSAYOS	LÍMITE LÍQUIDO			
	1	2	3	4
Nº de recipiente	P	P5	7	W3
Peso de recipiente (Wr)	9,55	8,99	9,28	9,16
Peso de recipiente. + Peso de Suelo humedo (W1)	21,25	19,05	17,19	18,13
Peso de recipiente + Peso de suelo seco (W2)	16,34	15,00	13,95	14,56
Peso de agua (Ww= W1-W2)	4,91	4,05	3,24	3,57
Peso de suelo seco (Ws = W2 -Wr)	6,79	6,01	4,67	5,4
Contenido de Humedad (w= (Ww/Ws)x100)	72,31	67,39	69,38	66,11
Nº de Golpes	11	22	31	42

Nº ENSAYOS	LÍMITE PLÁSTICO			
	1	2	3	4
Nº de recipiente	L3	14	N1	5
Peso de recipiente (Wr)	9,12	9,12	9,13	9,51
Peso de recipiente. + Peso de Suelo humedo (W1)	13,44	13,77	13,46	15,03
Peso de recipiente + Peso de suelo seco (W2)	12,18	12,46	12,13	13,34
Peso de agua (Ww= W1-W2)	1,26	1,31	1,33	1,69
Peso de suelo seco (Ws = W2 -Wr)	3,06	3,34	3,00	3,83
Contenido de Humedad (w= (Ww/Ws)x100)	41,18	39,22	44,33	44,13

CARTA DE PLASTICIDAD	
LÍMITE LÍQUIDO	69,05
LÍMITE PLÁSTICO	42,21
INDICE DE PLASTICIDAD	26,83
N	25





POTENCIAL DE EXPANSIÓN	WC	IP
Muy Alto	< 10	> 32
Alto	6 - 12	23 - 45
Medio	8 - 18	12 - 34
Bajo	> 13	< 20

Realizado por:	Revisado por:	Fecha ensayo:
John Salinas y Ricardo Villao	Ing. Daniel Campoverde, Mg.	23 de julio de 2019

Anexo C Ensayo de Límite de Contracción.

Anexo C.1 Límite de Contracción de la muestra 1 (MH).

	UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE SUELOS, HORMIGONES Y ASFALTO		
DETERMINACIÓN DEL LÍMITE DE CONTRACCIÓN.			
TESIS: ESTUDIO COMPARATIVO DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE SUBRASANTE (SUELOS EXPANSIVOS), UTILIZANDO CAL, SAL Y GEOCELAS, PARA IMPLEMENTACIÓN EN UNA NUEVA VÍA, EN LA COMUNA BAJADITA DE COLONCHE DE LA PARROQUIA COLONCHE.			
TUTOR:	ING. DANIEL CAMPOVERDE. Mg.	UBICACIÓN:	BAJADITA DE COLONCHE
TESISTAS:	JOHN SALINAS Y RICARDO VILLAO	COORDENADAS:	NORTE: 9771886
			ESTE: 536314

POTENCIAL DE EXPANSIÓN	Wc	IP
Muy Alto	< 10	> 32
Alto	6 - 12	23 - 45
Medio	8 - 18	12 - 34
Bajo	> 13	< 20

1.- DETERMINACIÓN DE V= VOLUMEN DE SUELO HÚMEDO MOLDEADO

(a)	Peso de recipiente =	10,07 g.
(b)	Peso de recipiente lleno de agua =	35,79 g.
(c)	Peso de agua (b - a) =	25,72 g.

2.- DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD

(d)	Peso de recipiente =	10,07 g.
(e)	Peso suelo húmedo + recipiente :Wh + r	41,37 g.
(f)	Peso suelo seco + recipiente :Wo + r	26,96 g.
(g)	Peso de agua :Ww (f - e)	(14,41) g.
(h)	Peso suelo seco :Wo (f - d)	16,89 g.

(i) Contenido de humedad : % w = (Ww / Wo) x 100 = (0,85) (85,32) %

3.- DETERMINACIÓN DE Vo = VOLUMEN DEL SUELO SECO MOLDEADO



(j)	Peso de parafina = Wp	3,81 g.
(k)	Peso de pastilla = Peso suelo seco = Wo	16,89 g.
(l)	Peso de pastilla cubierta de parafina = Wo + Wp	20,70 g.
	γ parafina = 0,87 gr/cm ³	
(m)	Volumen de la parafina Vp = Wp / 0,87 =	4,38 c. c.
(n)	Peso suelo seco cubierto de parafina (en el aire)	20,70 g.
(o)	Peso suelo seco cubierto de parafina (en el agua)	6,93 g.
(p)	Volumen del suelo seco cubierto de parafina (n - o)	13,77 cm ³
(m)	Volumen de la parafina Vp	4,38 cm ³
(q)	Volumen del suelo seco = Vo (p - m)	9,39 cm ³

LÍMITE DE CONTRACCIÓN Wc =
$$\% w - \frac{V - V_o}{W_o} \cdot 100$$
 (0,12) (11,68) %

Wc 6-12 OK ALTO

Realizado por: John Salinas y Ricardo Villao	Revisado por: Ing. Daniel Campoverde. Mg.	Fecha ensayo: 31 de mayo de 2019
--	---	--

Anexo C.2 Límite de Contracción de la muestra 1 (MH) con 3% de Cal.

	UNIVERSIDAD ESTADAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE SUELOS, HORMIGONES Y ASFALTO	
DETERMINACIÓN DEL LÍMITE DE CONTRACCIÓN (MEZCLA 3% CON CAL)		
TESIS: ESTUDIO COMPARATIVO DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE SUBRASANTE (SUELOS EXPANSIVOS), UTILIZANDO CAL, SAL Y GEOCELDAS, PARA IMPLEMENTACIÓN EN UNA NUEVA VÍA, EN LA COMUNA BAJADITA DE COLONCHE DE LA PARROQUIA COLONCHE.		
TUTOR:	ING. DANIEL CAMPOVERDE. Mg.	UBICACIÓN: BAJADITA DE COLONCHE
TESISTAS:	JOHN SALINAS Y RICARDO VILLAO	COORDENADAS:
		NORTE: 9771886 ESTE: 536314

POTENCIAL DE EXPANSIÓN	Wc	IP
Muy Alto	< 10	> 32
Alto	6 - 12	23 - 45
Medio	8 - 18	12 - 34
Bajo	> 13	< 20

1.- DETERMINACIÓN DE V= VOLUMEN DE SUELO HÚMEDO MOLDEADO

(a) Peso de recipiente =	9,31 g.
(b) Peso de recipiente lleno de agua =	29,10 g.
(c) Peso de agua (b - a) =	19,79 g.

2.- DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD

(d) Peso de recipiente =	9,31 g.
(e) Peso suelo húmedo + recipiente :Wh + r	37,26 g.
(f) Peso suelo seco + recipiente :Wo + r	28,27 g.
(g) Peso de agua :Ww (f - e)	(8,99) g.
(h) Peso suelo seco :Wo (f - d)	18,96 g.

(i) Contenido de humedad : % w = (Ww / Wo) x 100 = (0,47) (47,42) %

3.- DETERMINACIÓN DE Vo = VOLUMEN DEL SUELO SECO MOLDEADO

(j) Peso de parafina = Wp	3,64 g.
(k) Peso de pastilla = Peso suelo seco = Wo	18,96 g.
(l) Peso de pastilla cubierta de parafina = Wo + Wp	22,60 g.
γ parafina = 0,87 gr/cm3	
(m) Volumen de la parafina Vp = Wp / 0,87 =	4,18 c. c.
(n) Peso suelo seco cubierto de parafina (en el aire)	22,60 g.
(o) Peso suelo seco cubierto de parafina (en el agua)	8,20 g.
(p) Volumen del suelo seco cubierto de parafina (n - o)	14,40 cm3
(m) Volumen de la parafina Vp	4,18 cm3
(q) Volumen del suelo seco = Vo (p - m)	10,22 cm3

LÍMITE DE CONTRACCIÓN Wc =
$$\% w - \frac{V - V_o}{W_o} \times 100$$
 (0,03) (3,50) %

Wc <10 MUY ALTO

Realizado por: John Salinas y Ricardo Villao	Revisado por: Ing. Daniel Campoverde. Mg.	Fecha ensayo: 26 de julio de 2019
--	---	---

Anexo C.3 Límite de Contracción de la muestra 1 (MH) con 5% de Cal.



UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA
 FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA
 CARRERA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS, HORMIGONES Y ASFALTO



DETERMINACIÓN DEL LÍMITE DE CONTRACCIÓN (MEZCLA 5% CON CAL)

TESIS: ESTUDIO COMPARATIVO DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE SUBRASANTE (SUELOS EXPANSIVOS), UTILIZANDO CAL, SAL Y GEOCELAS, PARA IMPLEMENTACIÓN EN UNA NUEVA VÍA, EN LA COMUNA BAJADITA DE COLONCHE DE LA PARROQUIA COLONCHE.			
TUTOR:	ING. DANIEL CAMPOVERDE. Mg.	UBICACIÓN:	BAJADITA DE COLONCHE
TESISTAS:	JOHN SALINAS Y RICARDO VILLAO	COORDENADAS:	NORTE: 9771886
			ESTE: 536314

POTENCIAL DE EXPANSIÓN	Wc	IP
Muy Alto	< 10	> 32
Alto	6 - 12	23 - 45
Medio	8 - 18	12 - 34
Bajo	> 13	< 20

1.- DETERMINACIÓN DE V= VOLUMEN DE SUELO HÚMEDO MOLDEADO

(a)	Peso de recipiente =	9,44	g.
(b)	Peso de recipiente lleno de agua =	33,12	g.
(c)	Peso de agua (b - a)=	23,68	g.

2.- DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD

(d)	Peso de recipiente =	9,44	g.
(e)	Peso suelo húmedo + recipiente :Wh + r	39,21	g.
(f)	Peso suelo seco + recipiente :Wo + r	31,50	g.
(g)	Peso de agua :Ww (f - e)	(7,71)	g.
(h)	Peso suelo seco :Wo (f - d)	22,06	g.
(i)	Contenido de humedad : % w = (Ww / Wo) x 100 =	(0,35)	(34,95) %

3.- DETERMINACIÓN DE Vo = VOLUMEN DEL SUELO SECO MOLDEADO

(j)	Peso de parafina = Wp	4,03	g.
(k)	Peso de pastilla = Peso suelo seco = Wo	22,06	g.
(l)	Peso de pastilla cubierta de parafina = Wo + Wp	26,09	g.
γ parafina = 0,87 gr/cm3			
(m)	Volumen de la parafina Vp = Wp / 0,87 =	4,63	c. c.
(n)	Peso suelo seco cubierto de parafina (en el aire)	26,09	g.
(o)	Peso suelo seco cubierto de parafina (en el agua)	8,31	g.
(p)	Volumen del suelo seco cubierto de parafina (n - o)	17,78	cm3
(m)	Volumen de la parafina Vp	4,63	cm3
(q)	Volumen del suelo seco = Vo (p - m)	13,15	cm3

LÍMITE DE CONTRACCIÓN Wc =
$$\% w = \frac{V - V_0}{W_0} \times 100$$
 (0,13) (12,74) %

Wc 8-18 OK MEDIO

Realizado por: John Salinas y Ricardo Villao	Revisado por: Ing. Daniel Campoverde. Mg.	Fecha ensayo: 26 de julio de 2019
--	---	---

Anexo C.4 Límite de Contracción de la muestra 1 (MH) con 7% de Cal.



UNIVERSIDAD ESTADAL PENINSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS, HORMIGONES Y ASFALTO



DETERMINACIÓN DEL LÍMITE DE CONTRACCIÓN (MEZCLA 7% CON CAL)

TESIS: ESTUDIO COMPARATIVO DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE SUBRASANTE (SUELOS EXPANSIVOS), UTILIZANDO CAL, SAL Y GEOCELAS, PARA IMPLEMENTACIÓN EN UNA NUEVA VÍA, EN LA COMUNA BAJADITA DE COLONCHE DE LA PARROQUIA COLONCHE.			
TUTOR:	ING. DANIEL CAMPOVERDE. Mg.	UBICACIÓN:	BAJADITA DE COLONCHE
TESISTAS:	JOHN SALINAS Y RICARDO VILLAO	COORDENADAS:	NORTE: 9771886
			ESTE: 536314

POTENCIAL DE EXPANSIÓN	Wc	IP
Muy Alto	< 10	> 32
Alto	6 - 12	23 - 45
Medio	8 - 18	12 - 34
Bajo	> 13	< 20

1.- DETERMINACIÓN DE V= VOLUMEN DE SUELO HÚMEDO MOLDEADO

(a)	Peso de recipiente =	9,50 g.
(b)	Peso de recipiente lleno de agua =	25,37 g.
(c)	Peso de agua (b - a) =	15,87 g.

2.- DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD

(d)	Peso de recipiente =	9,50 g.
(e)	Peso suelo húmedo + recipiente :Wh + r	39,51 g.
(f)	Peso suelo seco + recipiente :Wo + r	31,14 g.
(g)	Peso de agua :Ww (f - e)	(8,37) g.
(h)	Peso suelo seco :Wo (f - d)	21,64 g.

(i) Contenido de humedad : % w = (Ww / Wo) x 100 = **(0,39) (38,68) %**

3.- DETERMINACIÓN DE Vo = VOLUMEN DEL SUELO SECO MOLDEADO



(j)	Peso de parafina = Wp	3,50 g.
(k)	Peso de pastilla = Peso suelo seco = Wo	21,64 g.
(l)	Peso de pastilla cubierta de parafina = Wo + Wp	25,14 g.
γ parafina = 0,87 gr/cm ³		
(m)	Volumen de la parafina Vp = Wp / 0,87 =	4,02 c. c.
(n)	Peso suelo seco cubierto de parafina (en el aire)	25,14 g.
(o)	Peso suelo seco cubierto de parafina (en el agua)	7,60 g.
(p)	Volumen del suelo seco cubierto de parafina (n - o)	17,54 cm ³
(m)	Volumen de la parafina Vp	4,02 cm ³
(q)	Volumen del suelo seco = Vo (p - m)	13,52 cm ³

LÍMITE DE CONTRACCIÓN Wc = $\% w - \frac{V - V_0}{W_0} \times 100$ **0,28 28,13 %**

Wc >13 OK BAJO

Realizado por: John Salinas y Ricardo Villao	Revisado por: Ing. Daniel Campoverde. Mg.	Fecha ensayo: 26 de julio de 2019
--	---	---

Anexo C.5 Límite de Contracción de la muestra 1 (MH) con Óptimo de Cal 5,53%.

	UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE SUELOS, HORMIGONES Y ASFALTO	
DETERMINACIÓN DEL LÍMITE DE CONTRACCIÓN (MEZCLA 5,53% CON CAL)		
TESIS: ESTUDIO COMPARATIVO DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE SUBRASANTE (SUELOS EXPANSIVOS), UTILIZANDO CAL, SAL Y GEOCELAS, PARA IMPLEMENTACIÓN EN UNA NUEVA VÍA EN LA COMUNA BAJADITA DE COLONCHE DE LA PARROQUIA COLONCHE.		
TUTOR:	ING. DANIEL CAMPOVERDE. Mg.	UBICACIÓN: BAJADITA DE COLONCHE
TESISTAS:	JOHN SALINAS Y RICARDO VILLAO	COORDENADAS:
		NORTE: 9771886
		ESTE: 536314

POTENCIAL DE EXPANSIÓN	Wc	IP
Muy Alto	< 10	> 32
Alto	6 - 12	23 - 45
Medio	8 - 18	12 - 34
Bajo	> 13	< 20

1.- DETERMINACIÓN DE V= VOLUMEN DE SUELO HÚMEDO MOLDEADO

(a) Peso de recipiente = 9,30 g.

(b) Peso de recipiente lleno de agua = 30,12 g.

(c) Peso de agua (b - a)= 20,82 g.

2.- DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD

(d) Peso de recipiente = 9,30 g.

(e) Peso suelo húmedo + recipiente :Wh + r 36,21 g.

(f) Peso suelo seco + recipiente :Wo + r 28,50 g.

(g) Peso de agua :Ww (f - e) (7,71) g.

(h) Peso suelo seco :Wo (f - d) 19,20 g.

(i) Contenido de humedad : % w = (Ww / Wo) x 100 = (0,40) (40,16) %

3.- DETERMINACIÓN DE Vo = VOLUMEN DEL SUELO SECO MOLDEADO

(j) Peso de parafina = Wp 6,25 g.

(k) Peso de pastilla = Peso suelo seco = Wo 19,20 g.

(l) Peso de pastilla cubierta de parafina = Wo + Wp 25,45 g.

γ parafina = 0,87 gr/cm3

(m) Volumen de la parafina Vp = Wp / 0,87 = 7,18 c. c.

(n) Peso suelo seco cubierto de parafina (en el aire) 25,45 g.

(o) Peso suelo seco cubierto de parafina (en el agua) 8,31 g.

(p) Volumen del suelo seco cubierto de parafina (n - o) 17,14 cm3

(m) Volumen de la parafina Vp 7,18 cm3

(q) Volumen del suelo seco = Vo (p - m) 9,96 cm3

LÍMITE DE CONTRACCIÓN Wc =
$$\% w = \frac{V - V_o}{W_o} \times 100$$
 (0,17) (16,58) %

Wc **8-18** **OK** **MEDIO**

Realizado por: John Salinas y Ricardo Villao	Revisado por: Ing. Daniel Campoverde. Mg.	Fecha ensayo: 26 de julio de 2019
--	---	---

Anexo C.6 Límite de Contracción de la muestra 1 (MH) con 3% de Sal.



UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS, HORMIGONES Y ASFALTO



DETERMINACIÓN DEL LÍMITE DE CONTRACCIÓN (MEZCLA 3% CON SAL)

TESIS: ESTUDIO COMPARATIVO DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE SUBRASANTE (SUELOS EXPANSIVOS), UTILIZANDO CAL, SAL Y GEOCELAS, PARA IMPLEMENTACIÓN EN UNA NUEVA VÍA, EN LA COMUNA BAJADITA DE COLONCHE DE LA PARROQUIA COLONCHE.

TUTOR:	ING. DANIEL CAMPOVERDE, Mg.	UBICACIÓN:	BAJADITA DE COLONCHE	
TESISTAS:	JOHN SALINAS Y RICARDO VILLAO	COORDENADAS:	NORTE:	9771886
			ESTE:	536314

POTENCIAL DE EXPANSIÓN	Wc	IP
Muy Alto	< 10	> 32
Alto	6 - 12	23 - 45
Medio	8 - 18	12 - 34
Bajo	> 13	< 20

1.- DETERMINACIÓN DE V = VOLUMEN DE SUELO HÚMEDO MOLDEADO

(a)	Peso de recipiente =	9,33	g.
(b)	Peso de recipiente lleno de agua =	28,77	g.
(c)	Peso de agua (b - a) =	19,44	g.

2.- DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD

(d)	Peso de recipiente =	9,33	g.
(e)	Peso suelo húmedo + recipiente :Wh + r	34,14	g.
(f)	Peso suelo seco + recipiente :Wo + r	24,95	g.
(g)	Peso de agua :Ww (f - e)	(9,19)	g.
(h)	Peso suelo seco :Wo (f - d)	15,62	g.

(i) Contenido de humedad : % w = (Ww / Wo) x 100 = **(0,59) (58,83) %**

3.- DETERMINACIÓN DE Vo = VOLUMEN DEL SUELO SECO MOLDEADO

(j)	Peso de parafina = Wp	1,68	g.
(k)	Peso de pastilla = Peso suelo seco = Wo	15,62	g.
(l)	Peso de pastilla cubierta de parafina = Wo + Wp	17,30	g.
	Y parafina =	0,87	gr/cm ³
(m)	Volumen de la parafina Vp = Wp / 0,87 =	1,93	c. c.
(n)	Peso suelo seco cubierto de parafina (en el aire)	17,30	g.
(o)	Peso suelo seco cubierto de parafina (en el agua)	7,90	g.
(p)	Volumen del suelo seco cubierto de parafina (n - o)	9,40	cm ³
(m)	Volumen de la parafina Vp	1,93	cm ³
(q)	Volumen del suelo seco = Vo (p - m)	7,47	cm ³

LÍMITE DE CONTRACCIÓN Wc = $\% w = \frac{V - V_o}{V_o} \times 100$ **(0,18) (17,64) %**

Wc 8-18 MEDIO

Realizado por:	Revisado por:	Fecha ensayo:
John Salinas y Ricardo Villao	Ing. Daniel Campoverde, Mg.	29 de julio de 2019

Anexo C.7 Límite de Contracción de la muestra 1 (MH) con 5% de Sal.



UNIVERSIDAD ESTADAL PENINSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS, HORMIGONES Y ASFALTO



DETERMINACIÓN DEL LÍMITE DE CONTRACCIÓN (MEZCLA 5% CON SAL)

TESIS: ESTUDIO COMPARATIVO DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE SUBRASANTE (SUELOS EXPANSIVOS), UTILIZANDO CAL, SAL Y GEOCELDAS, PARA IMPLEMENTACIÓN EN UNA NUEVA VÍA, EN LA COMUNA BAJADITA DE COLONCHE DE LA PARROQUIA COLONCHE.			
TUTOR:	ING. DANIEL CAMPOVERDE. Mg.	UBICACIÓN:	BAJADITA DE COLONCHE
TESISTAS:	JOHN SALINAS Y RICARDO VILLAO	COORDENADAS:	NORTE: 9771886
			ESTE: 536314

POTENCIAL DE EXPANSIÓN	Wc	IP
Muy Alto	< 10	> 32
Alto	6 - 12	23 - 45
Medio	8 - 18	12 - 34
Bajo	> 13	< 20

1.- DETERMINACIÓN DE V= VOLUMEN DE SUELO HÚMEDO MOLDEADO

(a)	Peso de recipiente =	9,11 g.
(b)	Peso de recipiente lleno de agua =	29,25 g.
(c)	Peso de agua (b - a) =	20,14 g.

2.- DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD

(d)	Peso de recipiente =	9,11 g.
(e)	Peso suelo húmedo + recipiente :Wh + r	34,28 g.
(f)	Peso suelo seco + recipiente :Wo + r	24,28 g.
(g)	Peso de agua :Ww (f - e)	(10,00) g.
(h)	Peso suelo seco :Wo (f - d)	15,17 g.

(i) Contenido de humedad : % w = (Ww / Wo) x 100 = **(0,66) (65,92) %**

3.- DETERMINACIÓN DE Vo = VOLUMEN DEL SUELO SECO MOLDEADO

(j)	Peso de parafina = Wp	1,50 g.
(k)	Peso de pastilla = Peso suelo seco = Wo	15,17 g.
(l)	Peso de pastilla cubierta de parafina = Wo + Wp	16,67 g.
	γ parafina = 0,87 gr/cm ³	
(m)	Volumen de la parafina Vp = Wp / 0,87 =	1,72 c. c.
(n)	Peso suelo seco cubierto de parafina (en el aire)	16,67 g.
(o)	Peso suelo seco cubierto de parafina (en el agua)	7,30 g.
(p)	Volumen del suelo cubierto de parafina (n - o)	9,37 cm ³
(m)	Volumen de la parafina Vp	1,72 cm ³
(q)	Volumen del suelo seco = Vo (p - m)	7,65 cm ³

LÍMITE DE CONTRACCIÓN Wc = $\% w - \frac{V - V_o}{W_o} \times 100$ **(0,19) (19,36) %**

Wc >13 OK BAJO

Realizado por: John Salinas y Ricardo Villao	Revisado por: Ing. Daniel Campoverde. Mg.	Fecha ensayo: 29 de julio de 2019
--	---	---

Anexo C.8 Límite de Contracción de la muestra 1 (MH) con 7% de Sal.



UNIVERSIDAD ESTADAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS, HORMIGONES Y ASFALTO



DETERMINACIÓN DEL LÍMITE DE CONTRACCIÓN (MEZCLA 7% CON CAL)

TESIS: ESTUDIO COMPARATIVO DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE SUBRASANTE (SUELOS EXPANSIVOS), UTILIZANDO CAL, SAL Y GEOCELAS, PARA IMPLEMENTACIÓN EN UNA NUEVA VÍA, EN LA COMUNA BAJADITA DE COLONCHE DE LA PARROQUIA COLONCHE.			
TUTOR:	ING. DANIEL CAMPOVERDE. Mg.	UBICACIÓN:	BAJADITA DE COLONCHE
TESISTAS:	JOHN SALINAS Y RICARDO VILLAO	COORDENADAS:	NORTE: 9771886
			ESTE: 536314

POTENCIAL DE EXPANSIÓN	Wc	IP
Muy Alto	< 10	> 32
Alto	6 - 12	23 - 45
Medio	8 - 18	12 - 34
Bajo	> 13	< 20

1.- DETERMINACIÓN DE V= VOLUMEN DE SUELO HÚMEDO MOLDEADO

(a)	Peso de recipiente =	9,20	g.
(b)	Peso de recipiente lleno de agua =	30,85	g.
(c)	Peso de agua (b - a)=	21,65	g.

2.- DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD

(d)	Peso de recipiente =	9,20	g.
(e)	Peso suelo húmedo + recipiente :Wh + r	33,29	g.
(f)	Peso suelo seco + recipiente :Wo + r	25,77	g.
(g)	Peso de agua :Ww (f - e)	(7,52)	g.
(h)	Peso suelo seco :Wo (f - d)	16,57	g.

(i) Contenido de humedad : % w = (Ww / Wo) x 100 = **(0,45) (45,38) %**

3.- DETERMINACIÓN DE Vo = VOLUMEN DEL SUELO SECO MOLDEADO



(j)	Peso de parafina = Wp	1,35	g.
(k)	Peso de pastilla = Peso suelo seco = Wo	16,57	g.
(l)	Peso de pastilla cubierta de parafina = Wo + Wp	17,92	g.
γ parafina = 0,87 gr/cm ³			
(m)	Volumen de la parafina Vp = Wp / 0,87 =	1,55	c. c.
(n)	Peso suelo seco cubierto de parafina (en el aire)	17,92	g.
(o)	Peso suelo seco cubierto de parafina (en el agua)	7,70	g.
(p)	Volumen del suelo seco cubierto de parafina (n - o)	10,22	cm ³
(m)	Volumen de la parafina Vp	1,55	cm ³
(q)	Volumen del suelo seco = Vo (p - m)	8,67	cm ³

LÍMITE DE CONTRACCIÓN Wc =
$$\% w = \frac{V - V_0}{W_0} \times 100$$
 (0,33) (33,34) %

Wc >13 OK BAJO

Realizado por:	Revisado por:	Fecha ensayo:
John Salinas y Ricardo Villao	Ing. Daniel Campoverde. Mg.	29 de julio de 2019

Anexo C.9 Límite de Contracción de la muestra 1 (MH) con Óptimo de Sal 4,93%.

	UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE SUELOS, HORMIGONES Y ASFALTO	
DETERMINACIÓN DEL LÍMITE DE CONTRACCIÓN (MEZCLA 4,93% CON SAL)		
TESIS: ESTUDIO COMPARATIVO DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE SUBRASANTE (SUELOS EXPANSIVOS), UTILIZANDO CAL, SAL Y GEOCELAS, PARA IMPLEMENTACIÓN EN UNA NUEVA VÍA, EN LA COMUNA BAJADITA DE COLONCHE DE LA PARROQUIA COLONCHE.		
TUTOR:	ING. DANIEL CAMPOVERDE. Mg.	UBICACIÓN: BAJADITA DE COLONCHE
TESISTAS:	JOHN SALINAS Y RICARDO VILLAO	COORDENADAS: NORTE: 9771886 ESTE: 536314

POTENCIAL DE EXPANSIÓN	Wc	IP
Muy Alto	< 10	> 32
Alto	6 - 12	23 - 45
Medio	8 - 18	12 - 34
Bajo	> 13	< 20

1.- DETERMINACIÓN DE V= VOLUMEN DE SUELO HÚMEDO MOLDEADO

(a) Peso de recipiente = 9,25 g.

(b) Peso de recipiente lleno de agua = 27,55 g.

(c) Peso de agua (b - a) = 18,30 g.

2.- DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD

(d) Peso de recipiente = 9,25 g.

(e) Peso suelo húmedo + recipiente :W_h + r = 32,28 g.

(f) Peso suelo seco + recipiente :W_o + r = 24,28 g.

(g) Peso de agua :W_w (f - e) = (8,00) g.

(h) Peso suelo seco :W_o (f - d) = 15,03 g.

(i) Contenido de humedad : % w = (W_w / W_o) x 100 = (0,53) (53,23) %

3.- DETERMINACIÓN DE V_o = VOLUMEN DEL SUELO SECO MOLDEADO

(j) Peso de parafina = W_p = 1,96 g.

(k) Peso de pastilla = Peso suelo seco = W_o = 15,03 g.

(l) Peso de pastilla cubierta de parafina = W_o + W_p = 16,99 g.

γ parafina = 0,87 gr/cm³

(m) Volumen de la parafina V_p = W_p / 0,87 = 2,25 c. c.

(n) Peso suelo seco cubierto de parafina (en el aire) = 16,99 g.

(o) Peso suelo seco cubierto de parafina (en el agua) = 7,30 g.

(p) Volumen del suelo seco cubierto de parafina (n - o) = 9,69 cm³

(m) Volumen de la parafina V_p = 2,25 cm³

(q) Volumen del suelo seco = V_o (p - m) = 7,44 cm³

LÍMITE DE CONTRACCIÓN W_c =
$$\% w - \frac{V - V_o}{W_o} \times 100$$
 (0,19) (19,27) %

W_c >13 OK BAJO

Realizado por: John Salinas y Ricardo Villao	Revisado por: Ing. Daniel Campoverde. Mg.	Fecha ensayo: 29 de julio de 2019
--	---	---

Anexo D Ensayo de Gravedad específica de los suelos.

Anexo D.1 Gravedad Específica de la muestra 1 (MH).



UNIVERSIDAD ESTADAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS
SUELOS (ASTM D - 854)

TESIS: ESTUDIO COMPARATIVO DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE SUBRASANTE (SUELOS EXPANSIVOS), EXPANSIVOS), UTILIZANDO CAL, SAL Y GEOCELDAS, PARA IMPLEMENTACIÓN EN UNA NUEVA VÍA, EN LA COMUNA BAJADITA DE COLONCHE DE LA PARROQUIA COLONCHE.

TUTOR:	ING. DANIEL CAMPOVERDE. Mg.	UBICACIÓN:	BAJADITA DE COLONCHE
TESISTAS:	JOHN SALINAS Y RICARDO VILLAO	COORDENADAS:	NORTE: 9771886 ESTE: 536314

DATOS DEL ENSAYO

Recipiente No.	1
Temperatura °C	28,5 °C
Peso Recipiente	157,59 gr
Recipiente + Ws	277,59 gr
Frasco + agua	Wbw 654 gr
Frasco + agua + suelo	Wbws 733 gr

CÁLCULOS

Ws	122,99 gr
Ws + Wbw	776,99 gr
Ws + Wbw - Wbws	43,99 gr
Factor de corrección K	0,99759
$Ws * k / (Ws + Wbw - Wbws)$	2,79



Gravedad Especifica de muestra de Suelo Arcilloso Expansivo

2,79

Realizado por: John Salinas y Ricardo Villao	Revisado por: Ing. Daniel Campoverde. Mg.	Fecha ensayo: 06 de junio de 2019
--	---	---

Anexo E Ensayo Granulométrico.

Anexo E.1 Método del Hidrómetro de la muestra 1 (MH).

	UNIVERSIDAD ESTADAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL				
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO - MÉTODO DEL HIDRÓMETRO. (ASTM D - 421-58 y D - 422-63)					
TESIS: ESTUDIO COMPARATIVO DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE SUBRASANTE (SUELOS EXPANSIVOS), UTILIZANDO CAL, SAL Y GEOCELDAS, PARA IMPLEMENTACIÓN EN UNA NUEVA VÍA, EN LA COMUNA BAJADITA DE COLONCHE DE LA PARROQUIA COLONCHE.					
TUTOR:	ING. DANIEL CAMPOVERDE. Mg.	UBICACIÓN:			
TESISTAS:	JOHN SALINAS Y RICARDO VILLAO	BAJADITA DE COLONCHE			
		COORDENADAS:			
		NORTE: 9771886			
		ESTE: 536314			
Hidrómetro No.	6	$G_s =$	2,79	$a =$	0,97
Agentes Dispersantes	Na PO3 (Calgon)	Cantidad	4% en 125 ml	Peso del Suelo W_s	50 gr
Corrección de cero	2,00			Corrección del Menisco	2

Fecha	Hora de la lectura	Tiempo transcurrido, min.	Temp. °C	Lectura real del hidrómetro R _a	Lectura corregida del hidrómetro R _c	% más fino	Hidrómetro corregido por menisco R	L tabla 6-5	L / t	K tabla 6-4	D, mm.
11/06/2019	12:16 p.m.	1	27,2	50	50,00	97,0	52	7,8	7,80	0,0120	0,0335
11/06/2019	12:17 p.m.	2	27,2	49	49,00	95,1	51	7,9	3,95	0,0120	0,0238
11/06/2019	12:18 p.m.	3	27,2	48	48,00	93,1	50	8,1	2,70	0,0120	0,0197
11/06/2019	12:19 p.m.	4	27,2	47,50	47,50	92,2	49,5	8,2	2,05	0,0120	0,0172
11/06/2019	12:23 p.m.	8	27,2	46	46,00	89,2	48	8,4	1,05	0,0120	0,0123
11/06/2019	12:31 p.m.	16	27,2	44	44,00	85,4	46	8,8	0,55	0,0120	0,0089
11/06/2019	12:45 p.m.	30	27,2	42	42,00	81,5	44	9,1	0,30	0,0120	0,0066
11/06/2019	13:15 p.m.	60	28	40	40,50	78,6	42	9,4	0,157	0,0119	0,0047
11/06/2019	15:20 p.m.	125	28,1	36,50	37,00	71,8	38,5	10,0	0,080	0,0119	0,0034
11/06/2019	17:45 p.m.	330	28,8	34	35,05	68,0	36	10,4	0,032	0,0118	0,0021
12/06/2019	04:45 a.m.	990	26	32	31,65	61,4	34	10,7	0,0108	0,0122	0,0013
12/06/2019	11:45 a.m.	1410	27,2	31	31,00	60,1	33	10,9	0,0077	0,0120	0,0011
13/06/2019	11:45 a.m.	2850	27,2	29,50	29,50	57,2	31,5	11,0	0,0039	0,0120	0,0007

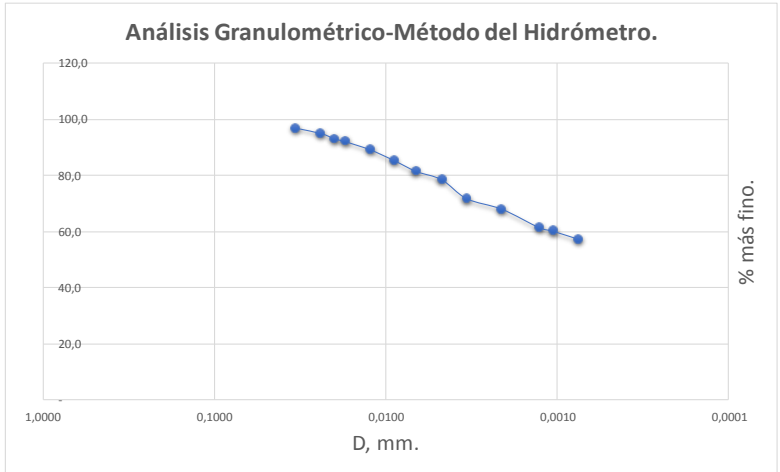
Lec. Correg. $R_c = R_a - \text{corrección de cero} + C_T$.
 Lec. Correg. $R_c = 50 - 2 + 2$.
Lec. Correg. $R_c = 50$.

$\% \text{ más fino} = \frac{R_c \cdot a}{w_s} \cdot 100$.
 $\% \text{ más fino} = \frac{50 \cdot 0,97}{50} \cdot 100$.
 $\% \text{ más fino} = 97\%$.

$v = \frac{L}{t}$.
 $v = \frac{7,80}{1 \text{ min}}$.
 $v = 7,80$.



$D = K \cdot \sqrt{L/t}$.
 $D = 0,0120 \cdot \sqrt{7,80}$.
 $D = 0,0335$.

Análisis Granulométrico-Método del Hidrómetro.





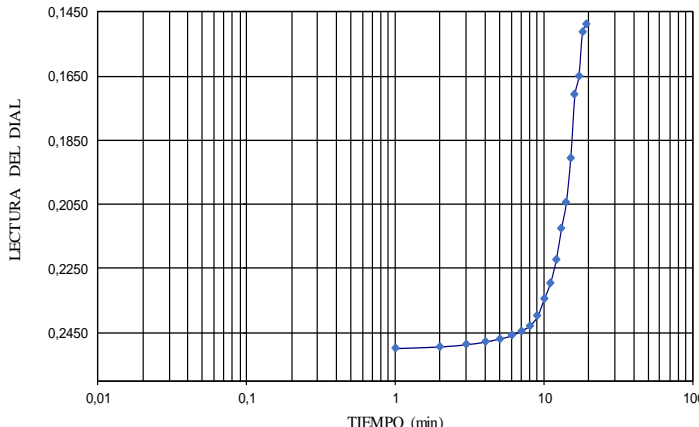
Realizado por:	Revisado por:	Fecha ensayo:
John Salinas y Ricardo Villao	Ing. Daniel Campoverde. Mg.	11 al 13 de junio de 2019

Anexo E.2 Determinación del porcentaje más fino que pasa el tamiz No. 200, mediante lavado de la muestra 1 (MH).

	UNIVERSIDAD ESTADAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL																		
TESIS: ESTUDIO COMPARATIVO DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE SUBRASANTE (SUELOS EXPANSIVOS), UTILIZANDO CAL, SAL Y GEOCELLOS, PARA IMPLEMENTACIÓN EN UNA NUEVA VÍA, EN LA COMUNA BAJADITA DE COLONCHE DE LA PARROQUIA COLONCHE.																			
TUTOR:	ING. DANIEL CAMPOVERDE, Mg.	UBICACIÓN:	BAJADITA DE COLONCHE																
TESISTAS:	JOHN SALINAS Y RICARDO VILLAO	COORDENADAS:	NORTE: 9771886																
			ESTE: 536314																
DETERMINACION DEL MATERIAL MAS FINO QUE PASA EL TAMIZ N° 200 MEDIANTE LAVADONTE INEN 697																			
<p>Masa Mínima para la muestra de ensayo:</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Tamaño Maxima Nominal</th> <th>Masa Mínima (g)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>4,75 (N°4) o menor</td> <td style="background-color: #ffffcc;">300</td> </tr> <tr> <td>Mayor que 4,75 (N°4) hasta 9,5mm</td> <td>1000</td> </tr> <tr> <td>Mayor que 9,5 mm hasta 19,0mm</td> <td>2500</td> </tr> <tr> <td>Mayor que 19,0 mm</td> <td>5000</td> </tr> </tbody> </table> $A = \frac{B - C}{B} \times 100$ <p>A= Porcentaje del material mas fino que pasa el tamiz N°200 mediante lavado B= Masa seca original C= Masa seca de la muestra luego del lavado</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Masa seca original (gr)</th> <th>Masa seca de la muestra luego del lavado (gr)</th> <th>Porcentaje del material (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">285,49</td> <td style="text-align: center;">0,99</td> <td style="text-align: center;">99,65</td> </tr> </tbody> </table>				Tamaño Maxima Nominal	Masa Mínima (g)	4,75 (N°4) o menor	300	Mayor que 4,75 (N°4) hasta 9,5mm	1000	Mayor que 9,5 mm hasta 19,0mm	2500	Mayor que 19,0 mm	5000	Masa seca original (gr)	Masa seca de la muestra luego del lavado (gr)	Porcentaje del material (%)	285,49	0,99	99,65
Tamaño Maxima Nominal	Masa Mínima (g)																		
4,75 (N°4) o menor	300																		
Mayor que 4,75 (N°4) hasta 9,5mm	1000																		
Mayor que 9,5 mm hasta 19,0mm	2500																		
Mayor que 19,0 mm	5000																		
Masa seca original (gr)	Masa seca de la muestra luego del lavado (gr)	Porcentaje del material (%)																	
285,49	0,99	99,65																	
Realizado por: John Salinas y Ricardo Villao		Revisado por: Ing. Daniel Campoverde, Mg.																	
		FECHA ENSAYO: 13 de agosto de 2019																	

Anexo F Ensayo de Expansión Libre.

Anexo F.1 Expansión Libre de la muestra 1 (MH).

	UNIVERSIDAD ESTADAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL																																																												
TESIS: ESTUDIO COMPARATIVO DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE SUBRASANTE (SUELOS EXPANSIVOS), UTILIZANDO CAL, SAL Y GEOCELAS, PARA IMPLEMENTACIÓN EN UNA NUEVA VÍA, EN LA COMUNA BAJADITA DE COLONCHE DE LA PARROQUIA COLONCHE.																																																													
TUTOR:	ING. DANIEL CAMPOVERDE. Mg.	UBICACIÓN: BAJADITA DE COLONCHE																																																											
TESISTAS:	JOHN SALINAS Y RICARDO VILLAO	COORDENADAS:																																																											
		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;">NORTE:</td> <td>9771886</td> </tr> <tr> <td>ESTE:</td> <td>536314</td> </tr> </table>	NORTE:	9771886	ESTE:	536314																																																							
NORTE:	9771886																																																												
ESTE:	536314																																																												
ENSAYO DE EXPANSIÓN LIBRE																																																													
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>PERIODO</th> <th>TIEMPO</th> <th>LECTURA DIAL 0.0001"</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>11:36</td><td>0,2500</td></tr> <tr><td>5"</td><td></td><td>0,2495</td></tr> <tr><td>15"</td><td></td><td>0,2488</td></tr> <tr><td>30"</td><td></td><td>0,2480</td></tr> <tr><td>45"</td><td></td><td>0,2470</td></tr> <tr><td>1'</td><td></td><td>0,2461</td></tr> <tr><td>1,5'</td><td></td><td>0,2445</td></tr> <tr><td>2'</td><td></td><td>0,2430</td></tr> <tr><td>3'</td><td></td><td>0,2400</td></tr> <tr><td>5'</td><td></td><td>0,2345</td></tr> <tr><td>7'</td><td></td><td>0,2295</td></tr> <tr><td>10'</td><td></td><td>0,2224</td></tr> <tr><td>15'</td><td>11:51</td><td>0,2127</td></tr> <tr><td>20'</td><td></td><td>0,2047</td></tr> <tr><td>30'</td><td></td><td>0,1907</td></tr> <tr><td>45'</td><td></td><td>0,1710</td></tr> <tr><td>1</td><td>12:36</td><td>0,1652</td></tr> <tr><td>1 1/2</td><td></td><td>0,1512</td></tr> <tr><td>2</td><td>13:36</td><td>0,1488</td></tr> </tbody> </table>	PERIODO	TIEMPO	LECTURA DIAL 0.0001"	0	11:36	0,2500	5"		0,2495	15"		0,2488	30"		0,2480	45"		0,2470	1'		0,2461	1,5'		0,2445	2'		0,2430	3'		0,2400	5'		0,2345	7'		0,2295	10'		0,2224	15'	11:51	0,2127	20'		0,2047	30'		0,1907	45'		0,1710	1	12:36	0,1652	1 1/2		0,1512	2	13:36	0,1488	<p style="text-align: center;">CURVA DE EXPANSIÓN</p> 
PERIODO	TIEMPO	LECTURA DIAL 0.0001"																																																											
0	11:36	0,2500																																																											
5"		0,2495																																																											
15"		0,2488																																																											
30"		0,2480																																																											
45"		0,2470																																																											
1'		0,2461																																																											
1,5'		0,2445																																																											
2'		0,2430																																																											
3'		0,2400																																																											
5'		0,2345																																																											
7'		0,2295																																																											
10'		0,2224																																																											
15'	11:51	0,2127																																																											
20'		0,2047																																																											
30'		0,1907																																																											
45'		0,1710																																																											
1	12:36	0,1652																																																											
1 1/2		0,1512																																																											
2	13:36	0,1488																																																											
HUMEDAD																																																													
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="2">ANTES DEL ENSAYO</th></tr> <tr><td>Wh + Anillo =</td><td>276,32</td></tr> <tr><td>Anillo =</td><td>174,78</td></tr> <tr><td>Wh =</td><td>101,54</td></tr> <tr><td>Ws =</td><td>81,82</td></tr> <tr><td>P. agua Ww =</td><td>19,72</td></tr> <tr><td>w = Ww / Ws =</td><td>24,10 %</td></tr> </table>	ANTES DEL ENSAYO		Wh + Anillo =	276,32	Anillo =	174,78	Wh =	101,54	Ws =	81,82	P. agua Ww =	19,72	w = Ww / Ws =	24,10 %	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="2">DESPUÉS DEL ENSAYO</th></tr> <tr><td>Wh + Rec =</td><td>157,58</td></tr> <tr><td>Ws + Rec =</td><td>135,59</td></tr> <tr><td>Rec =</td><td>53,77</td></tr> <tr><td>Wh =</td><td>103,81</td></tr> <tr><td>Ws =</td><td>81,82</td></tr> <tr><td>Ww =</td><td>21,99</td></tr> <tr><td>w = Ww / Ws =</td><td>26,88</td></tr> </table>	DESPUÉS DEL ENSAYO		Wh + Rec =	157,58	Ws + Rec =	135,59	Rec =	53,77	Wh =	103,81	Ws =	81,82	Ww =	21,99	w = Ww / Ws =	26,88																													
ANTES DEL ENSAYO																																																													
Wh + Anillo =	276,32																																																												
Anillo =	174,78																																																												
Wh =	101,54																																																												
Ws =	81,82																																																												
P. agua Ww =	19,72																																																												
w = Ww / Ws =	24,10 %																																																												
DESPUÉS DEL ENSAYO																																																													
Wh + Rec =	157,58																																																												
Ws + Rec =	135,59																																																												
Rec =	53,77																																																												
Wh =	103,81																																																												
Ws =	81,82																																																												
Ww =	21,99																																																												
w = Ww / Ws =	26,88																																																												
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>W i =</td><td>24,10 %</td></tr> </table>	W i =	24,10 %	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>W f =</td><td>26,88</td></tr> </table>	W f =	26,88																																																							
W i =	24,10 %																																																												
W f =	26,88																																																												
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;">% Expansión =</td> <td style="width: 10%;">$\frac{0,1012}{0,98} \times$</td> <td style="width: 10%;">100</td> <td style="width: 10%;">$=$</td> <td style="width: 15%;">10,30%</td> </tr> </table>			% Expansión =	$\frac{0,1012}{0,98} \times$	100	$=$	10,30%																																																						
% Expansión =	$\frac{0,1012}{0,98} \times$	100	$=$	10,30%																																																									
Realizado por:	John Salinas y Ricardo Villao	Revisado por:	Ing. Daniel Campoverde. Mg.	FECHA ENSAYO:	14 de junio de 2019																																																								

Anexo F.2 Expansión Libre de la muestra 1 (MH) con 3% de Cal.



UNIVERSIDAD ESTADAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

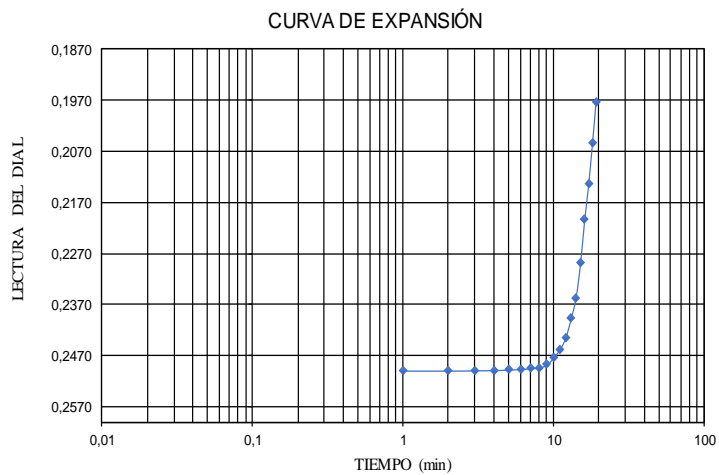


TESIS: ESTUDIO COMPARATIVO DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE SUBRASANTE (SUELOS EXPANSIVOS), UTILIZANDO CAL, SAL Y GEOCELAS, PARA IMPLEMENTACIÓN EN UNA NUEVA VÍA, EN LA COMUNA BAJADITA DE COLONCHE DE LA PARROQUIA COLONCHE.

TUTOR:	ING. DANIEL CAMPOVERDE. Mg.	UBICACIÓN:	BAJADITA DE COLONCHE
TESISTAS:	JOHN SALINAS Y RICARDO VILLO	COORDENADAS:	NORTE: 9771886 ESTE: 536314

ENSAYO DE EXPANSIÓN LIBRE 3% CAL

PERIODO	TIEMPO	LECTURA DIAL 0.0001"
0	11:36	0,2500
5"		0,2500
15"		0,2500
30"		0,2499
45"		0,2498
1'		0,2497
1,5'		0,2496
2'		0,2494
3'		0,2489
5'		0,2474
7'		0,2458
10'		0,2435
15'	11:51	0,2398
20'		0,2358
30'		0,2290
45'		0,2203
1	12:36	0,2134
1 1/2		0,2054
2	13:36	0,1974



HUMEDAD

ANTES DEL ENSAYO

Wh + Anillo =	274,31
Anillo =	174,78
Wh =	99,53
Ws =	56,58
P. agua Ww =	42,95
w = Ww / Ws =	75,91 %

W i =	75,91 %
-------	---------

DESPUÉS DEL ENSAYO

Wh + Rec =	132,36
Ws + Rec =	111,03
Rec =	54,45
Wh =	77,91
Ws =	56,58
Ww =	21,33
w = Ww / Ws =	37,70

W f =	37,70
-------	-------

$$\% \text{ Expansión} = \frac{0,0526}{0,98} \times 100 = 5,35\%$$

Realizado por: John Salinas y Ricardo Villao	Revisado por: Ing. Daniel Campoverde. Mg.	FECHA ENSAYO: 11 de julio de 2019
--	---	---

Anexo F.3 Expansión Libre de la muestra 1 (MH) con 5% de Cal.



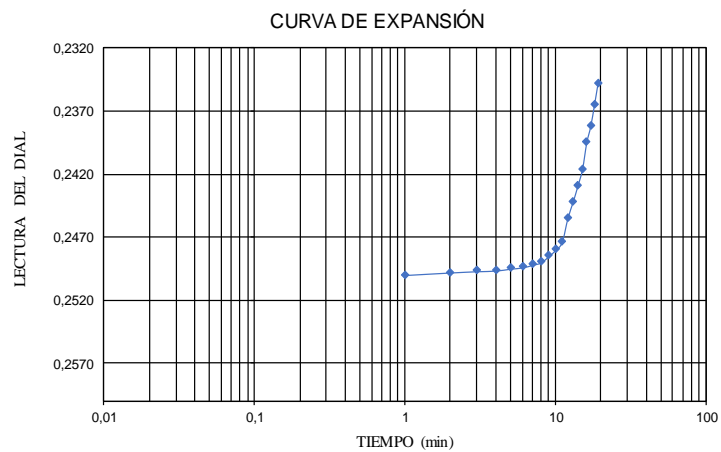
UNIVERSIDAD ESTADAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS: ESTUDIO COMPARATIVO DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE SUBRASANTE (SUELOS EXPANSIVOS), UTILIZANDO CAL, SAL Y GEOCELAS, PARA IMPLEMENTACIÓN EN UNA NUEVA VÍA, EN LA COMUNA BAJADITA DE COLONCHE DE LA PARROQUIA COLONCHE.			
TUTOR:	ING. DANIEL CAMPOVERDE. Mg.	UBICACIÓN:	BAJADITA DE COLONCHE
TESISTAS:	JOHN SALINAS Y RICARDO VILLAO	COORDENADAS:	NORTE: 9771886
			ESTE: 536314

ENSAYO DE EXPANSIÓN LIBRE 5% CAL

PERIODO	TIEMPO	LECTURA DIAL 0.0001"
0	14:39	0,2500
5"		0,2498
15"		0,2497
30"		0,2497
45"		0,2495
1'		0,2494
1,5'		0,2492
2'		0,2490
3'		0,2485
5'		0,2480
7'		0,2474
10'		0,2455
15'		0,2442
20'		0,2429
30'		0,2416
45'		0,2395
1		0,2382
1 1/2		0,2365
2		0,2348



HUMEDAD

ANTES DEL ENSAYO

Wh + Anillo =	277,90
Anillo =	174,78
Wh =	103,12
Ws =	54,08
P. agua Ww =	49,04
w = Ww / Ws =	90,68 %

W i =	90,68 %
-------	---------

DESPUÉS DEL ENSAYO

Wh + Rec =	101,31
Ws + Rec =	84,27
Rec =	30,19
Wh =	71,12
Ws =	54,08
Ww =	17,04
w = Ww / Ws =	31,51

W f =	31,51
-------	-------

$$\% \text{ Expansión} = \frac{0,0152}{0,98} \times 100 = 1,55\%$$

Realizado por: John Salinas y Ricardo Villao	Revisado por: Ing. Daniel Campoverde. Mg.	FECHA ENSAYO: 11 de julio de 2019
--	---	---

Anexo F.4 Expansión Libre de la muestra 1 (MH) con 7% de Cal.



UNIVERSIDAD ESTADAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

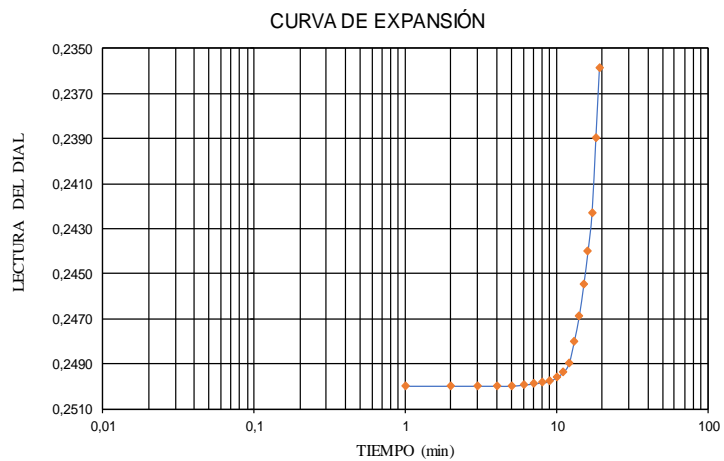


TESIS: ESTUDIO COMPARATIVO DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE SUBRASANTE (SUELOS EXPANSIVOS), UTILIZANDO CAL, SAL Y GEOCELAS, PARA IMPLEMENTACIÓN EN UNA NUEVA VÍA, EN LA COMUNA BAJADITA DE COLONCHE DE LA PARROQUIA COLONCHE.

TUTOR:	ING. DANIEL CAMPOVERDE. Mg.	UBICACIÓN:	BAJADITA DE COLONCHE
TESISTAS:	JOHN SALINAS Y RICARDO VILLAO	COORDENADAS:	NORTE: 9771886
			ESTE: 536314

ENSAYO DE EXPANSIÓN LIBRE 7% CAL

PERIODO	TIEMPO	LECTURA DIAL 0.0001"
0	9:34	0,2500
5"		0,2500
15"		0,2500
30"		0,2500
45"		0,2500
1'		0,2500
1,5'		0,2499
2'		0,2499
3'		0,2498
5'		0,2496
7'		0,2494
10'		0,2490
15'		0,2480
20'		0,2469
30'		0,2455
45'		0,2440
1		0,2423
1 1/2		0,2390
2		0,2359



HUMEDAD

ANTES DEL ENSAYO	
Wh + Anillo =	276,74
Anillo =	174,78
Wh =	101,96
Ws =	81,31
P. agua Ww =	20,65
w = Ww / Ws =	25,40 %
Wi =	25,40 %

DESPUÉS DEL ENSAYO	
Wh + Rec =	153,71
Ws + Rec =	135,75
Rec =	54,44
Wh =	99,27
Ws =	81,31
Ww =	17,96
w = Ww / Ws =	22,09
Wf =	22,09

$$\% \text{ Expansión} = \frac{0,0141}{0,98} \times 100 = 1,43\%$$

Realizado por: John Salinas y Ricardo Villao	Revisado por: Ing. Daniel Campoverde. Mg.	FECHA ENSAYO: 12 de julio de 2019
--	---	---

Anexo F.5 Expansión Libre de la muestra 1 (MH) con Cal Óptimo 5,53%.



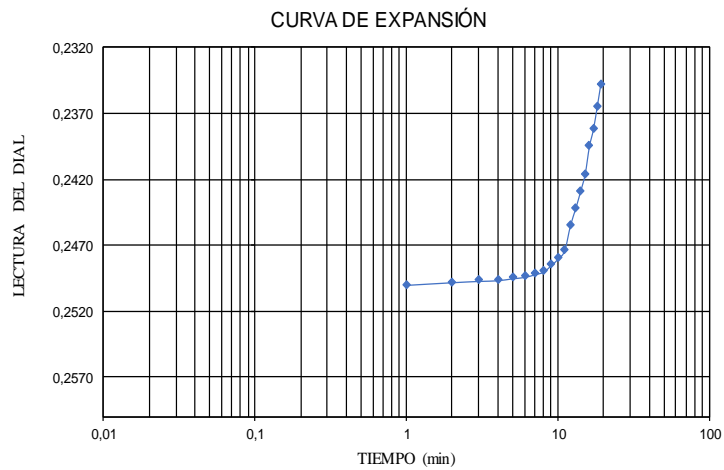
UNIVERSIDAD ESTADAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS: ESTUDIO COMPARATIVO DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE SUBRASANTE (SUELOS EXPANSIVOS), UTILIZANDO CAL, SAL Y GEOCELAS, PARA IMPLEMENTACIÓN EN UNA NUEVA VÍA, EN LA COMUNA BAJADITA DE COLONCHE DE LA PARROQUIA COLONCHE.			
TUTOR:	ING. DANIEL CAMPOVERDE. Mg.	UBICACIÓN:	BAJADITA DE COLONCHE
TESISTAS:	JOHN SALINAS Y RICARDO VILLAO	COORDENADAS:	NORTE: 9771886
			ESTE: 536314

ENSAYO DE EXPANSIÓN LIBRE 5,53% CAL

PERIODO	TIEMPO	LECTURA DIAL 0.0001"
0	14:39	0,2500
5"		0,2499
15"		0,2498
30"		0,2497
45"		0,2496
1'		0,2495
1,5'		0,2493
2'		0,2491
3'		0,2488
5'		0,2484
7'		0,2480
10'		0,2470
15'		0,2450
20'		0,2432
30'		0,2417
45'		0,2398
1		0,2385
1 1/2		0,2370
2		0,2351



HUMEDAD

ANTES DEL ENSAYO	
Wh + Anillo =	278,90
Anillo =	174,78
Wh =	104,12
Ws =	54,08
P. agua Ww =	50,04
w= Ww / Ws=	92,53 %

DESPUÉS DEL ENSAYO	
Wh + Rec =	102,31
Ws + Rec =	85,27
Rec =	31,19
Wh =	71,12
Ws =	54,08
Ww =	17,04
w= Ww / Ws=	31,51

W i =	92,53 %
-------	---------

W f =	31,51
-------	-------

$$\% \text{ Expansión} = \frac{0,0149}{0,98} \times 100 = 1,52\%$$

Realizado por: John Salinas y Ricardo Villao	Revisado por: Ing. Daniel Campoverde. Mg.	FECHA ENSAYO: 11 de julio de 2019
--	---	---

Anexo F.6 Expansión Libre de la muestra 1 (MH) con 3% de Sal.



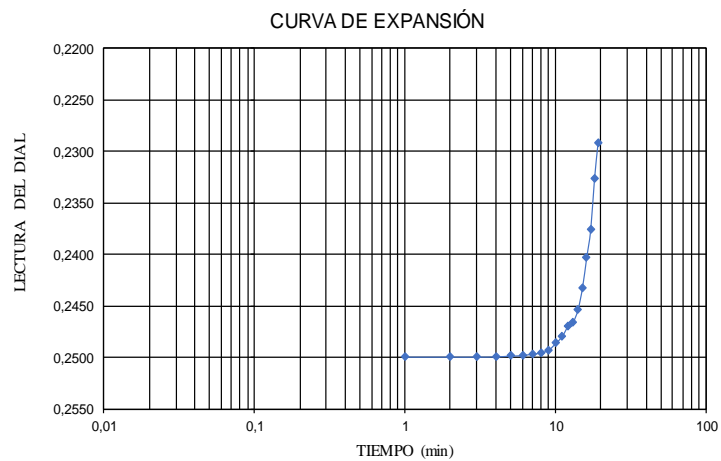
UNIVERSIDAD ESTADAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS: ESTUDIO COMPARATIVO DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE SUBRASANTE (SUELOS EXPANSIVOS), UTILIZANDO CAL, SAL Y GEOCELAS, PARA IMPLEMENTACIÓN EN UNA NUEVA VÍA, EN LA COMUNA BAJADITA DE COLONCHE DE LA PARROQUIA COLONCHE.			
TUTOR:	ING. DANIEL CAMPOVERDE. Mg.	UBICACIÓN:	BAJADITA DE COLONCHE
TESISTAS:	JOHN SALINAS Y RICARDO VILLAO	COORDENADAS:	NORTE: 9771886
			ESTE: 536314

ENSAYO DE EXPANSIÓN LIBRE 3% SAL

PERIODO	TIEMPO	LECTURA DIAL 0.0001"
0		0,2500
5"		0,2500
15"		0,2500
30"		0,2500
45"		0,2499
1'		0,2499
1,5'		0,2497
2'		0,2496
3'		0,2493
5'		0,2487
7'		0,2480
10'		0,2471
15'		0,2466
20'		0,2454
30'		0,2433
45'		0,2403
1		0,2376
1 1/2		0,2327
2		0,2292



HUMEDAD

ANTES DEL ENSAYO

Wh + Anillo =	266,99
Anillo =	174,78
Wh =	92,21
Ws =	81,28
P. agua Ww =	10,93
w = Ww / Ws =	13,45 %

W i =	13,45 %
-------	---------

DESPUÉS DEL ENSAYO

Wh + Rec =	128,43
Ws + Rec =	111,48
Rec =	30,20
Wh =	98,23
Ws =	81,28
Ww =	16,95
w = Ww / Ws =	20,85

W f =	20,85
-------	-------

$$\% \text{ Expansión} = \frac{0,0208}{0,98} \times 100 = 2,12\%$$

Realizado por: John Salinas y Ricardo Villao	Revisado por: Ing. Daniel Campoverde. Mg.	FECHA ENSAYO: 15 de julio de 2019
--	---	---

Anexo F.7 Expansión Libre de la muestra 1 (MH) con 5% de Sal.



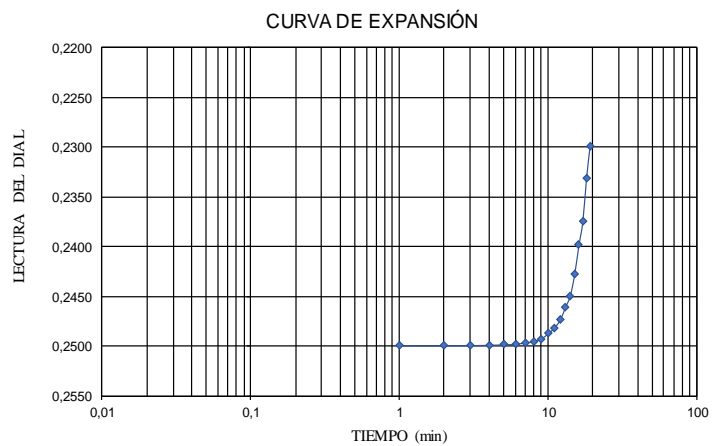
UNIVERSIDAD ESTADAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS: ESTUDIO COMPARATIVO DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE SUBRASANTE (SUELOS EXPANSIVOS), UTILIZANDO CAL, SAL Y GEOCELDAS, PARA IMPLEMENTACIÓN EN UNA NUEVA VÍA, EN LA COMUNA BAJADITA DE COLONCHE DE LA PARROQUIA COLONCHE.			
TUTOR:	ING. DANIEL CAMPOVERDE. Mg.	UBICACIÓN:	BAJADITA DE COLONCHE
TESISTAS:	JOHN SALINAS Y RICARDO VILLAO	COORDENADAS:	NORTE: 9771886
			ESTE: 536314

ENSAYO DE EXPANSIÓN LIBRE 5% SAL

PERIODO	TIEMPO	LECTURA DIAL 0.0001"
	0	0,2500
	5"	0,2500
	15"	0,2500
	30"	0,2500
	45"	0,2499
	1'	0,2499
	1,5'	0,2497
	2'	0,2496
	3'	0,2493
	5'	0,2488
	7'	0,2482
	10'	0,2474
	15'	0,2462
	20'	0,2450
	30'	0,2428
	45'	0,2399
	1	0,2375
	1 1/2	0,2332
	2	0,2300



HUMEDAD

ANTES DEL ENSAYO

Wh + Anillo =	277,18
Anillo =	174,78
Wh =	102,40
Ws =	84,56
P. agua Ww =	17,84
w = Ww / Ws =	21,10 %

W i =	21,10 %
-------	---------

DESPUÉS DEL ENSAYO

Wh + Rec =	133,51
Ws + Rec =	115,77
Rec =	31,21
Wh =	102,30
Ws =	84,56
Ww =	17,74
w = Ww / Ws =	20,98

W f =	20,98
-------	-------

% Expansión =	$\frac{0,0201}{0,98} \times 100$	=	2,04%
----------------------	----------------------------------	---	--------------

Realizado por: John Salinas y Ricardo Villao	Revisado por: Ing. Daniel Campoverde. Mg.	FECHA ENSAYO: 15 de julio de 2019
--	---	---

Anexo F.8 Expansión Libre de la muestra 1 (MH) con 7% de Sal.



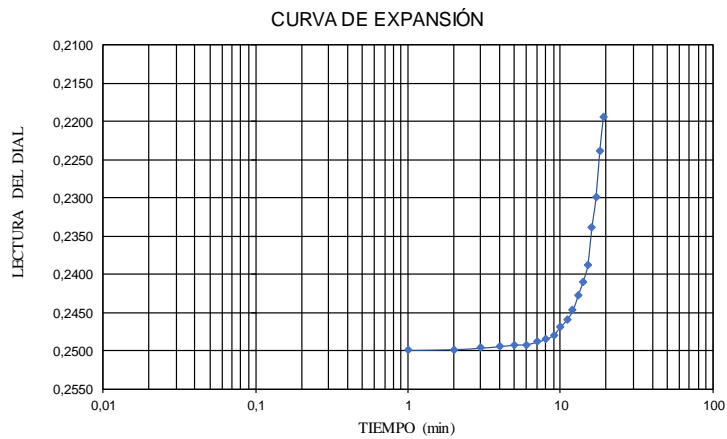
UNIVERSIDAD ESTADAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS: ESTUDIO COMPARATIVO DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE SUBRASANTE (SUELOS EXPANSIVOS), UTILIZANDO CAL, SAL Y GEOCELAS, PARA IMPLEMENTACIÓN EN UNA NUEVA VÍA, EN LA COMUNA BAJADITA DE COLONCHE DE LA PARROQUIA COLONCHE.			
TUTOR:	ING. DANIEL CAMPOVERDE. Mg.	UBICACIÓN:	BAJADITA DE COLONCHE
TESISTAS:	JOHN SALINAS Y RICARDO VILLO	COORDENADAS:	NORTE: 9771886
			ESTE: 536314

ENSAYO DE EXPANSIÓN LIBRE 7% SAL

PERIODO	TIEMPO	LECTURA DIAL 0,0001"
	0	0,2500
	5"	0,2499
	15"	0,2497
	30"	0,2495
	45"	0,2493
	1'	0,2493
	1,5'	0,2489
	2'	0,2486
	3'	0,2480
	5'	0,2469
	7'	0,2460
	10'	0,2448
	15'	0,2428
	20'	0,2410
	30'	0,2389
	45'	0,2339
	1	0,2300
	1 1/2	0,2239
	2	0,2194



HUMEDAD

ANTES DEL ENSAYO	
Wh + Anillo =	277,78
Anillo =	174,78
Wh =	103,00
Ws =	27,52
P. agua Ww =	75,48
w = Ww / Ws =	274,27 %

DESPUÉS DEL ENSAYO	
Wh + Rec =	69,72
Ws + Rec =	60,89
Rec =	33,37
Wh =	36,35
Ws =	27,52
Ww =	8,83
w = Ww / Ws =	32,09

Wi =	274,27 %
------	----------

Wf =	32,09
------	-------

$\% \text{ Expansión} = \frac{0,0306}{0,98} \times 100 = 3,11\%$
--

Realizado por: John Salinas y Ricardo Vilho	Revisado por: Ing. Daniel Campoverde. Mg.	FECHA ENSAYO: 16 de julio de 2019
---	---	---

Anexo F.9 Expansión Libre de la muestra 1 (MH) con Sal Óptimo 4,93%.



UNIVERSIDAD ESTADAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

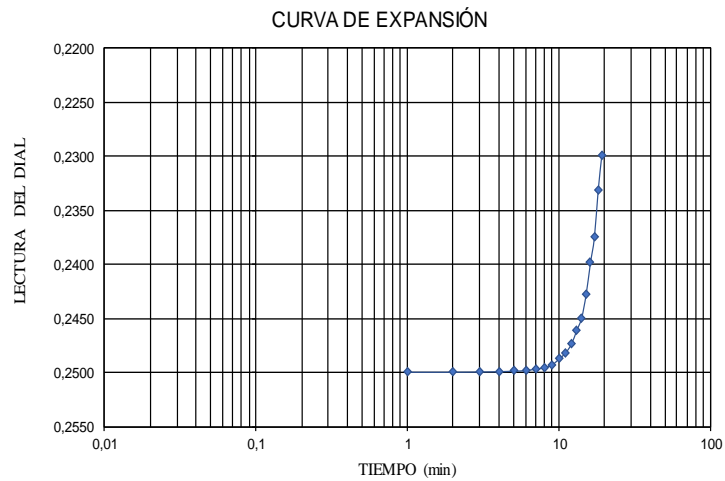


TESIS: ESTUDIO COMPARATIVO DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE SUBRASANTE (SUELOS EXPANSIVOS), UTILIZANDO CAL, SAL Y GEOCELAS, PARA IMPLEMENTACIÓN EN UNA NUEVA VÍA, EN LA COMUNA BAJADITA DE COLONCHE DE LA PARROQUIA COLONCHE.

TUTOR:	ING. DANIEL CAMPOVERDE. Mg.	UBICACIÓN:	BAJADITA DE COLONCHE	
TESISTAS:	JOHN SALINAS Y RICARDO VILLAO	COORDENADAS:	NORTE:	9771886
			ESTE:	536314

ENSAYO DE EXPANSIÓN LIBRE 4,93% SAL

PERIODO	TIEMPO	LECTURA DIAL 0.0001"
	0	0,2500
	5"	0,2500
	15"	0,2500
	30"	0,2500
	45"	0,2499
	1'	0,2499
	1,5'	0,2497
	2'	0,2496
	3'	0,2493
	5'	0,2488
	7'	0,2482
	10'	0,2474
	15'	0,2462
	20'	0,2450
	30'	0,2428
	45'	0,2399
	1	0,2375
	1 1/2	0,2332
	2	0,2299



HUMEDAD

ANTES DEL ENSAYO	
Wh + Anillo =	276,18
Anillo =	174,78
Wh =	101,40
Ws =	86,56
P. agua Ww =	14,84
w = Ww / Ws =	17,14 %

DESPUÉS DEL ENSAYO	
Wh + Rec =	132,51
Ws + Rec =	116,77
Rec =	30,21
Wh =	102,30
Ws =	86,56
Ww =	15,74
w = Ww / Ws =	18,18

W i =	17,14 %
-------	---------



W f =	18,18
-------	-------

$\% \text{ Expansión} = \frac{0,0201}{0,98} \times 100 = 2,044\%$

Realizado por: John Salinas y Ricardo Villao	Revisado por: Ing. Daniel Campoverde. Mg.	FECHA ENSAYO: 15 de julio de 2019
--	---	---

Anexo G Ensayo de Expansión Controlada.

Anexo G.1 Expansión Controlada de la muestra 1 (MH).

	UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL																																																																	
TESIS: ESTUDIO COMPARATIVO DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE SUBRASANTE (SUELOS EXPANSIVOS), UTILIZANDO CAL, SAL Y GEOCELDAS, PARA IMPLEMENTACIÓN EN UNA NUEVA VÍA, EN LA COMUNA BAJADITA DE COLONCHE DE LA PARROQUIA COLONCHE.																																																																		
TUTOR:	ING. DANIEL CAMPOVERDE. Mg.		UBICACIÓN:	BAJADITA DE COLONCHE																																																														
TESISTAS:	JOHN SALINAS Y RICARDO VILLAO		COORDENADAS:	NORTE:	9771886																																																													
				ESTE:	536314																																																													
ENSAYO DE EXPANSIÓN CONTROLADA																																																																		
<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;"> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr><th colspan="3">ANTES DEL ENSAYO</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>Wh+a=</td><td>280,10</td><td>gr</td></tr> <tr><td>a=</td><td>178,43</td><td>gr</td></tr> <tr><td>Wh=</td><td>101,67</td><td>gr</td></tr> <tr><td>Ws=</td><td>55,59</td><td>gr</td></tr> <tr><td>Ww=</td><td>46,08</td><td>ml</td></tr> </tbody> </table> </td> <td style="width: 50%; text-align: center;"> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr><th colspan="3">DESPUES DEL ENSAYO</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>Wh+r=</td><td>103,61</td><td>gr</td></tr> <tr><td>Ws+r=</td><td>86,91</td><td>gr</td></tr> <tr><td>Ww=</td><td>16,70</td><td>ml</td></tr> <tr><td>Ws+r=</td><td>86,91</td><td>gr</td></tr> <tr><td>r=</td><td>31,32</td><td>gr</td></tr> <tr><td>Ws=</td><td>55,59</td><td>gr</td></tr> </tbody> </table> </td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Wi=</td><td>82,8926</td><td>%</td></tr> </table> </td> <td style="text-align: center;"> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Wf=</td><td>30,04137</td><td>%</td></tr> </table> </td> </tr> <tr> <td colspan="6" style="text-align: center;">Carga Final= 4,791 kg</td> </tr> <tr> <td colspan="6" style="text-align: center;">2,31 kg/cm²</td> </tr> </table>						<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr><th colspan="3">ANTES DEL ENSAYO</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>Wh+a=</td><td>280,10</td><td>gr</td></tr> <tr><td>a=</td><td>178,43</td><td>gr</td></tr> <tr><td>Wh=</td><td>101,67</td><td>gr</td></tr> <tr><td>Ws=</td><td>55,59</td><td>gr</td></tr> <tr><td>Ww=</td><td>46,08</td><td>ml</td></tr> </tbody> </table>	ANTES DEL ENSAYO			Wh+a=	280,10	gr	a=	178,43	gr	Wh=	101,67	gr	Ws=	55,59	gr	Ww=	46,08	ml	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr><th colspan="3">DESPUES DEL ENSAYO</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>Wh+r=</td><td>103,61</td><td>gr</td></tr> <tr><td>Ws+r=</td><td>86,91</td><td>gr</td></tr> <tr><td>Ww=</td><td>16,70</td><td>ml</td></tr> <tr><td>Ws+r=</td><td>86,91</td><td>gr</td></tr> <tr><td>r=</td><td>31,32</td><td>gr</td></tr> <tr><td>Ws=</td><td>55,59</td><td>gr</td></tr> </tbody> </table>	DESPUES DEL ENSAYO			Wh+r=	103,61	gr	Ws+r=	86,91	gr	Ww=	16,70	ml	Ws+r=	86,91	gr	r=	31,32	gr	Ws=	55,59	gr	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Wi=</td><td>82,8926</td><td>%</td></tr> </table>	Wi=	82,8926	%	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Wf=</td><td>30,04137</td><td>%</td></tr> </table>	Wf=	30,04137	%	Carga Final= 4,791 kg						2,31 kg/cm²					
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr><th colspan="3">ANTES DEL ENSAYO</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>Wh+a=</td><td>280,10</td><td>gr</td></tr> <tr><td>a=</td><td>178,43</td><td>gr</td></tr> <tr><td>Wh=</td><td>101,67</td><td>gr</td></tr> <tr><td>Ws=</td><td>55,59</td><td>gr</td></tr> <tr><td>Ww=</td><td>46,08</td><td>ml</td></tr> </tbody> </table>	ANTES DEL ENSAYO			Wh+a=	280,10	gr	a=	178,43	gr	Wh=	101,67	gr	Ws=	55,59	gr	Ww=	46,08	ml	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr><th colspan="3">DESPUES DEL ENSAYO</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>Wh+r=</td><td>103,61</td><td>gr</td></tr> <tr><td>Ws+r=</td><td>86,91</td><td>gr</td></tr> <tr><td>Ww=</td><td>16,70</td><td>ml</td></tr> <tr><td>Ws+r=</td><td>86,91</td><td>gr</td></tr> <tr><td>r=</td><td>31,32</td><td>gr</td></tr> <tr><td>Ws=</td><td>55,59</td><td>gr</td></tr> </tbody> </table>	DESPUES DEL ENSAYO			Wh+r=	103,61	gr	Ws+r=	86,91	gr	Ww=	16,70	ml	Ws+r=	86,91	gr	r=	31,32	gr	Ws=	55,59	gr																										
ANTES DEL ENSAYO																																																																		
Wh+a=	280,10	gr																																																																
a=	178,43	gr																																																																
Wh=	101,67	gr																																																																
Ws=	55,59	gr																																																																
Ww=	46,08	ml																																																																
DESPUES DEL ENSAYO																																																																		
Wh+r=	103,61	gr																																																																
Ws+r=	86,91	gr																																																																
Ww=	16,70	ml																																																																
Ws+r=	86,91	gr																																																																
r=	31,32	gr																																																																
Ws=	55,59	gr																																																																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Wi=</td><td>82,8926</td><td>%</td></tr> </table>	Wi=	82,8926	%	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Wf=</td><td>30,04137</td><td>%</td></tr> </table>	Wf=	30,04137	%																																																											
Wi=	82,8926	%																																																																
Wf=	30,04137	%																																																																
Carga Final= 4,791 kg																																																																		
2,31 kg/cm²																																																																		
Realizado por:		Revisado por		FECHA ENSAYO																																																														
John Salinas y Ricardo Villao		Ing. Daniel Campoverde. Mg.		14 de junio de 2019																																																														

Anexo G.2 Expansión Controlada de la muestra 1 (MH) con 3% de Cal.



UNIVERSIDAD ESTADAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
 FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS: ESTUDIO COMPARATIVO DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE SUBRASANTE (SUELOS EXPANSIVOS), UTILIZANDO CAL, SAL Y GEOCELDAS, PARA IMPLEMENTACIÓN EN UNA NUEVA VÍA, EN LA COMUNA BAJADITA DE COLONCHE DE LA PARROQUIA COLONCHE.

TUTOR:	ING. DANIEL CAMPOVERDE. Mg.	UBICACIÓN:	BAJADITA DE COLONCHE	
TESISTAS:	JOHN SALINAS Y RICARDO VILLAO	COORDENADAS:	NORTE:	9771886
			ESTE:	536314

ENSAYO DE EXPANSIÓN CONTROLADA 3% CAL

ANTES DEL ENSAYO		
Wh+a=	281,44	gr
a=	178,43	gr
Wh=	103,01	gr
Ws=	59,05	gr
Ww=	43,96	ml

DESPUES DEL ENSAYO		
Wh+r=	112,86	gr
Ws+r=	92,43	gr
Ww=	20,43	ml
Ws+r=	92,43	gr
r=	33,38	gr
Ws=	59,05	gr

Wi=	74,4454	%
-----	---------	---

Wf=	34,5978	%
-----	---------	---

Carga Final= 2,882 kg

1,39 kg/cm²

Realizado por: John Salinas y Ricardo Villao	Revisado por: Ing. Daniel Campoverde. Mg.	FECHA ENSAYO: 11 de julio de 2019
--	---	---

Anexo G.3 Expansión Controlada de la muestra 1 (MH) con 5% de Cal.



UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
 FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS: ESTUDIO COMPARATIVO DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE SUBRASANTE (SUELOS EXPANSIVOS),
 UTILIZANDO CAL, SAL Y GEOCELDAS, PARA IMPLEMENTACIÓN EN UNA NUEVA VÍA, EN LA COMUNA BAJADITA DE COLONCHE DE LA PARROQUIA COLONCHE.

TUTOR:	ING. DANIEL CAMPOVERDE. Mg.	UBICACIÓN:	BAJADITA DE COLONCHE	
TESISTAS:	JOHN SALINAS Y RICARDO VILLAO	COORDENADAS:	NORTE:	9771886
			ESTE:	536314

ENSAYO DE EXPANSIÓN CONTROLADA 5% CAL

ANTES DEL ENSAYO		
Wh+a=	272,7	gr
a=	178,43	gr
Wh=	94,27	gr
Ws=	73,79	gr
Ww=	20,48	ml

DESPUES DEL ENSAYO		
Wh+r=	152,06	gr
Ws+r=	128,24	gr
Ww=	23,82	ml
Ws+r=	128,24	gr
r=	54,45	gr
Ws=	73,79	gr

Wi=	27,7544	%
-----	---------	---

Wf=	32,2808	%
-----	---------	---

Carga Final= 1,33 kg

0,64 kg/cm²

Realizado por: John Salinas y Ricardo Villao	Revisado por: Ing. Daniel Campoverde. Mg.	FECHA ENSAYO: 11 de julio de 2019
--	---	---

Anexo G.4 Expansión Controlada de la muestra 1 (MH) con 7% de Cal.



UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS: ESTUDIO COMPARATIVO DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE SUBRASANTE (SUELOS EXPANSIVOS), UTILIZANDO CAL, SAL Y GEOCELDAS, PARA IMPLEMENTACIÓN EN UNA NUEVA VÍA, EN LA COMUNA BAJADITA DE COLONCHE DE LA PARROQUIA COLONCHE.			
TUTOR:	ING. DANIEL CAMPOVERDE. Mg.	UBICACIÓN:	BAJADITA DE COLONCHE
TESISTAS:	JOHN SALINAS Y RICARDO VILLAO	COORDENADAS:	NORTE: 9771886
			ESTE: 536314

ENSAYO DE EXPANSIÓN CONTROLADA 7% CAL

ANTES DEL ENSAYO		
Wh+a=	278,47	gr
a=	178,43	gr
Wh=	100,04	gr
Ws=	77,51	gr
Ww=	22,53	ml

DESPUES DEL ENSAYO		
Wh+r=	127,79	gr
Ws+r=	110,88	gr
Ww=	16,91	ml
Ws+r=	110,88	gr
r=	33,37	gr
Ws=	77,51	gr

Wi= 29,0672%

Wf= 21,81654%

Carga Final= 0,9662 kg

0,47 kg/cm²

Realizado por: John Salinas y Ricardo Villao	Revisado por: Ing. Daniel Campoverde. Mg.	FECHA ENSAYO: 12 de julio de 2019
--	---	---

Anexo G.5 Expansión Controlada de la muestra 1 (MH) con Cal Óptimo 5,53%.



UNIVERSIDAD ESTADAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
 FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS: ESTUDIO COMPARATIVO DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE SUBRASANTE (SUELOS EXPANSIVOS), UTILIZANDO CAL, SAL Y GEOCELAS, PARA IMPLEMENTACIÓN EN UNA NUEVA VÍA, EN LA COMUNA BAJADITA DE COLONCHE DE LA PARROQUIA COLONCHE.			
TUTOR:	ING. DANIEL CAMPOVERDE. Mg.	UBICACIÓN:	BAJADITA DE COLONCHE
TESISTAS:	JOHN SALINAS Y RICARDO VILLAO	COORDENADAS:	NORTE: 9771886
			ESTE: 536314

ENSAYO DE EXPANSIÓN CONTROLADA-MEZCLA CAL 5,53%

ANTES DEL ENSAYO		
Wh+a=	275,7	gr
a=	178,43	gr
Wh=	97,27	gr
Ws=	75,59	gr
Ww=	21,68	ml

DESPUES DEL ENSAYO		
Wh+r=	154,06	gr
Ws+r=	132,24	gr
Ww=	21,82	ml
Ws+r=	132,24	gr
r=	56,65	gr
Ws=	75,59	gr

Wi=	28,681042%
-----	------------

Wf=	28,86625%
-----	-----------

Carga Final= 1,23 kg

0,5939 kg/cm²

Realizado por: John Salinas y Ricardo Villao	Revisado por: Ing. Daniel Campoverde. Mg.	FECHA ENSAYO: 14 de junio de 2019
--	---	---

Anexo G.6 Expansión Controlada de la muestra 1 (MH) con 3% de Sal.



UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
 FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS: ESTUDIO COMPARATIVO DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE SUBRASANTE (SUELOS EXPANSIVOS), UTILIZANDO CAL, SAL Y GEOCELDAS, PARA IMPLEMENTACIÓN EN UNA NUEVA VÍA, EN LA COMUNA BAJADITA DE COLONCHE DE LA PARROQUIA COLONCHE.			
TUTOR:	ING. DANIEL CAMPOVERDE. Mg.	UBICACIÓN:	BAJADITA DE COLONCHE
TESISTAS:	JOHN SALINAS Y RICARDO VILLAO	COORDENADAS:	NORTE: 9771886
			ESTE: 536314

ENSAYO DE EXPANSIÓN CONTROLADA 3% SAL

ANTES DEL ENSAYO		
Wh+a=	277,09	gr
a=	178,43	gr
Wh=	98,66	gr
Ws=	75,40	gr
Ww=	23,26	ml

DESPUES DEL ENSAYO		
Wh+r=	123,9	gr
Ws+r=	106,71	gr
Ww=	17,19	ml
Ws+r=	106,71	gr
r=	31,31	gr
Ws=	75,40	gr

Wi=	30,8488	%
-----	---------	---

Wf=	22,79841	%
-----	----------	---

Carga Final= 1,981 kg

0,96 kg/cm²

Realizado por: John Salinas y Ricardo Villao	Revisado por: Ing. Daniel Campoverde. Mg.	FECHA ENSAYO: 12 de julio de 2019
--	---	---

Anexo G.7 Expansión Controlada de la muestra 1 (MH) con 5% de Sal.



UNIVERSIDAD ESTADAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS: ESTUDIO COMPARATIVO DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE SUBRASANTE (SUELOS EXPANSIVOS), UTILIZANDO CAL, SAL Y GEOCELDAS, PARA IMPLEMENTACIÓN EN UNA NUEVA VÍA, EN LA COMUNA BAJADITA DE COLONCHE DE LA PARROQUIA COLONCHE.			
TUTOR:	ING. DANIEL CAMPOVERDE. Mg.	UBICACIÓN:	BAJADITA DE COLONCHE
TESISTAS:	JOHN SALINAS Y RICARDO VILLAO	COORDENADAS:	NORTE: 9771886
			ESTE: 536314

ENSAYO DE EXPANSIÓN CONTROLADA 5% SAL

ANTES DEL ENSAYO		
Wh+a=	282,57	gr
a=	178,43	gr
Wh=	104,14	gr
Ws=	29,73	gr
Ww=	74,41	ml

DESPUES DEL ENSAYO		
Wh+r=	92,70	gr
Ws+r=	84,16	gr
Ww=	8,54	ml
Ws+r=	84,16	gr
r=	54,43	gr
Ws=	29,73	gr

Wi= 250,285906 %

Wf= 28,72519 %

Carga Final= 1,7796 kg

0,859 kg/cm²

Realizado por: John Salinas y Ricardo Villao	Revisado por: Ing. Daniel Campoverde. Mg.	FECHA ENSAYO: 15 de julio de 2019
--	---	---

Anexo G.8 Expansión Controlada de la muestra 1 (MH) con 7% de Sal.



UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
 FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS: ESTUDIO COMPARATIVO DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE SUBRASANTE (SUELOS EXPANSIVOS),
 UTILIZANDO CAL, SAL Y GEOCELAS, PARA IMPLEMENTACIÓN EN UNA NUEVA VÍA, EN LA COMUNA BAJADITA DE COLONCHE DE LA PARROQUIA COLONCHE.

TUTOR:	ING. DANIEL CAMPOVERDE. Mg.	UBICACIÓN:	BAJADITA DE COLONCHE	
TESISTAS:	JOHN SALINAS Y RICARDO VILLAO	COORDENADAS:	NORTE:	9771886
			ESTE:	536314

ENSAYO DE EXPANSIÓN CONTROLADA 7% SAL

ANTES DEL ENSAYO		
Wh+a=	286,60	gr
a=	178,43	gr
Wh=	108,17	gr
Ws=	82,47	gr
Ww=	25,70	ml

DESPUES DEL ENSAYO		
Wh+r=	130,56	gr
Ws+r=	112,78	gr
Ww=	17,78	ml
Ws+r=	112,78	gr
r=	30,31	gr
Ws=	82,47	gr

Wi=	31,16285	%
-----	----------	---

Wf=	21,55935	%
-----	----------	---

Carga Final= 2,077 kg

1,003 kg/cm²

Realizado por: John Salinas y Ricardo Villao	Revisado por: Ing. Daniel Campoverde. Mg.	FECHA ENSAYO: 15 de julio de 2019
--	---	---

Anexo G.9 Expansión Controlada de la muestra 1 (MH) con Sal Óptimo 4,93% Sal.



UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS: ESTUDIO COMPARATIVO DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE SUBRASANTE (SUELOS EXPANSIVOS), UTILIZANDO CAL, SAL Y GEOCELAS, PARA IMPLEMENTACIÓN EN UNA NUEVA VÍA, EN LA COMUNA BAJADITA DE COLONCHE DE LA PARROQUIA COLONCHE.			
TUTOR:	ING. DANIEL CAMPOVERDE. Mg.	UBICACIÓN:	BAJADITA DE COLONCHE
TESISTAS:	JOHN SALINAS Y RICARDO VILLAO	COORDENADAS:	NORTE: 9771886
			ESTE: 536314

ENSAYO DE EXPANSIÓN CONTROLADA-MEZCLA SAL 4,93%

ANTES DEL ENSAYO		
Wh+a=	278,57	gr
a=	178,43	gr
Wh=	100,14	gr
Ws=	29,73	gr
Ww=	70,41	ml

DESPUES DEL ENSAYO		
Wh+r=	88,70	gr
Ws+r=	80,16	gr
Ww=	8,54	ml
Ws+r=	80,16	gr
r=	50,43	gr
Ws=	29,73	gr

Wi=	236,831483	%
-----	------------	---

Wf=	28,72519	%
-----	----------	---

Carga Final= 1,79 kg

0,864 kg/cm²

Realizado por: John Salinas y Ricardo Villao	Revisado por Ing. Daniel Campoverde. Mg.	FECHA ENSAYO 14 de junio de 2019
--	--	--

Anexo H Ensayo de Proctor Modificado.

Anexo H.1 Proctor Modificado de la muestra 1 (MH).



UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



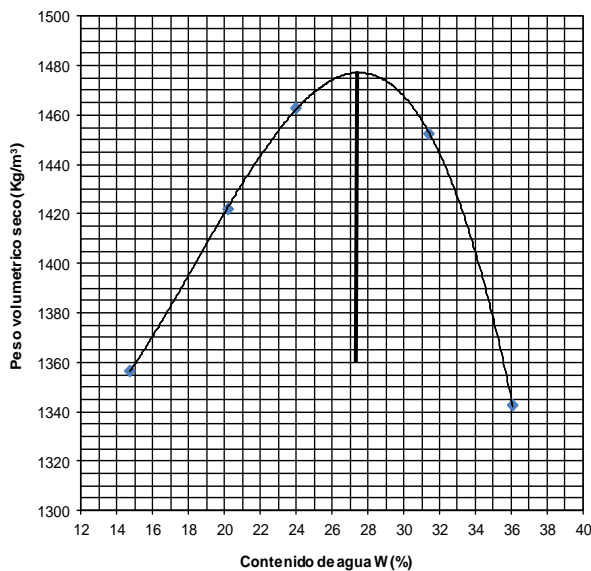
ESTUDIO COMPARATIVO DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE SUBRASANTE (SUELOS EXPANSIVOS),
 UTILIZANDO CAL, SAL Y GEOCELAS, PARA IMPLEMENTACIÓN EN UNA NUEVA VÍA, EN LA COMUNA BAJADITA DE COLONCHE DE
 LA PARROQUIA COLONCHE.

TUTOR:	ING. DANIEL CAMPOVERDE. Mg.	UBICACIÓN:	BAJADITA DE COLONCHE
TESISTAS:	JOHN SALINAS Y RICARDO VILLO	COORDENADAS:	NORTE: 9771886
			ESTE: 536314

DETERMINACIÓN DE PROCTOR MODIFICADO

Muestra:	Subrasante	Peso del cilindro:	3,800 Kg
Calicata:	19	Volumen del cilindro:	0.00095241 m ³
Material:	Limos inorgánicos de alta compresibilidad MH	Peso del martillo:	10 Lbs
		Altura de caída del martillo :	18 pulg
		Número de capas :	5 G/C
		Número de golpes/capa :	56



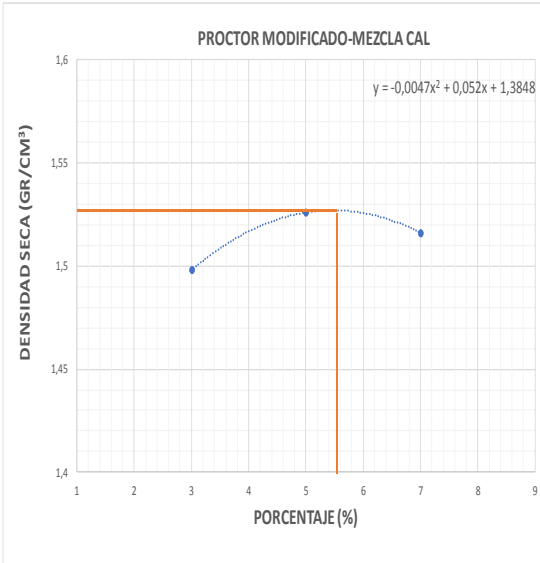
Punto No	Cáp	tierra	tierra	Peso	Peso de	Peso	W	tierra	Peso	1	Peso	Peso
		Peso húmeda	Peso seca	cáp.	agua	seco		Peso húmeda	tierra		tierra	volumétrico
gr	gr	gr	gr	gr	gr	%	Kg	Kg	1 + W	Kg	Kg	Kg/m ³
Tara	Tara						cilindro	húmeda	seca		seca	seco
0		71,88	64,85	17,09	7,03	47,76	14,72	5,282	1,482	0,87169	1,2918	1356
1		60,78	53,45	17,14	7,33	36,31	20,19	5,428	1,628	0,83203	1,3546	1422
2		63,27	54,34	17,15	8,93	37,19	24,01	5,528	1,728	0,80637	1,3934	1463
3		67,01	54,99	16,71	12,02	38,28	31,40	5,618	1,818	0,76103	1,3836	1453
4		58,93	47,79	16,93	11,14	30,86	36,10	5,540	1,740	0,73476	1,2785	1342





$\gamma_{m\acute{a}x}$ = 1483 Kg/m³
 $W_{\acute{o}pt.}$ = 26,15%
 $W_{nat.}$ = 15,63%

Realizado por: John Salinas y Ricardo Villao	Revisado por: Ing. Daniel Campoverde. Mg.	FECHA ENSAYO: 08 de julio de 2019
--	---	---

Anexo H.2 Determinación de Proctor de la muestra 1 (MH) mezclado con Cal.

	UNIVERSIDAD ESTADAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL		
TESIS: ESTUDIO COMPARATIVO DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE SUBRASANTE (SUELOS EXPANSIVOS), UTILIZANDO CAL, SAL Y GEOCELAS, PARA IMPLEMENTACIÓN EN UNA NUEVA VÍA, EN LA COMUNA BAJADITA DE COLONCHE DE LA PARROQUIA COLONCHE.			
TUTOR:	ING. DANIEL CAMPOVERDE, Mg.	UBICACIÓN:	BAJADITA DE COLONCHE
TESISTAS:	JOHN SALINAS Y RICARDO VILLO	COORDENADAS:	NORTE: 9771886
			ESTE: 536314
DETERMINACIÓN DE PROCTOR - MEZCLA CON CAL			
Compactación			
	CAL	CAL	CAL
Prueba Nº	3%	5%	7%
Numero de capas	5	5	5
Numero de golpes por capa	25	25	25
Peso suelo + molde (gr.)	5876	5904	5876
Peso molde (gr.)	417	417	417
Peso suelo compactado (gr.)	1759	1787	1759
Volumen del molde (cm ³)	932,14	932,14	932,14
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1,887	1,917	1,887
Humedad (%)			
	260 ml	270 ml	280 ml
Tara Nº	V7	X2	B
Tara + suelo húmedo (gr.)	57,95	65,53	63,19
Tara + suelo seco (gr.)	49,42	55,48	54,00
Peso de agua (gr.)	8,53	10,05	9,19
Peso de tara (gr.)	16,61	16,27	16,39
Peso de suelo seco (gr.)	32,81	39,21	37,61
Humedad (%)	26,00	25,63	24,43
Densidad Seca (gr/cm ³)	1,498	1,526	1,516
RESULTADOS			
Máxima Densidad Seca (gr/cm ³)		1,526	
Óptimo Porcentaje de Cal (%)		5,53	
			
	AGUA AÑADIDA (ml)	PORCENTAJE AÑADIDO (%)	Densidad Seca (gr/cm ³)
	260	3	1,498
	270	5	1,526
	280	7	1,516
Realizado por:	Revisado por:	FECHA ENSAYO	
John Salinas y Ricardo Vilho	Ing. Daniel Campoverde, Mg.	11 de julio de 2019	

Anexo H.3 Determinación de Proctor de la muestra 1 (MH) mezclado con Sal.

	UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL			
TESIS: ESTUDIO COMPARATIVO DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE SUBRASANTE (SUELOS EXPANSIVOS), UTILIZANDO CAL, SAL Y GEOCELAS, PARA IMPLEMENTACIÓN EN UNA NUEVA VÍA, EN LA COMUNA BAJADITA DE COLONCHE DE LA PARROQUIA COLONCHE.				
TUTOR:	ING. DANIEL CAMPOVERDE. Mg.	UBICACIÓN:	BAJADITA DE COLONCHE	
TESISTAS:	JOHN SALINAS Y RICARDO VILLAO	COORDENADAS:	NORTE:	9771886
			ESTE:	536314

DETERMINACIÓN DE PROCTOR - MEZCLA CON SAL

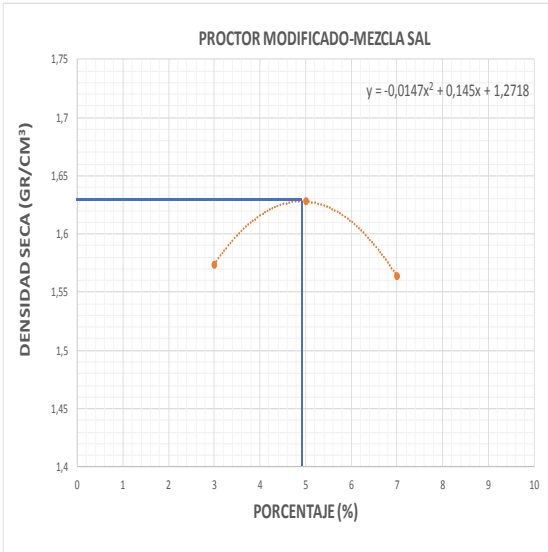
Compactación

Prueba Nº	SAL 3%	SAL 5%	SAL 7%
Numero de capas	5	5	5
Numero de golpes por capa	25	25	25
Peso suelo + molde (gr.)	5864	5886	5934
Peso molde (gr.)	4117	4117	4117
Peso suelo compactado (gr.)	1747	1769	1817
Volumen del molde (cm ³)	932,14	932,14	932,14
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1,874	1,898	1,949

Humedad (%)

	260 ml	270 ml	280 ml
Tara Nº	B	C11	T2
Tara + suelo húmedo (gr.)	68,88	58,63	57,63
Tara + suelo seco (gr.)	60,48	52,91	49,61
Peso de agua (gr.)	8,40	5,72	8,02
Peso de tara (gr.)	16,38	18,39	17,09
Peso de suelo seco (gr.)	44,10	34,52	32,52
Humedad (%)	19,05	16,57	24,66
Densidad Seca (gr/cm ³)	1,574	1,628	1,564

RESULTADO:	
Máxima Densidad Seca (gr/cm ³)	1,63
Optimo Porcentaje de Sal (%)	4,93





AGUA AÑADIDA (ml)	PORCENTAJE AÑADIDO (%)	Densidad Seca (gr/cm ³)
260	3	1,574
270	5	1,628
280	7	1,564

Realizado por: John Salinas y Ricardo Villao	Revisado por: Ing. Daniel Campoverde. Mg.	FECHA ENSAYO 13 de julio de 2019
---	--	-------------------------------------

Anexo I Ensayo de CBR.

Anexo I.1 Determinación de CBR de la muestra 1 (MH).

	UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL		
TESIS: ESTUDIO COMPARATIVO DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE SUBRASANTE (SUELOS EXPANSIVOS), UTILIZANDO CAL, SAL Y GEOCELLOS, PARA IMPLEMENTACIÓN EN UNA NUEVA VÍA, EN LA COMUNA BAJADITA DE COLONCHE DE LA PARROQUIA COLONCHE.			
TUTOR:	ING. DANIEL CAMPOVERDE, Mg.	UBICACIÓN: BAJADITA DE COLONCHE	
TESISTAS:	JOHN SALINAS Y RICARDO VILLOAO	COORDENADAS:	
		NORTE: 9771886	
		ESTE: 536314	
DETERMINACIÓN DE CBR - DENSIDADES			
NORMA ASTM D-1883			
<p>Muestra : Limos inorgánicos de alta compresibilidad (MH)</p> <p>Altura del Molde = 6,96 "</p> <p>Profundidad: 0,00 - 0,70 m.</p>			
<p>Volumen del cilindro: 2,3299E-03 m³</p> <p>Peso del martillo 10 Lbs</p> <p>Altura de caída del martillo : 18 pulg</p> <p>Número de capas : 5</p>			
No de Molde	10	11	12
Golpes/capa	56	25	12
ANTES DE LA INMERSION			
Recip #	X2		
Peso humedo + recip	398,40		
Peso seco + recip	345,43		
Peso recip	98,40		
W	21,44%		
Peso humedo + Molde	10,570		
Molde	6,730		
Peso humedo	3,84		
Peso Seco	3,162		
Densidad Seca	1357		
Lecturas de Hinchamiento			
Inicial	2,290		
24 Horas			
48 Horas			
72 Horas			
96 Horas	5,100		
% de Expansión	40,37%		
DESPUES DE LA INMERSION			
	ARRIBA	ABAJO	
Recip #	W	O	
Peso humedo + reci	116,91	125,76	
Peso seco + recip	92,55	104,11	
Peso recip	34,04	33,63	
W	41,6%	30,7%	
% W POMEDIO	36,2%		
Peso humedo + Molde	11,190		
Molde	6,730		
Peso humedo	4,46		
Peso Seco	3,275		
Densidad Seca	1406		
Realizado por:	John Salinas y Ricardo Villao	Revisado por	Ing. Daniel Campoverde, Mg.
		FECHA ENSAYO	13 de junio de 2019

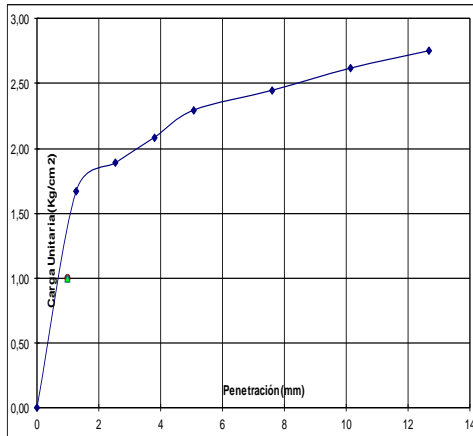


TESIS: ESTUDIO COMPARATIVO DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE SUBRASANTE (SUELOS EXPANSIVOS), UTILIZANDO CAL, SAL Y GEOCELIDAS, PARA IMPLEMENTACIÓN EN UNA NUEVA VÍA, EN LA COMUNA BAJADITA DE COLONCHE DE LA PARROQUIA COLONCHE.					
TUTOR:	ING. DANIEL CAMPOVERDE, Mg.		UBICACIÓN:	BAJADITA DE COLONCHE	
TESISTAS:	JOHN SALINAS Y RICARDO VILLAO		COORDENADAS:	NORTE:	9771886
				ESTE:	536314

**CBR - PENETRACIÓN
NORMA ASTM D-1883**

19,40 cm²

	Penetración		Carga Lbrs.	Carga Kgrs.	Carga Unit. (Kg/cm ²)
	(mm)	(pulg)			
No	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
56	1,27	0,05	71,43	32,40	1,67
Golpes/capa	2,54	0,10	80,76	36,63	1,89
	3,81	0,15	89,18	40,45	2,09
	5,08	0,20	98,15	44,52	2,30
No	7,62	0,30	104,68	47,48	2,45
Molde	10,16	0,41	111,99	50,80	2,62
3	12,70	0,51	117,73	53,40	2,75



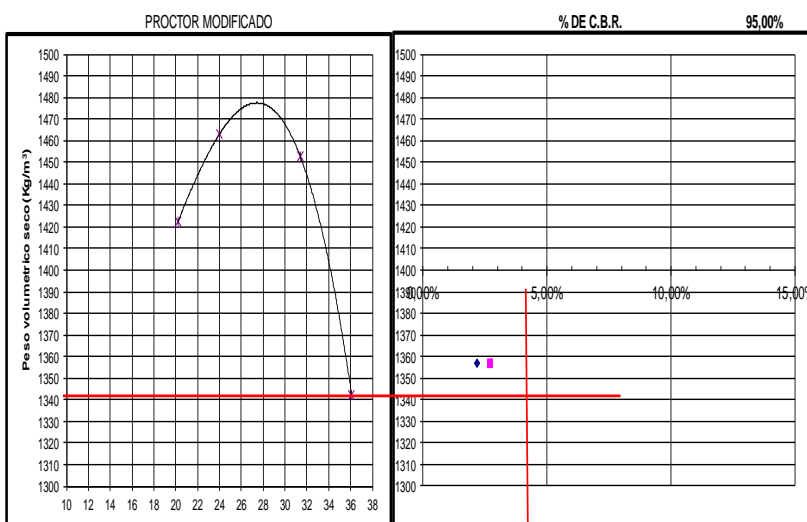
Realizado por: John Salmas y Ricardo Villao	Revisado por: Ing. Daniel Campoverde, Mg.	FECHA ENSAYO: 13 de junio de 2019
---	---	---



TESIS: ESTUDIO COMPARATIVO DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE SUBRASANTE (SUELOS EXPANSIVOS), UTILIZANDO CAL, SAL Y GEOCELIDAS, PARA IMPLEMENTACIÓN EN UNA NUEVA VÍA, EN LA COMUNA BAJADITA DE COLONCHE DE LA PARROQUIA COLONCHE.			
TUTOR:	ING. DANIEL CAMPOVERDE. Mg.	UBICACIÓN:	BAJADITA DE COLONCHE
TESISTAS:	JOHN SALINAS Y RICARDO VILLAO	COORDENADAS:	NORTE: 9771886
			ESTE: 536314

DETERMINACIÓN DE CBR - DENSIDADES
NORMA ASTM D-1883



Material: Limos inorgánicos de alta compresibilidad MH **Densidad Máx. Seca =** 1483 Kg/m³.
Muestra: Subrasante **Calicata:** 1 **Humedad óptima =** 26,15%



	Golpes /capa	56
	Densidad seca	1357
	Expansión %	40,37%
Para	Carga Unitaria	2
0.1"	Carga Unitaria Patrón	70
	C.B.R. %	2,70%
Para	Carga Unitaria	2
0.2"	Carga Unitaria Patrón	105
	C.B.R. %	2,19%

Realizado por: John Salinas y Ricardo Villao	Revisado por: Ing. Daniel Campoverde. Mg.	FECHA ENSAYO: 13 de junio de 2019
--	---	---

Anexo I.2 Determinación de CBR de la muestra 1 (MH), mezcla con Cal 5,5%

	UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL		
TESIS: ESTUDIO COMPARATIVO DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE SUBRASANTE (SUELOS EXPANSIVOS), UTILIZANDO CAL, SAL Y GEOCELAS, PARA IMPLEMENTACIÓN EN UNA NUEVA VÍA, EN LA COMUNA BAJADITA DE COLONCHE DE LA PARROQUIA COLONCHE.			
TUTOR:	ING. DANIEL CAMPOVERDE, Mg.	UBICACIÓN:	BAJADITA DE COLONCHE
TESISTAS:	JOHN SALINAS Y RICARDO VILLAO	COORDENADAS:	NORTE: 9771886 ESTE: 536314
DETERMINACIÓN DE CBR - DENSIDADES NORMA ASTM D-1883			
Muestra : Limos inorgánicos de alta compresibilidad (MH) Altura del Molde = 7 " Profundidad: 0,00 - 0,70 m.		Volumen del cilindro: 2,3658E-03 m ³ Peso del martillo 10 Lbs Altura de caída del martillo : 18 pulg Número de capas : 5	
No de Molde	10	11	12
Golpes/capa	56	25	12
ANTES DE LA INMERSION			
Recip #	H		
Peso humedo + recip	342,32		
Peso seco + recip	306,48		
Peso recip	45,79		
W	13,75%		
Peso humedo + Molde	10,592		
Molde	6,516		
Peso humedo	4,076		
Peso Seco	3,583		
Densidad Seca	1515		
Lecturas de Hinchamiento			
Inicial	1,120		
24 Horas			
48 Horas			
72 Horas			
96 Horas	2,540		
% de Expansión	20,29%		
DESPUES DE LA INMERSION			
	ARRIBA	ABAJO	
Recip #	B	C12	
Peso humedo + recip	89,65	76,70	
Peso seco + recip	64,89	63,35	
Peso recip	16,40	18,17	
W	51,1%	29,5%	
% W POMEDIO	40,3%		
Peso humedo + Molde	11,338		
Molde	6,516		
Peso humedo	4,822		
Peso Seco	3,437		
Densidad Seca	1453		
Realizado por:	John Salinas y Ricardo Villao	Revisado por	Ing. Daniel Campoverde, Mg.
		FECHA ENSAYO	13 de junio de 2019

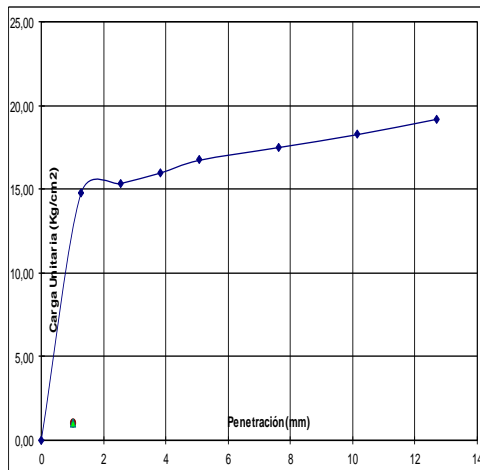


TESIS: ESTUDIO COMPARATIVO DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE SUBRASANTE (SUELOS EXPANSIVOS), UTILIZANDO CAL, SAL Y GEOCELAS, PARA IMPLEMENTACIÓN EN UNA NUEVA VÍA, EN LA COMUNA BAJADITA DE COLONCHE DE LA PARROQUIA COLONCHE.					
TUTOR:	ING. DANIEL CAMPOVERDE. Mg.			UBICACIÓN:	BAJADITA DE COLONCHE
TESISTAS:	JOHN SALINAS Y RICARDO VILLAO			COORDENADAS:	NORTE: 9771886 ESTE: 536314

**CBR - PENETRACIÓN
NORMA ASTM D-1883**

19,40 cm²

	Penetración		Carga Lbs.	Carga Kgrs.	Carga Unit. (Kg/cm ²)
	(mm)	(pulg)			
No	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
56	1,27	0,05	630,96	286,20	14,76
Golpes/capa	2,54	0,10	657,48	298,23	15,38
	3,81	0,15	684,16	310,33	16,00
	5,08	0,20	717,23	325,33	16,77
No	7,62	0,30	749,84	340,12	17,54
Molde	10,16	0,41	783,10	355,21	18,31
1	12,70	0,51	822,17	372,93	19,23



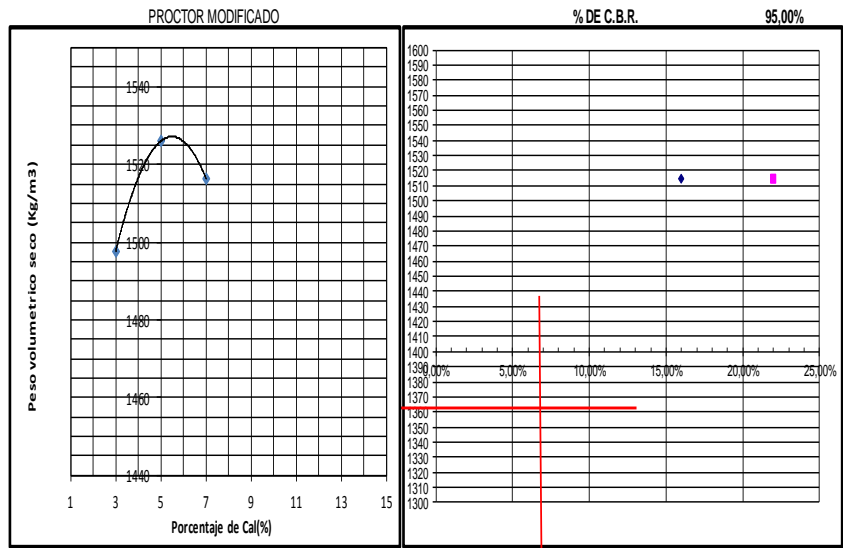
Realizado por: John Salinas y Ricardo Villao	Revisado por: Ing. Daniel Campoverde. Mg.	FECHA ENSAYO: 13 de junio de 2019
--	---	---



TESIS: ESTUDIO COMPARATIVO DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE SUBRASANTE (SUELOS EXPANSIVOS), UTILIZANDO CAL, SAL Y GEOCELAS, PARA IMPLEMENTACIÓN EN UNA NUEVA VÍA, EN LA COMUNA BAJADITA DE COLONCHE DE LA PARROQUIA COLONCHE.			
TUTOR:	ING. DANIEL CAMPOVERDE. Mg.	UBICACIÓN:	BAJADITA DE COLONCHE
TESISTAS:	JOHN SALINAS Y RICARDO VILLO	COORDENADAS:	NORTE: 9771886
			ESTE: 536314

**DETERMINACIÓN DE CBR - DENSIDADES
 NORMA ASTM D-1883**



Material: Limos inorgánicos de alta compresibilidad MH **Densidad Máx. Seca =** 1528 Kg/m³.
Humedad óptima = 25,09%
Muestra: Subrasante **Calicata:** 1



	Golpes /capa	56
	Densidad seca	1515
	Expansión %	20,29%
Para	Carga Unitaria	15
0.1"	Carga Unitaria Patrón	70
	C.B.R. %	21,97%
Para	Carga Unitaria	17
0.2"	Carga Unitaria Patrón	105
	C.B.R. %	15,98%

Realizado por: John Salinas y Ricardo Villao	Revisado por: Ing. Daniel Campoverde. Mg.	FECHA ENSAYO: 13 de junio de 2019
--	---	---

Anexo I.3 Determinación de CBR de la muestra 1 (MH), mezcla con Sal 4,9%

	UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL		
TESIS: ESTUDIO COMPARATIVO DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE SUBRASANTE (SUELOS EXPANSIVOS), UTILIZANDO CAL, SAL Y GEOCELAS, PARA IMPLEMENTACIÓN EN UNA NUEVA VÍA, EN LA COMUNA BAJADITA DE COLONCHE DE LA PARROQUIA COLONCHE.			
TUTOR:	ING. DANIEL CAMPOVERDE, Mg.	UBICACIÓN:	BAJADITA DE COLONCHE
TESISTAS:	JOHN SALINAS Y RICARDO VILLAO	COORDENADAS:	NORTE: 9771886 ESTE: 536314
DETERMINACIÓN DE CBR - DENSIDADES			
NORMA ASTM D-1883			
Muestra : Limos inorgánicos de alta compresibilidad (MH) Altura del Molde = 6,99 * Profundidad: 0,00 - 0,70 m.		Volumen del cilindro: 2,3439E-03 m ³ Peso del martillo 10 Lbs Altura de caída del martillo : 18 pulg Número de capas : 5	
No de Molde	10	11	12
Golpes/capa	56	25	12
ANTES DE LA INMERSION			
Recip #	H		
Peso humedo + recip	342,32		
Peso seco + recip	306,48		
Peso recip	45,79		
W	13,75%		
Peso humedo + Molde	11,224		
Molde	6,917		
Peso humedo	4,307		
Peso Seco	3,786		
Densidad Seca	1615		
Lecturas de Hinchamiento			
Inicial	4,880		
24 Horas			
48 Horas			
72 Horas			
96 Horas	5,730		
% de Expansión	12,16%		
DESPUES DE LA INMERSION			
Recip #	ARRIBA X3	ABAJO V7	
Peso humedo + recip	85,50	69,17	
Peso seco + recip	64,14	53,92	
Peso recip	16,86	16,61	
W	45,2%	40,9%	
% W POMEDIO	43,0%		
Peso humedo + Molde	11,610		
Molde	6,917		
Peso humedo	4,693		
Peso Seco	3,281		
Densidad Seca	1400		
Realizado por:	John Salinas y Ricardo Villao	Revisado por	Ing. Daniel Campoverde, Mg.
		FECHA ENSAYO	13 de junio de 2019

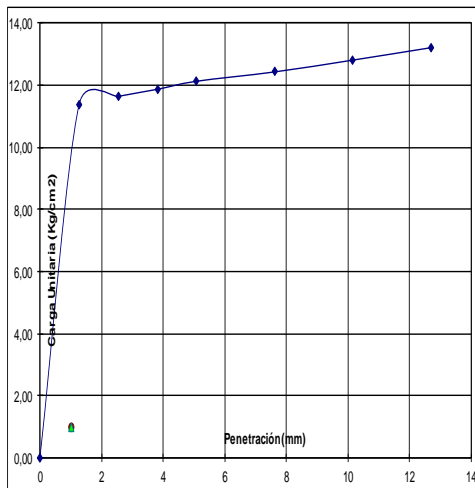


TESIS: ESTUDIO COMPARATIVO DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE SUBRASANTE (SUELOS EXPANSIVOS), UTILIZANDO CAL, SAL Y GEOCELIDAS, PARA IMPLEMENTACIÓN EN UNA NUEVA VÍA, EN LA COMUNA BAJADITA DE COLONCHE DE LA PARROQUIA COLONCHE.			
TUTOR:	ING. DANIEL CAMPOVERDE. Mg.	UBICACIÓN:	BAJADITA DE COLONCHE
TESISTAS:	JOHN SALINAS Y RICARDO VILLO	COORDENADAS:	NORTE: 9771886 ESTE: 536314

**CBR - PENETRACIÓN
 NORMA ASTM D-1883**

19,40 cm²

	Penetración		Carga Lbrs.	Carga Kgrs.	Carga Unit. (Kg/cm ²)
	(mm)	(pulg)			
No	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
56	1,27	0,05	486,32	220,59	11,37
Golpes/capa	2,54	0,10	498,00	225,89	11,65
	3,81	0,15	507,75	230,31	11,87
No	5,08	0,20	518,81	235,33	12,13
	7,62	0,30	531,71	241,18	12,44
Molde	10,16	0,41	547,98	248,56	12,82
	12,70	0,51	565,11	256,33	13,22



Realizado por: John Salinas y Ricardo Vilao	Revisado por: Ing. Daniel Campoverde. Mg.	FECHA ENSAYO: 13 de junio de 2019
---	---	---

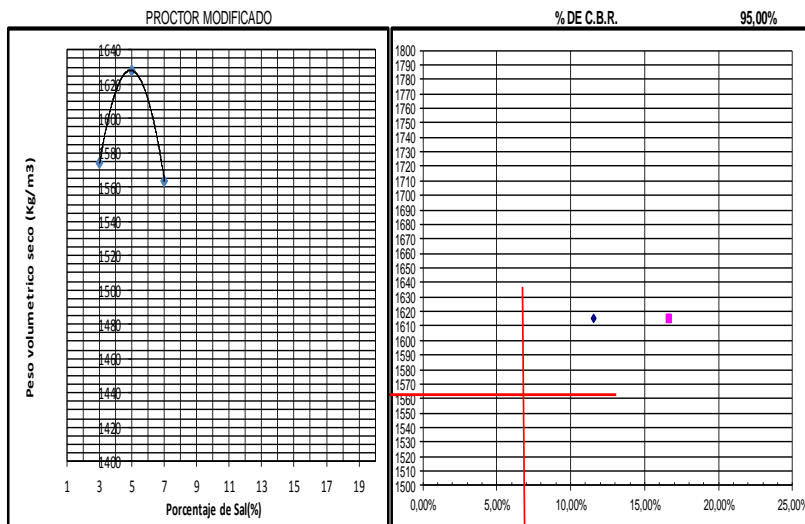


TESIS: ESTUDIO COMPARATIVO DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE SUBRASANTE (SUELOS EXPANSIVOS), UTILIZANDO CAL, SAL Y GEOCELAS, PARA IMPLEMENTACIÓN EN UNA NUEVA VÍA, EN LA COMUNA BAJADITA DE COLONCHE DE LA PARROQUIA COLONCHE.			
TUTOR:	ING. DANIEL CAMPOVERDE, Mg.	UBICACIÓN:	BAJADITA DE COLONCHE
TESISTAS:	JOHN SALINAS Y RICARDO VILLAO	COORDENADAS:	NORTE: 9771886
			ESTE: 536314

**DETERMINACIÓN DE CBR - DENSIDADES
 NORMA ASTM D-1883**

Material: Limos inorgánicos de alta compresibilidad MH **Densidad Máx. Seca =** 1630 Kg/m³.
Humedad óptima = 21,98%

Muestra: Subrasante **Calicata:** 1



	Golpes /capa	56
	Densidad seca	1615
	Expansión %	12,16%
Para	Carga Unitaria	12
0.1'	Carga Unitaria Patrón	70
	C.B.R. %	16,64%
Para	Carga Unitaria	12
0.2'	Carga Unitaria Patrón	105
	C.B.R. %	11,56%

Realizado por: John Salinas y Ricardo Villao	Revisado por: Ing. Daniel Campoverde, Mg.	FECHA ENSAYO: 13 de junio de 2019
--	---	---

Anexo J Ensayo de Hinchamiento.

Anexo J.1 Determinación del porcentaje de hinchamiento de la muestra 1 (MH),
utilizando un sistema de geoceldas, realizado en campo.

	UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL		
TESIS: ESTUDIO COMPARATIVO DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE SUBRASANTE (SUELOS EXPANSIVOS), UTILIZANDO CAL, SAL Y GEOCELAS, PARA IMPLEMENTACIÓN EN UNA NUEVA VÍA, EN LA COMUNA BAJADITA DE COLONCHE DE LA PARROQUIA COLONCHE.			
TUTOR:	ING. DANIEL CAMPOVERDE Mg.	UBICACIÓN:	BAJADITA DE COLONCHE
TESISTAS:	JOHN SALINAS Y RICARDO VILLAO	COORDENADAS:	NORTE: 9771886 ESTE: 536314
DETERMINACIÓN DE HINCHAMIENTO CON UN SISTEMA DE GEOCELAS EN CAMPO			
		ALTURA DE ENSAYO	67,5 cm
DATOS			
HINCHAMIENTO			
LECTURA INICIAL			35,10
24 HORAS			34,40
48 HORAS			34,00
72 HORAS			33,20
96 HORAS			32,10
120 HORAS			31,00
144 HORAS			30,30
HINCHAMIENTO %			7,11
DENSIDAD EN CAMPO (HÚMEDAD)			
	MOLDE 1	MOLDE 2	
PESO DE RECIPIENTE	208,50	208,57	
VOLUMEN DE RECIPIENTE	153,57	153,57	
PESO RECIPIENTE + MUESTRA	468,03	460,81	
PESO SUELO	259,53	252,24	
DENSIDAD g/cm ³	1,690	1,642	
Realizado por:	Revisado por:	FECHA ENSAYO	
John Salinas y Ricardo Villao	Ing. Daniel Campoverde. Mg.	12 de agosto de 2019	

Anexo L Infograma.

Anexo L.1 Calicata realizada en la comuna Bajadita de Colonche, con su profundidad.



Anexo L.2 Extracción del material del sitio.



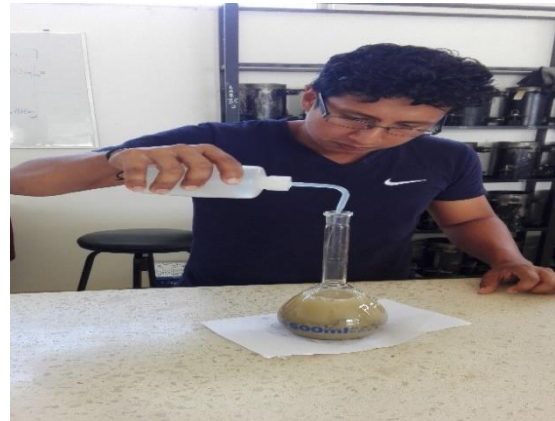
Anexo L.3 Ensayos de determinación de Límite Líquido y Plástico.



Anexo L.4 Ensayo Granulométrico por Lavado.



Anexo L.5 Ensayo de Gravedad específica de los sólidos.



Anexo L.6 Ensayo de Límite de Contracción.



Anexo L.7 Granulometría por hidrómetro



Anexo L.8 Expansión Libre y controlada



Anexo L.9 Relación de soporte del suelo CBR



Anexo L.10 Proctor modificado



Anexo L.11 Dosificaciones cal y sal



Anexo L.12 Ensayo de campo con un sistema de Geoceldas.

